

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**BRUNA FONTANELA SOUTO**

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE  
CIDADE ESPONJA EM MICROBACIA URBANA COM RECORRENTES  
ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE – RS**

**Alegrete  
2025**

**BRUNA FONTANELA SOUTO**

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE  
CIDADE ESPONJA EM MICROBACIA URBANA COM RECORRENTES  
ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE – RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dra. Adriana Gindri Salbego

**Alegrete  
2025**

**BRUNA FONTANELA SOUTO**

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE  
CIDADE ESPONJA EM MICROBACIA URBANA COM RECORRENTES  
ALAGAMENTOS NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE – RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em engenharia civil.

**Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 04 de julho  
de 2025.**

Banca examinadora:

Profa. Dra. ADRIANA GINDRI SALBEGO - UNIPAMPA - Orientadora

Profa. Dra. MARÍLIA FERREIRA TAMIOSSO - UNIPAMPA

Prof. Dr. FLADIMIR FERNANDES DOS SANTOS – UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **FLADIMIR FERNANDES DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/07/2025, às 10:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ADRIANA GINDRI SALBEGO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/07/2025, às 10:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARILIA FERREIRA TAMIOSSO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/07/2025, às 16:56, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1777339** e o código CRC **08ACC3A4**.

---

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Bira e Cristina, e ao meu irmão William, por serem meu alicerce e apoio incondicional, permitindo que eu criasse asas para voar em direção aos meus sonhos.

À minha orientadora, Adriana, pelo apoio e suporte fundamentais durante todo este trabalho.

Aos meus dindos, Luis e Noimara, e à minha prima Eduarda, pelo carinho, incentivo e companheirismo ao longo dessa jornada.

À minha afilhada Alice, por me ensinar sobre amor, paciência e ser minha companhia e alegria constante.

À Mônica, minha colega de graduação que se tornou amiga, pela parceria e apoio durante toda essa caminhada.

Ao Vinícius e à Carol, melhores presentes que ganhei com a Unipampa, por tornarem essa fase ainda mais especial.

Ao meu time, Internacional, meu refúgio e companhia fiel em todos os momentos.

À minha eterna Lucy, minha companheira canina para todas as horas, e que infelizmente não chegou ao fim desta jornada comigo.

À Prefeitura Municipal de Alegrete, pelo apoio institucional que contribuiu de maneira significativa para a viabilização deste trabalho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

## RESUMO

O crescimento urbano desordenado e não planejado tem intensificado os problemas de drenagem em diversas cidades brasileiras, ocasionando alagamentos frequentes e impactos socioambientais. Nesse contexto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo avaliar o escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica urbana no município de Alegrete (RS), região caracterizada por recorrentes episódios de alagamentos. Foi constatado que a infraestrutura de drenagem pluvial da área de estudo é precária, sem capacidade adequada para atender às vazões geradas pelas chuvas, que têm apresentado aumento significativo nas intensidades pluviométricas e redução no tempo de ocorrência das precipitações torrenciais ao longo dos anos. A área possui solo majoritariamente urbano, com extensas zonas de alta impermeabilização, contribuindo para um escoamento superficial elevado e, conseqüentemente, para a ocorrência de alagamentos frequentes. Além disso, foram identificadas falhas no sistema existente, tanto devido ao mau dimensionamento das tubulações quanto a fatores antrópicos, como descarte inadequado de lixo e construções irregulares, incluindo edificações abaixo do nível da Rua, bem como deficiências em sarjetas e bocas de lobo. Como solução, foi proposta a implementação de biovaletas, técnica vinculada ao conceito de Cidade Esponja, visando promover a retenção, armazenamento temporário das águas pluviais, retardando o escoamento, sendo observada elevada eficiência desta medida no controle do escoamento superficial e na mitigação dos impactos dos alagamentos, contribuindo para a sustentabilidade urbana e a segurança hídrica do município.

Palavras-chave: drenagem urbana, escoamento superficial, biovaletas, Cidade Esponja.

## **ABSTRACT**

The unplanned and disordered expansion of urban areas has increasingly worsened drainage issues in several Brazilian cities, leading to frequent flooding and notable socio-environmental impacts. Within this context, the present Final Graduation Project set out to assess surface runoff in an urban micro-watershed located in the municipality of Alegrete (RS), a region that often experiences flood events. The findings revealed that the local stormwater drainage infrastructure is inadequate, lacking the necessary capacity to handle the runoff generated by rainfall events, which has shown a significant increase in intensity and a reduction in the duration of torrential precipitation over the years. The study area is predominantly urbanized, with large portions of highly impervious surfaces, which significantly contribute to increased surface runoff and, consequently, recurring flood occurrences. Moreover, the analysis identified several issues in the current drainage system, due to undersized pipelines and human-induced factors, such as improper waste disposal and irregular constructions, especially buildings located below street level, as well as deficiencies in curbs and storm drains. As a mitigation strategy, the implementation of bioswales was proposed, a technique aligned with the Sponge City concept, aiming to enhance infiltration, promote retention, and allow for temporary storage of stormwater. This measure was found to be highly effective in controlling surface runoff and mitigating the impacts of flooding, contributing to urban sustainability and water security in the municipality.

Keywords: urban drainage, surface runoff, bioswales, Sponge City.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil esquemático do processo de enchente, inundação e enchente.....	18
Figura 2 – Alagamento no bairro Menino Deus, Porto Alegre/RS .....	19
Figura 3 – Inundação no Estádio Beira Rio, 2024 .....	21
Figura 4 – Parque Barigui, Curitiba/PR .....	25
Figura 5 – Vista aérea do Parque Barigui, Curitiba/PR .....	25
Figura 6 – Jardim de chuva da Rua Major Natanael .....	27
Figura 7 – Calçadas com poços de infiltração .....	27
Figura 8 – Técnicas de controle de drenagem urbana .....	28
Figura 9 – Áreas úmidas em Wuhan .....	29
Figura 10 – Corredor ecológico do rio Qian'an Sanlihe .....	31
Figura 11 – Antes e depois da revitalização do corredor do Rio Qian'an Sanlihe .....	32
Figura 12 – Parque Hunter's Point South .....	33
Figura 13 – Parque Hunter's Point South .....	34
Figura 14 – Camadas do telhado verde .....	38
Figura 15 – Telhado Fecomércio.....	39
Figura 16 – Fluxograma da metodologia adotada no estudo .....	40
Figura 17 – Localização do município de Alegrete no estado do Rio Grande do Sul	41
Figura 18 – Regiões hidrográficas.....	42
Figura 19 – Bacia hidrográfica do Ibicuí .....	42
Figura 20 – Parâmetros da equação IDF no software PLUVIO 2.1.....	45
Figura 21 – Tela inicial de localização da área de estudo no <i>Contour Map Creator</i> .	53
Figura 22 – Curvas de nível da área de estudo no aplicativo <i>Contour Map Creator</i> .	54
Figura 23 – Caracterização do relevo da área de estudo (curvas de nível equidistante 1 metro).....	55
Figura 24 - Imagem do Google Earth com altimetria da área de estudo .....	56
Figura 25 - Segmentação da área de estudo em microbacias .....	57
Figura 26 - (a, b, c, d) – Dispositivo de drenagem ‘boca-de-lobo’ da bacia de contribuição .....	62
Figura 27 - (a, b) - Dispositivo de drenagem ‘galeria’ da bacia de contribuição .....	63
Figura 28 - Dispositivo de drenagem ‘sarjeta’ da bacia de contribuição.....	63
Figura 29 - Revestimento das vias da área de estudo .....	64

Figura 30 - Perspectiva direcional a partir da Interseção com a Avenida República Riograndense .....	66
Figura 31 - Perfil topográfico da rua Senador Daniel Krieger .....	66
Figura 32 (a, b) – Registro de alagamento na rua Senador Daniel Krieger.....	67
Figura 33 - Trechos da galeria pluvial, canal aberto e deságue no arroio Jararaca ..	68
Figura 34 - Segmentação dos trechos na rua Senador Daniel Krieger .....	72
Figura 35 - Microbacias e respectivas soluções propostas .....	76
Figura 36 - Localização da microbacias - Intervenção 1 proposta .....	77
Figura 37 – Posicionamento da biovaleta, intervenção 1 .....	78
Figura 38 - Configuração e dimensões da biovaleta na intervenção 1 .....	80
Figura 39 - Localização da microbacias - Intervenção 2 proposta .....	81
Figura 40- Intervenção 2 proposta – disposição das biovaletas.....	82
Figura 41- Representação esquemática e detalhamento construtivo da biovaleta ...	85
Figura 42- Localização da microbacias - Intervenção 3 proposta .....	86
Figura 43- Intervenção 3 proposta: disposição das biovaletas.....	87
Figura 44 - Intervenção 4: microbacias .....	90
Figura 45- Segmentação da rua Senador Daniel Krieger.....	91
Figura 46 - Tubulação e respectiva condução das águas .....	94
Figura 47- Intervenções propostas e direcionamento das águas na área de estudo	96

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS GERAIS</b>	<b>10</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>11</b>
<b>1.3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>URBANIZAÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>DESASTRES NATURAIS</b>	<b>13</b>
2.2.1	Alagamentos	19
2.2.2	Enchentes	19
2.2.3	Inundações	20
2.2.4	Enxurradas	21
<b>2.3</b>	<b>CIDADES ESPONJAS</b>	<b>21</b>
2.3.1	Benefícios e Desvantagens	23
2.3.2	Cidades Exemplos	24
2.3.2.1	Curitiba	24
2.3.2.2	São Paulo	26
2.3.2.3	Wuhan	28
2.3.2.4	Chongqing	30
2.3.2.5	Xiamen	30
2.3.2.6	Qian'na	31
2.3.3	Técnicas	32
2.3.3.1	Parques Alagáveis	32
2.3.3.2	Parques Lineares	34
2.3.3.3	Pavimentos permeáveis ou drenantes	35
2.3.3.4	Biovaletas	36
2.3.3.5	Reservatórios e bacias de retenção	36
2.3.3.6	Telhados Verdes	37
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>41</b>
<b>3.2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>97</b>

<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>99</b>
----------	--------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A urbanização no Brasil é caracterizada por um crescimento acelerado, impulsionado pela migração de populações rurais para os centros urbanos em busca de melhores condições de vida e trabalho. Esse processo, embora tenha estimulado o desenvolvimento urbano, gerou diversos desafios, especialmente em relação à infraestrutura urbana. A expansão desordenada das cidades, aliada à falta de planejamento adequado, resultou em uma crescente impermeabilização do solo, sobrecarga dos sistemas de drenagem e diminuição das áreas verdes.

Diante do crescimento populacional, as cidades brasileiras têm enfrentado sérios problemas relacionados à drenagem urbana. A estrutura de drenagem, normalmente inadequada ou mal dimensionada, não é capaz de suportar o volume das águas das chuvas, especialmente durante períodos de precipitações intensas. Esse desequilíbrio no controle das águas pluviais, associado ao aumento de desastres naturais extremos, tem ocasionado um crescimento no número de enchentes e alagamentos, resultando, por consequência, em danos materiais, ambientais, sociais e econômicos.

O aumento populacional nas áreas urbanas causa impacto direto na impermeabilização do solo, com o uso de concreto e asfalto. A expansão das cidades resulta em construção de moradias, comércios, indústrias, vias de transporte e outras infraestrutura, gerando superfícies impermeáveis.

A gestão eficiente do solo, com a preservação de áreas verdes e a adoção de soluções permeáveis para a infraestrutura urbana, é essencial para diminuir os impactos causados por um processo de urbanização sem planejamento. Diante desse cenário, é necessária a implementação de tecnologias sustentáveis na gestão das águas pluviais, com a finalidade de promover cidades mais resilientes e preparadas para enfrentar os desafios de drenagem urbana.

### 1.1 OBJETIVOS GERAIS

- Propor soluções para a gestão das águas pluviais, incluindo a implementação do sistema de drenagem sustentável "esponja".

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a infraestrutura de drenagem pluvial existente;
- Caracterizar as precipitações, com ênfase nas intensidades pluviométricas;
- Caracterizar a topografia e o uso e ocupação do solo da área de estudo;
- Avaliar o escoamento superficial.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O crescimento urbano desordenado tem agravado a drenagem em Alegrete, Rio Grande do Sul, especialmente no bairro Segabinazi, que sofre alagamentos frequentes devido à infraestrutura precária, ao aumento das chuvas intensas e à alta impermeabilização do solo. Problemas como mau dimensionamento da rede e ações humanas contribuem para o escoamento superficial elevado. Soluções de drenagem não tradicionais, como biovaletas, surgem como alternativas essenciais para controlar o escoamento superficial.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 URBANIZAÇÃO

O processo de urbanização no Brasil, está diretamente ligado ao êxodo rural, na década de 40, somente cerca de 30% da população brasileira estava estabelecida em áreas urbanas, atualmente, 85% da população no país, está estabelecida no perímetro urbano. Esse processo foi causado pela modernização das indústrias e ocorreu de forma rápida e desordenada, gerando diversos problemas ambientais, incluindo a impermeabilização do solo e a intensificação das inundações nas cidades.

A expansão urbana atrelada à crise climática, exige soluções para a drenagem das cidades e gestão das águas pluviais. As cidades esponjas surgem como uma nova abordagem para drenagem urbana, onde o principal objetivo é adequar os centros urbanos para absorver as chuvas intensas e, por consequência, reduzir as enchentes. No entanto, é necessário um planejamento complexo, integrando vegetação e superfícies drenantes com o perímetro urbano.

Segundo Tucci, Porto e Barros (1995), as inundações causadas pelo escoamento pluvial, ocorrem por conta de dois processos, inundações de áreas ribeirinhas – transbordamentos naturais, causadas pela variação da precipitação - e inundações em decorrência do processo de urbanização – transbordamentos resultantes da impermeabilização do solo, canalização ou obstrução do escoamento.

O processo de urbanização aliado às mudanças climáticas tem resultado em um aumento significativo das enchentes, o desenvolvimento das cidades gera obstruções ao escoamento pluvial, por meio de aterros, pontes, projetos de drenagem subdimensionados.

Para Tucci, Porto e Barros (1995), as enchentes no Brasil, são causadas pela ausência de regulamentação na ocupação urbana, o problema de falta de planejamento urbano é agravado, pois obras de melhorias no planejamento urbano possuem um alto custo.

Segundo Souza (2005), o aumento da expansão urbana nas últimas décadas impacta países em desenvolvimento, onde o processo de urbanização vem ocorrendo de maneira desordenada.

Os problemas relacionados com a urbanização e drenagem urbana, ocorrem principalmente pelo aumento de superfícies impermeáveis (Santos; Rufino, Barros Filho, 2017). Com o crescimento das cidades, o uso de asfalto e concreto aumentou significativamente, seja por meio de obras de infraestrutura, seja por obras residenciais ou comerciais.

Atualmente, a pavimentação das vias públicas é crucial para garantir um fluxo adequado de veículos. No entanto, essa impermeabilização excessiva demanda mais recursos para o escoamento da água, resultando na necessidade de um maior número de bocas de lobo e poços de visita.

## 2.2 DESASTRES NATURAIS

Desastres naturais são definidos como a ocorrência de um fenômeno natural, causando alterações na superfície da Terra e impactando áreas ou regiões habitadas, gerando danos materiais e humanos (Amaral; Gutjahr, 2011). Além de que, a ocupação e intervenção humana em áreas de risco, aumenta a ocorrência de desastres.

Para que um evento seja classificado como desastre, é necessário que o fenômeno atinja a população, ocasionado perturbação significativa na comunidade, abrangendo perdas de vida, danos materiais, econômicos e ambientais de ampla magnitude, de forma que excedam a capacidade de recuperação da sociedade, com seus próprios recursos (Amaral; Gutjahr, 2011).

Quanto à classificação, os desastres podem ser diferenciados em relação à intensidade, evolução, origem e duração. As quatro classificações são descritas e adaptada de (Kobiyama *et al.*, 2006).

- a) Intensidade: a Tabela 1 apresenta os quatro níveis de desastres conforme a intensidade.

Tabela 1 - Classificação dos desastres em relação à intensidade

<b>NÍVEL</b>	<b>INTENSIDADE</b>
<b>I</b>	Desastres de pequeno porte
	<b>Prejuízo ≤ 5% PIB municipal</b>
<b>II</b>	Desastres de média intensidade
	<b>5% &lt; Prejuízo ≤ 10% PIB</b>
<b>III</b>	Desastres de grande intensidade
	<b>10 % &lt; Prejuízo ≤ 30% PIB</b>
<b>IV</b>	Desastres com impactos e prejuízos significativos
	<b>Prejuízo &gt; 30% PIB</b>

Fonte: Adaptado de Castro (2003).

Os níveis I e II correspondem a desastres que podem ser solucionados pelos próprios municípios, sem a necessidade de auxílio do governo estadual ou federal. No nível III, o município declara situação de emergência, a qual pode ser superada com apoio do governo estadual ou da União. Já o nível IV caracteriza um desastre que não pode ser enfrentado pelos municípios, mesmo que disponham de informações adequadas e estejam preparados, resultando na decretação do Estado de Calamidade Pública.

b) Evolução: A classificação quando a evolução, é dividida em dois tipos. Os desastres súbitos são identificados por sua rápida evolução, exemplificados por tornados e inundações repentinas. Os desastres graduais incluem inundações lentas e secas, sendo caracterizados por uma evolução em etapas.

c) Origem: Este critério se divide em três tipos. Desastres naturais, que resultam de fenômenos naturais extremos e não dependem da ação humana; desastres humanos, causados por ações ou omissões humanas, poluição de rios, por exemplo; e desastres mistos, que envolvem ações humanas que intensificam ou agravam desastres naturais.

d) Duração: A classificação quando a duração se divide em episódicos e crônicos. Os desastres episódicos, costumam chamar mais atenção por sua intensidade, terremotos e tsunamis, por exemplo. Os desastres crônicos, geram prejuízos ambientais significativos ao longo do tempo, erosão do solo, por exemplo,

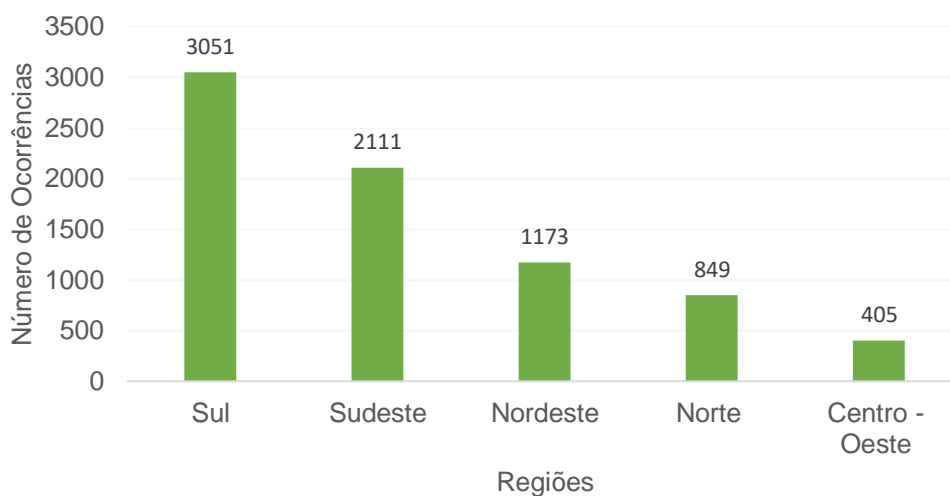
e podem resultar em eventos catastróficos adicionais, como escorregamentos e inundações.

Os desastres hídricos são originados tanto de processos naturais quanto de intervenções humanas, marcados por deslocamento exagerado de água, impactando de forma específica o meio ambiente, a população e a economia. Essas características estão estreitamente ligadas aos sistemas aquáticos, como rios, lagos, mares e aquíferos, e podem ser provocadas por chuvas fortes, mudanças climáticas, ações humanas e/ou condições geográficas.

Os desastres naturais resultam em graves impactos no meio ambiente e na sociedade, atingindo populações, infraestrutura e a economia de uma determinada área. Eles podem ser causados por eventos geológicos, climáticos, hidrológicos ou biológicos.

No Brasil, os desastres naturais mais recorrentes estão associados a fenômenos climáticos e geológicos. De acordo com a Confederação Nacional de Municípios (CNM) (2024), entre 2013 e 2023, foi registrado 7.589 ocorrência de desastres naturais que resultaram em moradias danificadas ou destruídas, em sua grande maioria, relacionados a tempestades, inundações, alagamentos e enxurradas. O Gráfico 1, mostra o número de ocorrência por região do país:

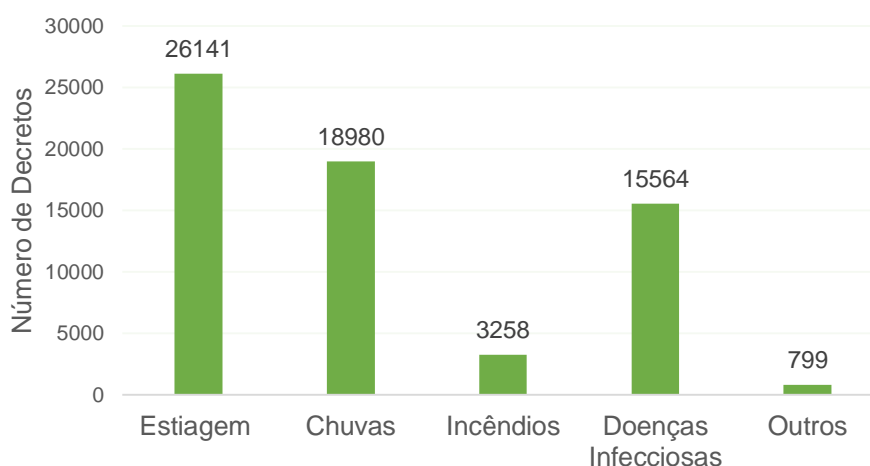
Gráfico 1 – Registro de desastres ou calamidade pública com moradias danificadas ou destruídas, de 2013 a 2023, por região



Fonte: Adaptado de CNM (2024).

De acordo com o gráfico 2, a estiagem e as chuvas estão entre os desastres que resultaram em mais decretos nos últimos dez anos, o que nos permite observar as seguintes situações:

Gráfico 2 – Quantidade de decretações dos principais desastres em todo o Brasil (2013 a 2023)



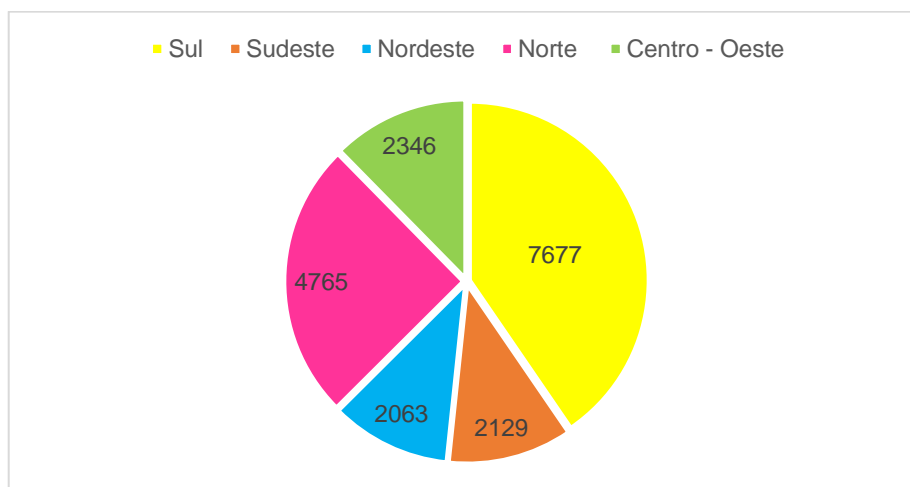
Fonte: Adaptado de CNM (2024).

A partir do gráfico 2, é possível evidenciar que os decretos de chuvas representam cerca de 30% dos desastres que acometeram o país nos últimos anos, esses eventos hidrológicos extremos, como enchentes, alagamentos e inundações

são resultantes de diversas causas, entre as quais se destacam as chuvas intensas, a escolha do tipo de pavimento, a presença de lixo nos bueiros, as falhas nos projetos de drenagem e a ocupação indevida do solo.

De acordo com o gráfico 3, a região sul apresenta o maior número de decretações por chuvas, totalizando 7.677 registros, o que indica uma elevada incidência de desastres relacionados às chuvas nesta.

Gráfico 3 – Quantidade de decretações por chuvas por região (2013 a 2023)



Fonte: Adaptado de CNM (2024).

Entre os fatores que tornam a região sul do Brasil um local suscetível a intensa precipitação de chuva, destaca-se os fatores climáticos, geográficos e atmosféricos Anjos (2024).

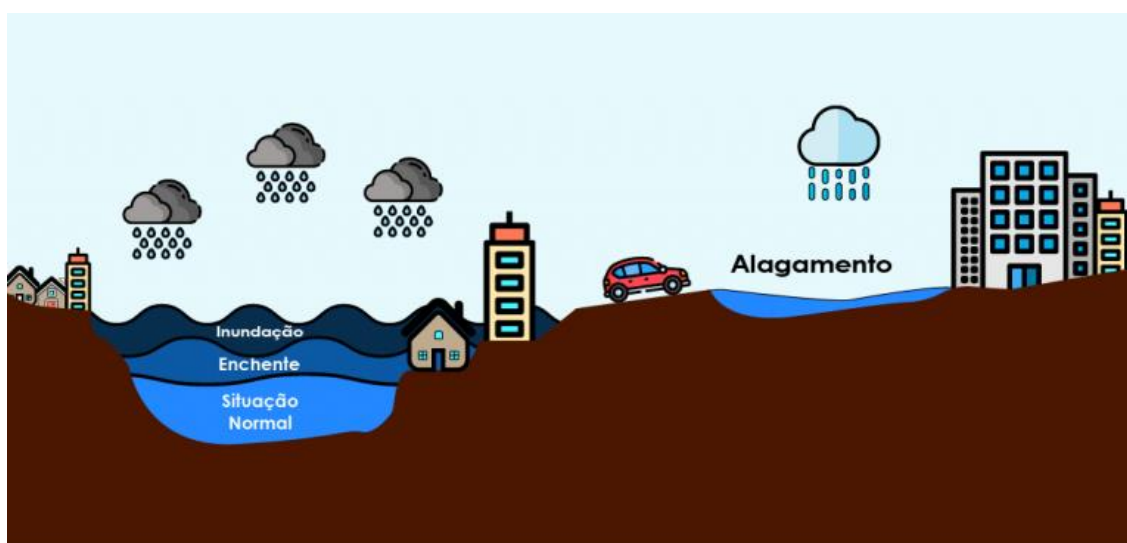
- a) Clima: o clima subtropical, predominante na região, favorece a formação de nuvens e chuvas;
- b) Frentes frias: na região, a ocorrência de frentes frias que se deslocam do sul para o norte, provocam a ascensão de massas de ar quente e úmido, resultando em chuvas, muitas vezes intensas e acompanhadas de tempestades;
- c) Eventos climáticos: fenômenos climáticos, como El Niño e La Niña, têm um papel significativo na alteração do padrão de precipitação na região. O fenômeno El Niño, notavelmente, tende a intensificar as chuvas no Sul;
- d) Relevo: A topografia acentuada altera a circulação dos ventos e promove a convergência de umidade, especialmente em regiões mais elevadas.

- e) Mudança climática: as mudanças climáticas causam consequências, entre elas, destacam-se o aumento da temperatura, essa elevação da temperatura global contribui para uma atmosfera mais carregada de umidade, resultando em precipitações mais intensas e frequentes.

Os fenômenos climáticos extremos, como enchentes, alagamentos, inundações e enxurradas vêm se tornando mais frequentes e intensos em várias regiões do mundo. Esses problemas, geralmente desencadeados por chuvas fortes e contínuas, ocorrem quando a quantidade de água excede o limite de drenagem de uma região, levando ao transbordamento de cursos d'água e sistemas urbanos de escoamento. Além de causarem sérios danos econômicos, destruindo infraestruturas e prejudicando setores como a agricultura e a indústria, esses fenômenos representam uma ameaça significativa à vida das pessoas e à segurança das comunidades envolvidas.

As enchentes e as inundações constituem elementos do ciclo natural de um rio e representam risco apenas quando as áreas que, por sua natureza, são abrangidas por esses fenômenos foram ocupadas por atividades humanas. Em contrapartida, os alagamentos são caracterizados como acúmulos artificiais de água, não estando associados a corpos d'água naturais. A figura 1, exemplifica a diferença entre os termos citados.

Figura 1 – Perfil esquemático do processo de enchente, inundação e enchente



Fonte: Defesa Civil Taió

### 2.2.1 Alagamentos

Alagamentos são caracterizados pelo acúmulo excessivo de água em uma área específica, resultando em inundações temporárias, esse fenômeno pode ou estar associado a um corpo hídrico.

De acordo com o CEMADEM, os alagamentos ocorrem quando a capacidade de drenagem urbana é superada, o que provoca o acúmulo de água em regiões mais baixas, como Ruas e calçadas, especialmente em situações de chuvas intensas. A ocorrência de alagamentos está profundamente ligada à eficácia dos sistemas de drenagem e ao processo de urbanização, já que o crescimento urbano gera a canalização dos corpos hídricos, direcionando as águas das chuvas diretamente para as galerias de drenagem. A figura 2, exemplifica um caso de alagamento, na cidade de Porto Alegre.

Figura 2 – Alagamento no bairro Menino Deus, Porto Alegre/RS



Fonte: Metsul (2024)

### 2.2.2 Enchentes

Enchentes são definidas como o aumento temporários do nível da água, quando um rio, em períodos de chuvas intensas e constantes, ultrapassa seu nível mais baixo, atingindo a cota máxima, sem transbordamento.

De acordo com Tucci (2001), as enchentes em áreas urbanas são em decorrência de dois processos: urbanização e ocupação indevida de áreas. Além disso, as enchentes são minimizadas de duas maneiras, estrutural - obras e modificação no curso do rio - e não estruturais - ajuste das atividades humanas à dinâmica do rio-.

De maneira geral, as enchentes são fenômenos naturais que ocorrem habitualmente nos cursos d'água, geralmente em resposta a chuvas de alta intensidade. Em ambientes urbanos, as inundações podem derivar de chuvas severas que ocorrem em longos intervalos de tempo, de transbordamentos de rios devido a mudanças no equilíbrio do ciclo hidrológico nas regiões a montante, ou ainda, podem ser resultado da própria urbanização (Pompeo, 2000).

### **2.2.3 Inundações**

Inundações são caracterizadas pelo transbordamento da água, em locais, normalmente secos, são fenômenos hidrológicos extremos, podem ser de natureza natural ou induzidas pela ação humana. As consequências das inundações estão relacionadas a danos materiais, deslocamento populacional, riscos à saúde pública, prejuízos financeiros e impactos ambientais

As inundações, comumente denominadas enchentes, são entendidas como o aumento dos níveis dos rios além de sua capacidade normal, causando o transbordamento das águas para as áreas adjacentes, que são chamadas de planícies de inundação (Kobiyama et al., 2006). A Figura 3 exemplifica um caso de inundação.

Figura 3 – Inundação no Estádio Beira Rio, 2024



Fonte: Sport Clube Internacional

#### **2.2.4 Enxurradas**

De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional as enxurradas são definidas como fluxos superficiais de alta velocidade e intensidade, causados por chuvas torrenciais e concentradas, usualmente ocorrendo em pequenas bacias caracterizadas por relevo acidentado.

A duração desse tipo de evento pode ser de minutos ou horas, a intensidade das águas, além de arrastar veículos, pessoas e animais, pode levar ao movimento de grandes blocos de pedra, à queda de árvores, à destruição de edificações e a deslizamentos de massa.

### **2.3 CIDADES ESPONJAS**

A crise climática tem intensificado as variações nas precipitações, resultando em secas mais severas e em tempestades com elevados volumes de chuva (Boehm; Schumer, 2023). Esses eventos climáticos causam alagamentos e inundações, muitas vezes agravados pela insuficiência de infraestrutura urbana. Nesse cenário, a estratégia da cidade esponja surge como uma alternativa inovadora e eficiente para a administração sustentável das águas da chuva.

Cidades esponjas é um método de infraestrutura verde para drenagem urbana, onde as cidades funcionam como um esponja, com a finalidade de absorver, armazenar e purificar a água pluvial, por meio da utilização da própria natureza, buscando aumentar a porosidade e permeabilidade das áreas livres ou edificadas, assim, a água é absorvida e retorna a camada subterrânea (Rede Juntos, 2024).

O conceito de cidade-esponja foi introduzido pelo professor e arquiteto chinês Kongjian Yu, após ele observar que o vilarejo onde residia, no leste da China, enfrentava recorrentes inundações. O estudioso concluiu que esses problemas eram agravados pela expansão da infraestrutura cinza, caracterizada pelo uso excessivo de concreto nas áreas urbanas, que canaliza rios e impermeabiliza as superfícies (Moura, 2024).

Os primeiros estudos sobre cidades-esponja, liderados por Kongjian Yu no início dos anos 2000, investigaram as consequências causadas por inundações em áreas urbanas e a precariedade dos sistemas de escoamento existentes. Embora o governo chinês inicialmente não demonstrasse interesse no projeto, a postura mudou em 2012, quando o país enfrentou severas consequências de uma grande inundação (Retto Junior, 2024). Nesse contexto, as lideranças decidiram adotar o conceito de cidade-esponja, reconhecendo ser mais eficaz e econômico desacelerar o fluxo das águas por meio do aumento de superfícies permeáveis, como vegetação e concreto poroso.

O conceito de cidade esponja fundamenta-se em métodos para garantir espaço e tempo para que as águas pluviais e residuais sejam drenadas de forma gradual até rios, arroios e lagos, reduzindo assim, a probabilidade de ocorrer enchentes e inundações (Dias; Lima, 2021). Dentre essas estratégias, destacam-se as coberturas verdes, bacias de infiltração ou zonas de retenção, parques alagáveis, praças-piscinas, vegetação nativa para absorção de água, pavimentação permeável e o incentivo à biodiversidade local. Essas medidas tornam as cidades mais permeáveis, e por consequência, os espaços urbanos mais resilientes à água.

No final de 2014, o governo chinês lançou o Programa Cidade-Esponja (PCE), conhecido internacionalmente como Sponge City Program (SCP), com o objetivo de aprimorar a gestão das águas urbanas no país. A iniciativa tinha como objetivo transformar a drenagem urbana das cidades para minimizar os impactos de cheias e inundações. Inicialmente, o plano previa a criação de 30 cidades-modelo,

nas quais pelo menos 80% das áreas urbanas seriam capazes de absorver, no mínimo, 70% da água da chuva (Dias; Lima, 2021).

Wuhan é a cidade mais populosa da China Central e foi selecionada como a primeira cidade para participar do projeto piloto, um quarto do seu território é formado por água, ou seja, uma região muito propensa a alagamentos e inundações. Os recursos hídricos da região impulsionaram o processo de urbanização, no entanto o desenvolvimento da cidade ocorreu de maneira desordenada e sem planejamento, ocasionando um aumento significativo na poluição das águas, em 2014, 4 dos 11 rios da cidade, não atendiam os padrões de qualidade (Peng; Reilly, 2021).

De acordo com Caldas (2020), o conceito de cidade esponja pode ser entendido como um método de drenagem urbana que prioriza a infiltração das águas pluviais, evitando o escoamento. Além disso para garantir o sucesso das cidades esponjas, é necessário planejar atentamente as soluções tecnológicas. Inicialmente, é necessário identificar as escalas de aplicação do modelo - edificação, Ruas, bairros, cidades e regiões-.

A criação de cidades esponjas deve priorizar a preservação, recuperação e renovação dos ecossistemas urbanos, para que as áreas urbanas sejam capazes de lidar com as consequências de desastres naturais. Sendo assim, é essencial a proteção dos sistemas ecológicos, priorizando manter as características hidrológicas naturais, sempre que possível.

### **2.3.1 Benefícios e Desvantagens**

A implantação do conceito de cidade esponja como um método de drenagem urbana, traz diversos benefícios, segundo Nguyen *et al.* (2019), os benefícios podem ser divididos em microescala e macroescala.

#### **a) Microescala:**

- Controle da qualidade da água: a água é filtrada antes de atingir o lençol freático;
- Gestão eficiente da água: a absorção e retenção de água, diminui a pressão sobre os sistemas de drenagem, reduzindo assim, as enchentes.
- Aumento de infiltração da água: o aumento da permeabilidade do solo, faz com que os aquíferos sejam recarregados com água renovável.

- Melhoria das Condições do Solo: o solo, torna-se mais saudável e nutrido;
- b) Macroescala:
- Diminuição de enchentes: com sistema de drenagem eficiente, água das chuvas são retidas em épocas com grande índice pluviométrico, reduzindo assim, as enchentes.
  - Aumento da quantidade da água: as áreas verdes auxiliam na filtragem de poluentes, aumentando a qualidade da água.

Além disso, o aumento de áreas verdes nas áreas urbanas traz benefícios em relação à qualidade de vida da população, estimulando hábitos mais saudáveis Souza (2022). Além disso, locais mais arborizados melhoram a qualidade do ar, reduz níveis de estresse, ansiedade e depressão.

### **2.3.2 Cidades Exemplos**

#### **2.3.2.1 Curitiba**

Desde a década de 1970, Curitiba tem investido na criação de parques com a função de armazenar água da chuva, desempenhando um papel importante na mitigação de enchentes (Furuya, 2024). O Parque Barigui (figuras 4 e 5), o maior e um dos mais populares da cidade, destaca-se nesse aspecto, com uma área de 140 hectares, distribuída por quatro bairros, funcionando como uma espécie de esponja natural.

Figura 4 – Parque Barigui, Curitiba/PR



Fonte: Guia Viagens Brasil

Figura 5 – Vista aérea do Parque Barigui, Curitiba/PR



Fonte: Governo do Paraná

Um exemplo da eficiência da contenção do parque, ocorreu em outubro de 2023, quando, após um período de intensas chuvas, o local funcionou como uma barreira de contenção, o lago do parque transbordou, no entanto, a água excedente

foi absorvida pelo solo ao redor, composto por vegetação e terra, evitando que a enchente atingisse áreas residenciais próximas (Macedo, 2023).

### 2.3.2.2 São Paulo

A cidade de São Paulo sofre com frequentes alagamentos, resultado de uma combinação de fatores geográficos, urbanísticos e climáticos que complicam a gestão das águas pluviais. Entre os principais fatores estão a expansão urbana desordenada, a impermeabilização do solo, a canalização e poluição dos rios, além dos sistemas de drenagem inadequados (Rosin, 2018). Por conta disso, o município começou a implantar obras de infraestrutura verde e azul.

A capital paulista possui diversos jardins de chuva espalhados na cidade, entres eles, podemos destacar o maior jardim de chuva do Brasil (Figura 6), localizado no eixo da Rua Major Natanael, no Pacaembu, este possui 11 jardins num total de 2.300 m<sup>2</sup> (Prefeitura de São Paulo – Subprefeitura Sé, 2024). No ano de 2022, implementado mais de 45 mil metros quadrados de jardim de chuva. A região central da cidade conta com 85 jardins, segundo dados de 2022 (Prefeitura de São Paulo – Subprefeitura Sé, 2024).

Figura 6 – Jardim de chuva da Rua Major Natanael



Fonte: Prefeitura de São Paulo – Subprefeitura Sé, 2024

Em São Paulo, algumas calçadas têm sido projetadas com poços de infiltração, figura 7, sendo implementadas em áreas onde não há espaço para um jardim de chuva. Nesses locais, é criada uma pequena área profunda capaz de absorver a água da chuva de maneira eficiente (Prefeitura de São Paulo – Subprefeitura Sé, 2024).

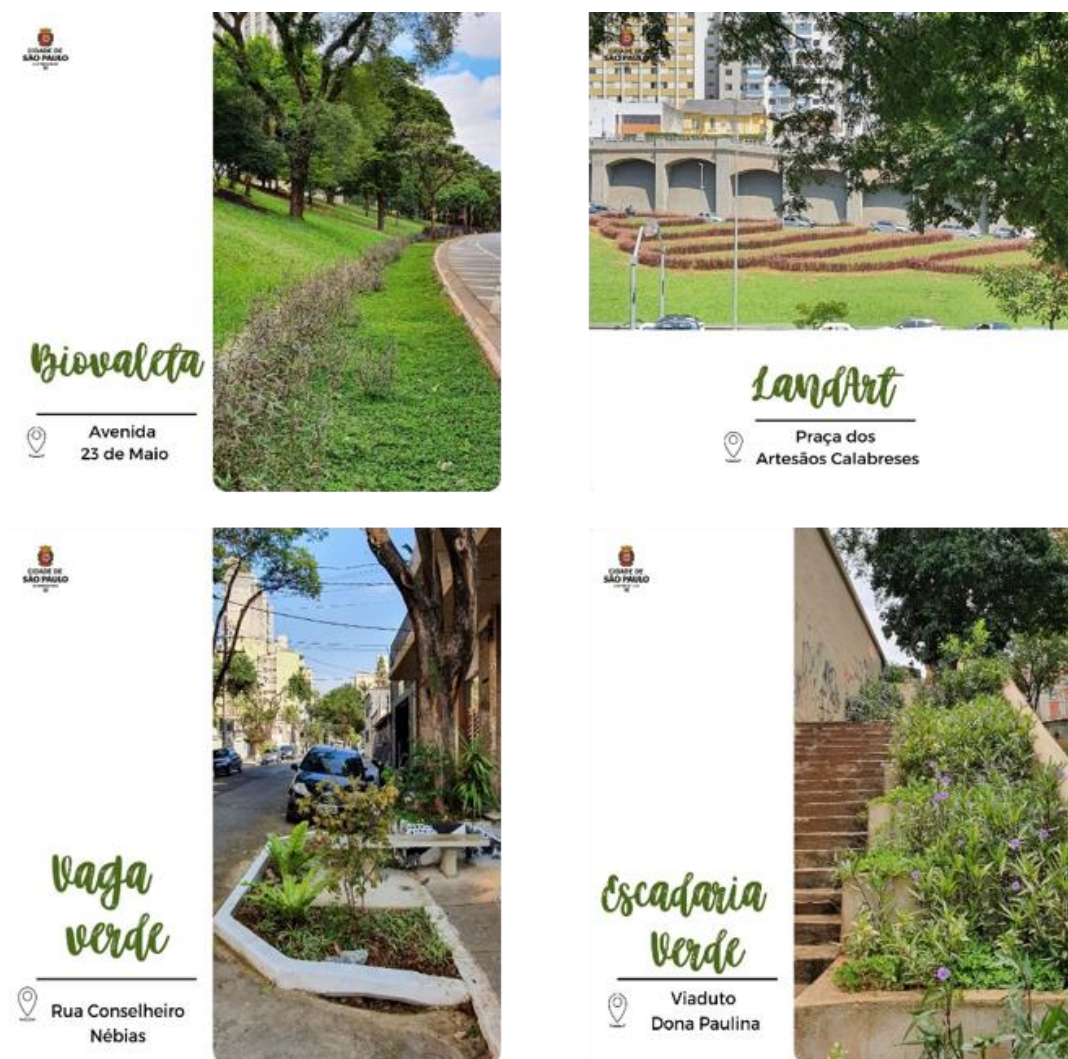
Figura 7 – Calçadas com poços de infiltração



Fonte: Prefeitura de São Paulo – Subprefeitura Sé, 2024

Além das técnicas citadas, a cidade também conta bosques de conservação, escadarias verdes, vagas verdes, biovaletas e iandarte, conforme ilustra a figura 8, totalizado 129 intervenções que somam uma área permeável de 60.157 m<sup>2</sup>, no centro da cidade (Prefeitura de São Paulo – Subprefeitura Sé, 2024).

Figura 8 – Técnicas de controle de drenagem urbana



Fonte: Prefeitura de São Paulo – Subprefeitura Sé, 2024

### 2.3.2.3 Wuhan

Wuhan, localizada no centro da China, é uma das cidades pioneiras no conceito de "cidade esponja", adotando medidas inovadoras para combater inundações e melhorar a gestão da água. Entre os principais projetos estão os telhados verdes, que são instalados em diversos edifícios e ajudam a absorver a

água da chuva, reduzindo o escoamento e proporcionando melhor isolamento térmico. Além disso, a cidade utiliza pavimentos permeáveis em áreas públicas e parques, permitindo a infiltração da água no solo e recarregando os lençóis freáticos (OATES *et al.*, 2020).

A cidade também investiu na criação de wetlands (áreas úmidas) construídos, que filtram e armazenam naturalmente as águas pluviais, promovendo a biodiversidade e oferecendo áreas de lazer para os moradores. Outro projeto importante são os jardins de chuva, instalados em bairros para capturar e filtrar a água da chuva, diminuindo a sobrecarga nos sistemas de drenagem urbanos (Figura 9). Essas iniciativas tornam Wuhan um exemplo de como a infraestrutura verde pode ser utilizada para melhorar a resiliência urbana frente às mudanças climáticas (OATES *et al.*, 2020).

Figura 9 – Áreas úmidas em Wuhan



Fonte: World Landscape Architecture

Até 2020, Wuhan estabeleceu a meta de assegurar que 70% de sua área urbana pudesse absorver e reutilizar ao menos 70% da água da chuva. Para alcançar esse objetivo, foram iniciados mais de 389 projetos, abrangendo cerca de 20,9 quilômetros quadrados (Peng; Reilly, 2021).

#### 2.3.2.4 Chongqing

Chongqing, localizada no sudoeste da China e caracterizada por sua topografia montanhosa, enfrenta grandes desafios relacionados à gestão de águas pluviais devido às suas frequentes chuvas intensas e relevo acidentado. A combinação de áreas montanhosas e urbanização crescente torna a cidade particularmente vulnerável a inundações, deslizamentos de terra e escoamento superficial, exigindo soluções inovadoras para mitigar esses problemas (Tarantino, 2024).

Chongqing implementou diversos projetos de infraestrutura verde para gerenciar as águas pluviais e melhorar o ambiente urbano. A cidade criou corredores verdes e parques com superfícies permeáveis para absorver a água da chuva, além de instalar sistemas de coleta de água pluvial em edifícios, que são usados para irrigação e descargas de vasos sanitários. A utilização de biovalas permite concentrar e transportar o escoamento da água, ao mesmo tempo em que remove detritos e poluição. Além disso, tanques subterrâneos de grande porte são empregados para armazenar o excesso de água da chuva, que pode ser utilizado em períodos de seca (Tarantino, 2024).

A área da cidade esponja de Chongqing cobre cerca de 20 quilômetros quadrados e conta com mais de 250 projetos concluídos até 2020. Essas iniciativas ajudaram a reduzir o escoamento superficial em cerca de 25%, resultando em uma diminuição significativa do risco de inundações urbanas, contribuindo para uma gestão mais eficiente das águas pluviais na cidade (Tarantino, 2024).

#### 2.3.2.5 Xiamen

Xiamen, uma cidade costeira no sudeste da China, busca equilibrar o crescimento urbano com os ciclos naturais da água. Seus projetos de cidade esponja têm como objetivo reduzir os riscos de inundações e preservar o ambiente costeiro, (Tarantino, 2024).

Xiamen implementou várias soluções de infraestrutura verde para gerenciar as águas pluviais e melhorar a qualidade urbana. Telhados e paredes verdes em edifícios ajudam a absorver a água da chuva, reduzem o efeito de ilha de calor e embelezam a cidade. Pavimentos permeáveis são amplamente utilizados em áreas

públicas, permitindo que a água se infiltre no solo e reduza o escoamento. Além disso, a cidade restaurou pântanos e construiu lagos urbanos para gerenciar as águas pluviais, promover a biodiversidade e criar espaços recreativos. Como parte de sua estratégia de gestão de recursos hídricos, Xiamen também emprega tecnologias de dessalinização para complementar o fornecimento de água doce. Em 2020, os projetos de cidade-esponja de Xiamen abrangiam cerca de 19 quilômetros quadrados, resultando em uma redução de 30% no risco de inundações urbanas. Além disso, a cidade melhorou a qualidade de suas águas costeiras por meio de uma gestão mais eficiente das águas pluviais (Tarantino, 2024).

### 2.3.2.6 Qian'na

O Corredor Ecológico do Rio Qian'an Sanlihe, na cidade de Qian'na, foi concebido como um projeto estratégico de regeneração em múltiplas escalas, combinando limpeza completa da área, design paisagístico e novos sistemas para esgoto e resíduos sólidos (Turenscape, 2020). Na figura 10, o corredor em Qian'na.

Figura 10 – Corredor ecológico do rio Qian'an Sanlihe



Fonte: Turenscape (2020)

O corredor verde possui 16 quilômetros de extensão e largura varia entre 100 e 300 metros, abrangendo uma área total de 135 hectares. O projeto abrange a remoção do antigo canal de concreto, substituindo por um sistema de pântanos e diversos tanques de retenção, com a função de controlar as enchentes e armazenar

águas da chuva (Turenscape, 2020). A figura 11, mostra imagens antes e depois da revitalização do local:

Figura 11 – Antes e depois da revitalização do corredor do Rio Qian'an Sanlihe



Fonte: Landezine (2012)

### 2.3.3 Técnicas

As técnicas de “cidades esponja” envolvem soluções urbanísticas com o objetivo de otimizar a gestão de águas pluviais e fortalecer a resiliência de áreas urbanas na presença de desastres naturais, como alagamentos e enchentes.

#### 2.3.3.1 Parques Alagáveis

Os parques alagados são espaços verdes artificiais capazes de reservar grandes quantidades de água, em períodos de enchentes e inundações.

São espaços projetados para serem parcialmente ou totalmente alagados em determinados períodos do ano. Esses locais, além de armazenar águas pluviais, são capazes de promover a biodiversidade e em períodos não chuvosos, ofertam a população locais de lazer (Pinto, 2023).

Um dos principais parques alagáveis do mundo, localizado em Nova York, Hunter's Point South Park, imagem 12 e 13, foi projetado como uma solução sustentável para o controle de inundações e alagamentos, utilizando técnicas de drenagem sustentável e paisagismo permeável para gerenciar o escoamento superficial das águas pluviais (Fazzare, 2018).

Figura 12 – Parque Hunter's Point South



Fonte: *The Architect's Newspaper*

Figura 13 – Parque Hunter's Point South



Fonte: The Architect's Newspaper

O projeto combina infraestrutura verde e engenharia urbana por meio de jardins pluviais, bacias de retenção e áreas permeáveis que absorvem a água da chuva, além de incluir paredes de proteção contra o mar e zonas elevadas para evitar que as águas inundem áreas mais baixas. Essas medidas ajudam a reduzir os riscos de alagamentos, proporcionando uma resposta resiliente às condições climáticas (Fazzare, 2018).

### 2.3.3.2 Parques Lineares

Para Ahern (1995), parques lineares são redes de terra, compostas por elementos lineares planejados, projetados e administrados para diversos propósitos, harmonizando as necessidades humanas com a sustentabilidade ecológica.

Esses locais auxiliam a recuperação de cursos d'água, retardando o escoamento ao proteger o fundo de vales, além de contribuir para a melhoria do clima urbano local, favorecendo o equilíbrio da umidade e a retenção de poeira e gases (Macedo; Sakata, 2003).

Os parques lineares possuem como um dos principais objetivos, o aumento de zonas de várzeas dos rios, aumentando assim as áreas de inundação e diminuição da vazão mais lenta da água durante as cheias dos rios, além disso, a criação desses parques, impede a ocupação irregular de áreas de preservação permanente (Yazaki *et al.*, s.d).

### 2.3.3.3 Pavimentos permeáveis ou drenantes

De acordo com Virgiliis (2009), pavimentos permeáveis são definidos como materiais que possuem permeabilidade e porosidade elevadas, sendo capazes de influenciar na hidrologia, causando consequências positivas ao meio ambiente. O uso de pavimentos permeáveis em áreas urbanas tem como objetivo reduzir o escoamento superficial, melhorar a qualidade da água e contribuir para o aumento da recarga de águas subterrâneas.

Os pavimentos permeáveis ou drenantes são materiais capazes de absorver água, ajudando a reduzir o escoamento superficial excessivo; a água é redirecionada aos rios por meio de canos e bocas de lobo. A estrutura desse pavimento deve ser dimensionada com base nos parâmetros de precipitação do local, nas características de permeabilidade e resistência do solo, e no nível do lençol freático (Santos *et al.*, 2022).

Os principais tipos de pavimentos permeáveis englobam o concreto permeável, que utiliza uma mistura de cimento, água e agregados de granulometria controlada para criar porosidade, sendo ideal para estacionamentos e calçadas; o asfalto permeável, feito com agregados específicos e menos finos, o que permite a infiltração de água em áreas de tráfego leve a moderado; e os blocos intertravados, compostos por blocos de concreto com espaçamentos preenchidos por areia ou pedriscos, comuns em calçadas e praças. Além disso, há os pavers vazados, blocos de concreto com aberturas centrais preenchidas por solo ou grama, que permitem infiltração e vegetação, adequados para estacionamentos e áreas de pedestres; e o pavimento de grama, feito com grelhas plásticas ou de concreto onde se planta grama nas aberturas, utilizado em áreas de lazer e estacionamentos temporários. A escolha do tipo de pavimento permeável depende de fatores como o tipo de tráfego, características do solo e volume de água a ser gerido no local (Virgiliis, 2009).

No Brasil, o uso de pavimentos permeáveis tem se expandido nas últimas décadas, principalmente em áreas urbanas. Esses pavimentos surgem como uma solução sustentável para a drenagem urbana, contribuindo para mitigar problemas de enchentes e controlar o escoamento superficial. Em cidades como São Paulo e Curitiba, já existem leis e regulamentações que incentivam o uso de pavimentos permeáveis em novos empreendimentos, especialmente em áreas propensas a inundações. Além disso, algumas prefeituras oferecem incentivos fiscais e

benefícios para projetos que adotam soluções sustentáveis, como o uso de pavimentos permeáveis (Maruyama; Franco, 2016).

O pavimento permeável é formado por três componentes principais (Reis; Rosa; Santos Carmo, 2022):

- Camada superficial porosa: material que facilita a passagem da água, concreto permeável;
- Camada de armazenamento: agregados que armazenam a água, até a absorção pelo solo ou por drenagem;
- Substrato de infiltração: solo com finalidade de absorver e filtrar a água.

#### 2.3.3.4 Biovaletas

As biovaletas são sistemas de drenagem urbana sustentável, compostos por valas rasas preenchidas com solo permeável e vegetação, com a função de captar, infiltrar e filtrar a água da chuva. Essa solução é desenvolvida para simular o comportamento natural do solo, permitindo que a água escoe de forma mais lenta e seja posteriormente absorvida, em vez de ser rapidamente direcionada ao sistema de drenagem convencional. Essa técnica de infraestrutura verde é geralmente aplicada ao longo de calçadas, vias urbanas e estacionamentos.

As biovaletas ajudam a reduzir os impactos dos alagamentos nos centros urbanos, evitando a sobrecarga das galerias pluviais em períodos de fortes chuvas, ao diminuir tanto o volume do escoamento superficial quanto a velocidade com que a água chega aos rios e córregos nas áreas urbanas.

Além de exercerem a função de drenagem, as biovaletas contribuem para a melhoria da qualidade da água e para a recarga do lençol freático, além de auxiliar na mitigação das ilhas de calor por meio da incorporação de vegetação nos ambientes urbanos.

#### 2.3.3.5 Reservatórios e bacias de retenção

Os reservatórios de retenção são estruturas construídas para controlar o fluxo de água liberado no sistema de escoamento. Podem ser estruturas superficiais — bacias de retenção — ou subterrâneas — cisternas e tanques. Posteriormente, a

água armazenada pode ser utilizada para limpeza urbana, recarga dos aquíferos e abastecimento da população, quando tratada corretamente.

Essa técnica deve ser aplicada em locais com alta impermeabilização do solo, a fim de controlar o escoamento superficial; em parques e áreas verdes, auxiliando a infiltração da água; e em empreendimentos residenciais e comerciais, com a finalidade de captação e reutilização da água pluvial.

As bacias de retenção são áreas projetadas para captar e armazenar temporariamente o excesso de água proveniente da chuva. Esse reservatório mantém a água armazenada por um período prolongado, permitindo sua infiltração no solo ou a liberação controlada para corpos hídricos.

Em resumo, a bacia de retenção representa uma solução eficaz e sustentável para a gestão da água da chuva nas cidades, contribuindo significativamente para a resiliência urbana diante das mudanças climáticas. Seu uso integrado com outras técnicas de manejo sustentável da água, como pavimentos permeáveis e áreas verdes, potencializa os benefícios ambientais, sociais e econômicos para as comunidades urbanas.

#### 2.3.3.6 Telhados Verdes

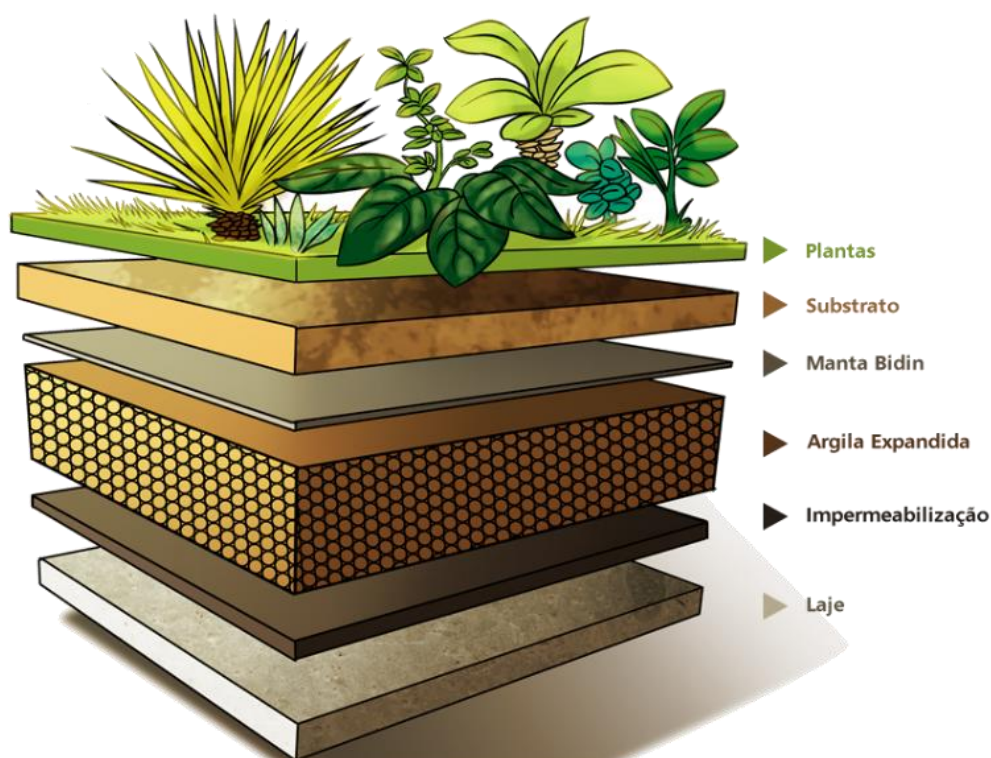
Telhado verde, também chamado de telhados ecológicos ou cobertura vegetal, é uma técnica que envolve a instalação de vegetação na cobertura de um edifício. Essa estrutura é composta por várias camadas, incluindo plantas, solo, sistema de drenagem e impermeabilização. Esse método tem a capacidade de reter água da chuva, proporcionar isolamento térmico ao ambiente e melhorar a qualidade do ar. As etapas de implementação do telhado verde é formado por: impermeabilização da laje, aplicação do sistema de drenagem, preparação do solo e plantio da vegetação (Tassi *et al.*, 2014): A estrutura do telhado, é formada por:

- Laje: função estrutural, onde é considerado as cargas permanentes e as cargas acidentais;
- Camada de impermeabilização: função impermeabilizante, protegendo a estrutura de infiltração;
- Camada drenante: função de drenar o excesso de água da chuva ou da irrigação, podendo ser composta por argila expandida, brita ou seixos, com espessura variando entre 7 e 10 cm.

- Camada impermeabilizante: função de Impedir que a água da chuva e da irrigação carregue as partículas de solo, normalmente se utiliza manta geotêxtil.
- Camada de solo: tem função essencial para o crescimento da vegetação, retenção da água, filtragem de nutriente e manutenção do equilíbrio ecológico.
- Camada de Vegetação: tem função essencial da eficiente da técnica, como absorção da água da chuva, isolante térmico e melhoria da qualidade do ar.

A figura 14, a seguir, ilustra as camadas do telhado verde.

Figura 14 – Camadas do telhado verde



Fonte: Base Engenharia

Segundo, Saddi e Moura (2010), os telhados verdes apresentam elevado potencial para mitigar o volume de águas pluviais direcionadas às redes públicas de drenagem, ao exercerem o papel de barreira natural entre a precipitação e o sistema de escoamento. Uma parcela expressiva da água da chuva é retida e submetida a

processos de filtragem por meio da vegetação, do substrato e da camada drenante, sendo gradualmente absorvida sob a forma de umidade.

Nos últimos anos, os telhados verdes no Brasil têm se tornado cada vez mais relevantes, especialmente nas grandes cidades que lidam com desafios como a urbanização rápida, a escassez de áreas verdes e problemas de drenagem urbana. Entre diversas edificação com cobertura vegetal, é possível destacar a sede do Sistema Fecomércio, em Porto Alegre/RS, onde a cobertura possui aproximadamente 10 mil m<sup>2</sup>, sendo considerado um dos maiores telhados da América Latina. Dentre as especificações, destaca-se o uso de grama na cobertura vegetal (Ecotelhado, 2022) (Figura 15).

Figura 15 – Telhado Fecomércio



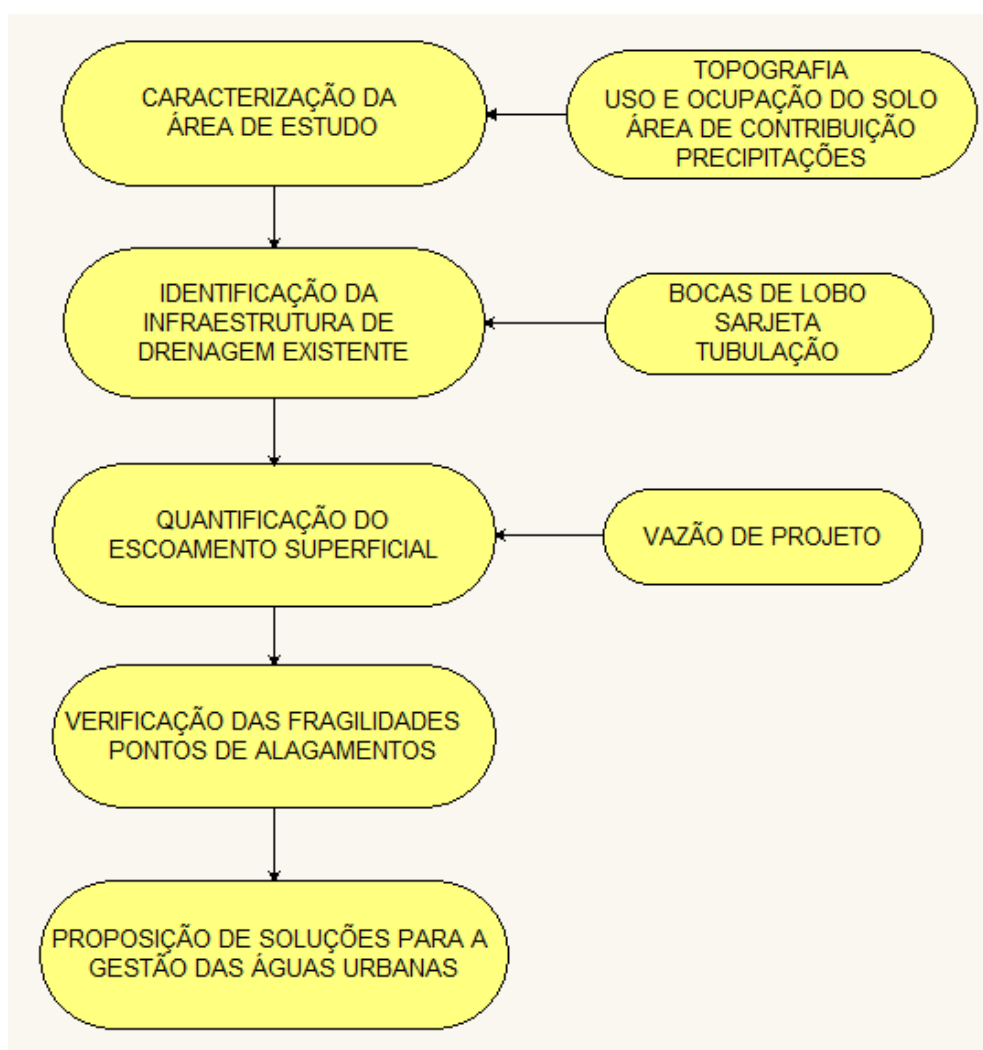
Fonte: *Notícia Sustentável*

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com base na revisão bibliográfica dos principais temas abordados no estudo — urbanização, drenagem e planejamento urbano, desastres hidrológicos e o conceito de cidade esponja — foram selecionadas e analisadas informações que visam atender aos objetivos da pesquisa. Em síntese, a cidade esponja representa um conjunto de soluções eficazes para a prevenção de alagamentos e enchentes, configurando-se como uma estratégia de drenagem urbana que também contribui significativamente para a preservação ambiental.

O fluxograma a seguir, figura 16 apresenta as etapas metodológicas do presente estudo.

Figura 16 – Fluxograma da metodologia adotada no estudo

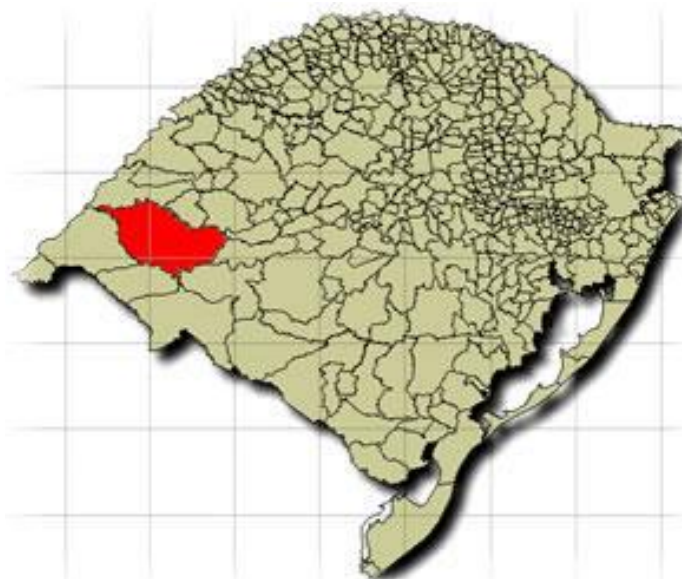


Fonte: Autoria própria (2024)

### 3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Definiu-se o município de Alegrete, no oeste do Rio Grande do Sul, como objeto de estudo, devido ao fato de que, nos últimos anos, a cidade enfrentou recorrentes desastres naturais hidrológicos. O aumento na frequência de chuvas torrenciais resultou em diversos episódios de alagamentos e inundações em várias áreas do município. A figura 17 apresentou a localização do município de Alegrete no contexto estadual.

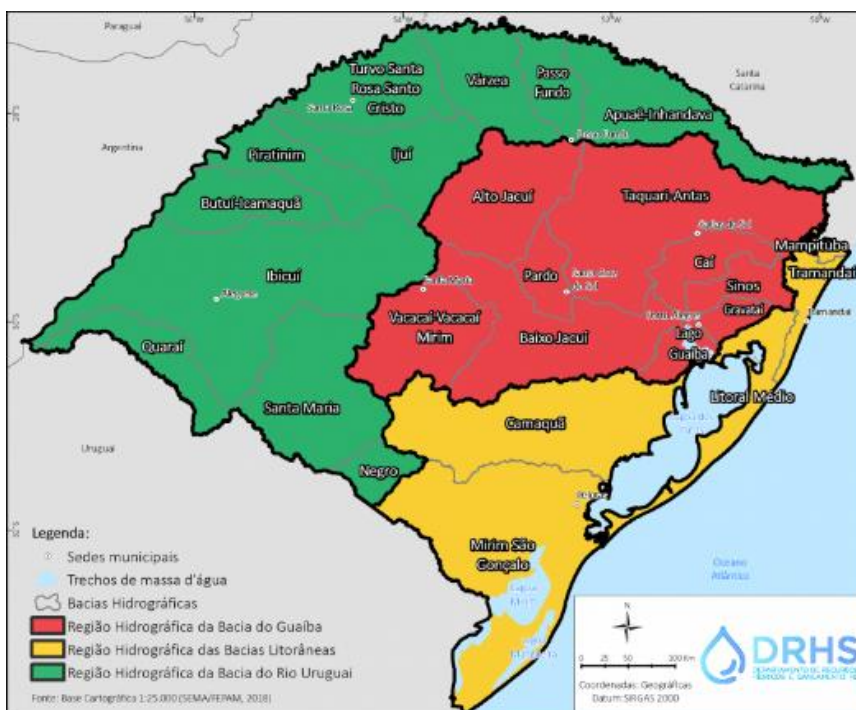
Figura 17 – Localização do município de Alegrete no estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Prefeitura Municipal de Alegrete

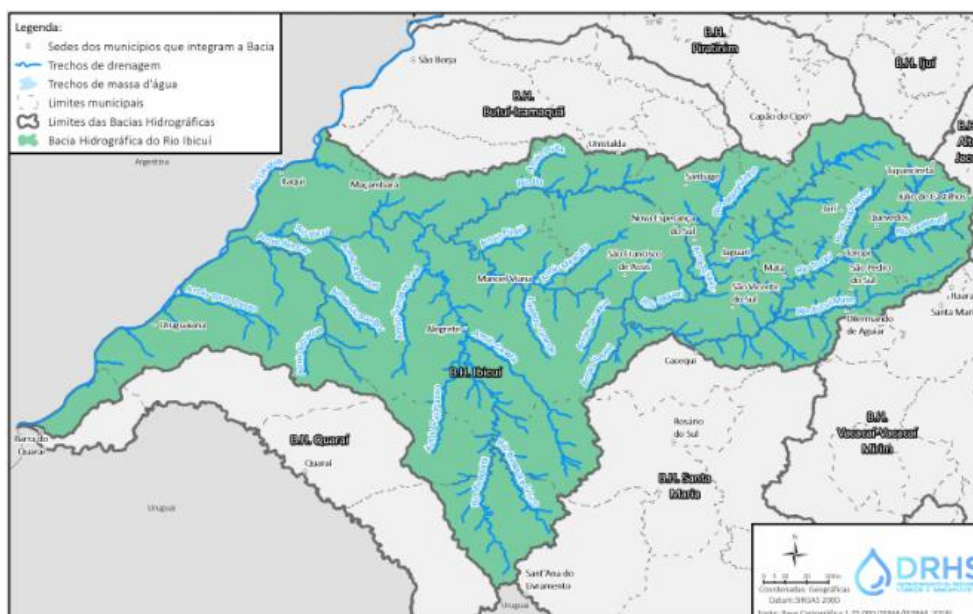
O município de Alegrete, está localizado na região da fronteira-oeste do estado do Rio Grande do Sul, com uma superfície territorial de 7.800 Km<sup>2</sup> - sendo o maior município em extensão territorial do estado e, uma população de 72.409 habitantes, conforme dados do Censo Demográfico do IBGE/ 2022. Alegrete está situada na região hidrográfica do Uruguai e integra a Bacia do Rio Ibicuí (Figuras 18 e 19).

Figura 18 – Regiões hidrográficas.



Fonte: Secretária do Meio Ambiente e Infraestrutura

Figura 19 – Bacia hidrográfica do Ibicuí



Fonte: Secretária do Meio Ambiente e Infraestrutura

O Rio Ibirapuitã, afluente do rio Ibicuí, é o principal curso d'água de Alegrete, tem grande importância para a geografia e economia local, sendo essencial para o abastecimento de água e atividades agrícolas da região. A área urbana de Alegrete

é atravessada pelo rio principal, o Ibirapuitã, além de contar com três afluentes importantes: Caverá, Regalado e Jararaca.

A área de estudo está localizada na zona urbana de Alegrete, em uma microbacia inserida no bairro Doutor Romário, a qual possui como via principal a Rua Senador Daniel Krieger, local este que apresenta frequentes alagamentos.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi motivado pelos frequentes problemas de alagamentos que vem ocorrendo na Rua Senador Daniel Krieger, localizada no bairro Doutor Romário, na cidade de Alegrete/RS. Desta forma, delimitou-se a bacia de contribuição para a referida área e as demais características, conforme a seguir:

A caracterização da área de estudo foi realizada com base nos seguintes aspectos:

**a) Topografia:** a caracterização da altimetria da área de estudo foi realizada através do aplicativo 'Contour Map Creator', que possui como base a altimetria do Google Earth. Definiu-se o intervalo das curvas de nível de 1 (um) metro. Optou-se por utilizar altimetria desta fonte, tendo em vista que o estudo caracteriza-se como preliminar. Na etapa seguinte, o arquivo contendo as curvas de nível gerado no 'Contour Map Creator' no formato .kml, foi convertido para utilização no ARCMAP. Nessa etapa, analisou-se o relevo da região de estudo, identificando elevações, depressões e áreas planas que poderiam favorecer o acúmulo de água.

Posteriormente, foi georreferenciado uma imagem da área de estudo proveniente do Google Earth, para subsidiar as etapas seguintes, incluindo a identificação do uso e ocupação do solo.

A partir dos planos de informação *curvas de nível e imagem do Google Earth*, foi efetuado a delimitação da área de estudo, aqui denominado 'bacia de contribuição', considerando a Rua Senador Daniel Krieger como exutório. A escolha do local do exutório deve-se ao objetivo do presente estudo, que inclui avaliar o escoamento superficial em local com ocorrência recorrente de alagamentos.

A partir da delimitação da bacia de contribuição, procedeu-se a identificação das microbacias, utilizando-se da altimetria e da imagem do Google Earth. O procedimento de delimitação de bacia de contribuição e microbacias foi realizado no *ARCMAP versão educacional*.

**b) Uso e ocupação do solo:** foram avaliados os padrões de uso e ocupação do solo, identificando áreas urbanizadas e a cobertura vegetal, utilizando imagens do Google Earth georreferenciadas no *ARCMAP versão educacional*, apoiadas por inspeção in loco;

**c) Infraestrutura de drenagem:** buscou-se informações junto a Prefeitura Municipal e inspeção in loco, caracterizando-se a infraestrutura de drenagem existente, tais como: sarjetas, bocas-de-lobo, caixas de inspeção e tubulação;

**d) Revestimento das vias:** foi identificado o tipo de pavimento das vias da área de estudo por meio de imagens do Google Earth, apoiadas por inspeção in loco;

**e) Identificação de áreas de alagamentos:** após a caracterização e análise da área de estudo, buscou-se identificar a região mais propensa a alagamentos, bem como as causas associadas a esse problema, sugerindo possíveis soluções que pudessem ser implantadas, utilizando o método de cidade esponja. Nesta etapa também buscou-se informações junto a Prefeitura Municipal de Alegrete e com moradores da área de estudo sobre ocorrência de alagamentos.

**f) Vazão de projeto:** A vazão de projeto foi definida utilizando o método racional, formulação amplamente utilizada em bacias pequenas, menores que 2 km<sup>2</sup>. Esse método determina que a duração máxima de projeto é igual ao tempo de concentração e adota um coeficiente único de perdas, nomeado como C, estabelecido a partir das características da bacia (Tucci; Porto; Barros, 1995). A vazão de projeto foi dada pela equação 1 (método racional):

$$Q = 0,278 C . I . A \quad (1)$$

Onde:

Q é a vazão, é calculada em (m<sup>3</sup>/s);

C é o coeficiente de escoamento;

I é a intensidade, é calculada em (mm/h);

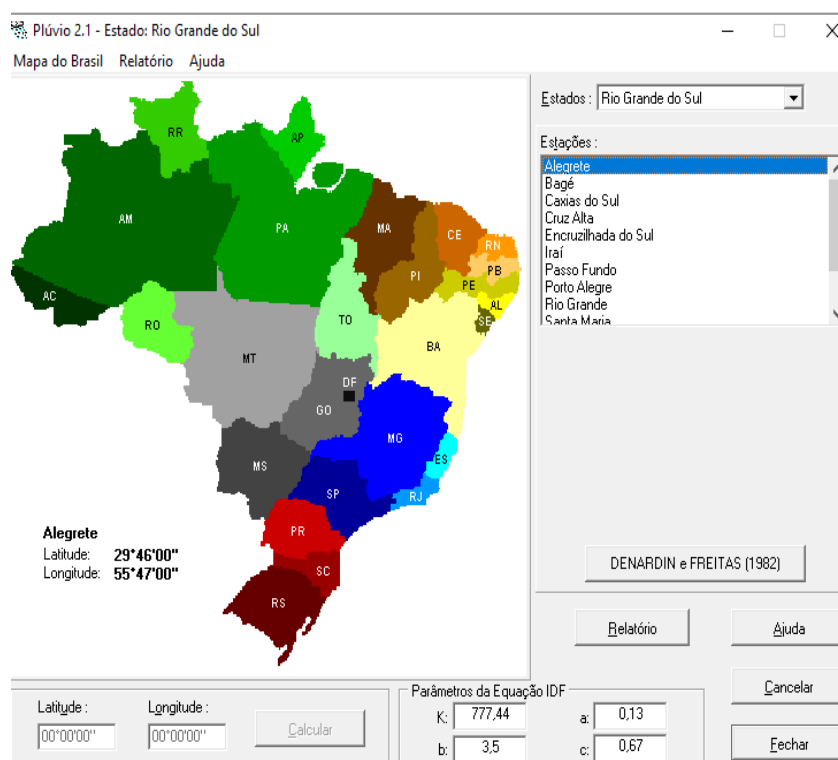
A é a área da bacia, calculada em (km<sup>2</sup>).

A intensidade de precipitação (i) é a quantidade de chuva que cai em um determinado período de tempo em uma determinada área. Em drenagem urbana, é

fundamental conhecer o volume de água durante um evento de chuva, pois essas informações são essenciais para o adequado dimensionamento e projeto das estruturas de drenagem urbana.

A caracterização das intensidades de precipitações foi realizada por meio de parâmetros ajustadas para o município de Alegrete, encontradas na literatura técnica. Neste estudo, utilizaram-se os parâmetros propostos por Denardin e Freitas (1982), disponibilizados no software PLUVIO, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), figura 20.

Figura 20 – Parâmetros da equação IDF no software PLUVIO 2.1.



Fonte: Pluvio 2.1.

A intensidade foi determinada pela equação 2, na qual três fatores principais foram relacionados: intensidade, duração e frequência.

$$i = \frac{K(TR)^a}{(tc+b)^c} \quad (2)$$

Onde:

$i$  é a intensidade da precipitação, em (mm/h);

TR é o tempo de recorrência em anos;

$d$  é a duração da chuva, em minutos;

$k$ ,  $a$ ,  $b$  e  $c$  são coeficientes determinados para cada estação pluviométrica.

O tempo de retorno ( $T_r$ ), é o período médio de tempo entre ocorrências de um fenômeno natural de mesma magnitude. Esse parâmetro é amplamente utilizado na microdrenagem, com valores variando entre 2 a 10 anos, dependendo do tipo de obra e do uso do solo, conforme exemplificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores do tempo de retorno

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	Tempo de retorno
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 a 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 a 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 a 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Bidone e Tucci (2015, p. 87).

O tempo de concentração ( $T_c$ ) é o intervalo necessário para que a água da chuva, acumulada em uma área específica, atinja o ponto de saída do sistema de drenagem ou de lançamento no corpo receptor. Para determinar a equação de tempo de concentração, dois fatores principais serão levados em conta: localização da bacia (rural ou urbana) e a respectiva área.

Em um estudo conduzido por Silveira (2005), no qual foram analisadas diferentes equações para a determinação do tempo de concentração em bacias urbanas e rurais, recomendou-se a equação de Carter para áreas urbanas, considerando seu desempenho satisfatório em um maior número de bacias desse tipo. A equação é indicada para áreas de até 1.100 hectares, sendo compatível com a área de contribuição da bacia em estudo, que apresenta 72,33 hectares.

Diante disso, adotou-se no presente trabalho a equação de Carter (1961) para a determinação do tempo de concentração, conforme apresentado a seguir:

$$T_c = 0,0977 L^{0,6} S^{-0,3} \quad (3)$$

Onde:

$T_c$  é o tempo de concentração, em horas;

L é o comprimento da bacia, em Km;

S é a declividade, em (m/m).

Onde a declividade (S) é dada pela equação abaixo:

$$S = \frac{\text{Cota final} - \text{Cota inicial}}{\text{Comprimento do talvegue}} \quad (4)$$

As cotas iniciais, cotas finais e o comprimento do talvegue estão expressos em metros.

O coeficiente de escoamento (C) utilizado no Método Racional é influenciado por diversos fatores, como o tipo de solo, cobertura e ocupação do terreno, além de aspectos como o tempo de retorno e a intensidade da precipitação (Tucci; Porto; Barros, 1995). O Tabela 3 representa os valores do coeficiente em relação a superfície e o Tabela 4, representa em função do tipo de ocupação.

Tabela 3 - Valores de C em relação a superfície

Superfície	C	
	intervalo	valor esperado
Pavimento		
asfalto	0,7 - 0,95	0,83
concreto	0,8 - 0,95	0,88
calçadas	0,75 - 0,85	0,80
telhado	0,75 - 0,95	0,85
Cobertura: grama, arenoso		
plano (2%)	0,05 - 0,1	0,08
médio (2 a 7 %)	0,1 - 0,15	0,13
alta (7%)	0,15 - 0,2	0,18
Gramma: solo pesado		
plano (2%)	0,13 - 0,17	0,15
médio (2 a 7 %)	0,18 - 0,22	0,2
alta (7%)	0,25 - 0,35	0,3

Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995, p. 88).

Tabela 4 - Valores de C por tipo de ocupação

Descrição da área	C
Área comercial	
Central	0,70 - 0,90
Bairros	0,50 - 0,70
Área Residencial	
Residências isoladas	0,35 - 0,50
Unidades múltiplas (separadas)	0,40 - 0,60
Unidades múltiplas (conjugadas)	0,60 - 0,75
Lotes com > 2.000 m <sup>2</sup>	0,30 - 0,45
Áreas com apartamentos	0,50 - 0,70

Área Industrial	
Indústrias leves	0,50 - 0,80
Indústrias pesadas	0,60 - 0,90
Parques, cemitérios	0,10 - 0,25
Playgrounds	0,2 - 0,35
Pátios ferroviários	0,2 - 0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10 - 0,30

Fonte: Adaptado de Tucci, Porto e Barros (1995).

Após a definição da vazão de projeto, foram realizados os cálculos referentes à sarjeta. Com base nessa vazão, determinou-se a altura da lâmina d'água (h), cujo valor obtido foi comparado com as dimensões das sarjetas existentes na área de estudo.

O coeficiente de rugosidade de Manning para canais de concreto bem acabado é usualmente adotado como 0,013 devido à superfície relativamente lisa que o concreto proporciona, permitindo um escoamento eficiente com baixa resistência ao fluxo. Segundo Chow (1959), valores típicos para concreto variam entre 0,012 e 0,015, sendo 0,013 um valor médio que representa adequadamente a condição prática de canais e sarjetas de concreto.

O valor da lâmina d'água necessário foi comparado com a altura da lâmina existente na área de estudo. Nos casos em que a altura da lâmina d'água existente foi inferior à requerida pelo projeto, foi necessária a adoção de tubulação para o escoamento.

Caso a vazão das sarjetas seja inferior à vazão de projeto, torna-se necessário o dimensionamento de tubulações para garantir o adequado escoamento pluvial.

A área molhada da tubulação é dada pela seguinte equação:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (5)$$

O perímetro molhado é dado pela seguinte equação:

$$P = \pi \cdot D \quad (6)$$

O raio hidráulico é dado pela seguinte equação:

$$R = \frac{A}{P} \quad (7)$$

A vazão da tubulação foi determinada por meio da equação de Manning, amplamente utilizada para o dimensionamento hidráulico de canais e condutos livres. Essa equação permite calcular a vazão a partir da área da seção transversal, do raio hidráulico e da declividade do conduto, considerando ainda o coeficiente de rugosidade do material.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{2}{3}} \quad (8)$$

Onde:

Q é a vazão em m<sup>3</sup>/s;

A é a área da seção molhada, em m<sup>2</sup>;

R é o raio hidráulico em m;

I é a declividade em m/m.

**g) Proposição de soluções:** com base na caracterização da área de estudo e na identificação das zonas críticas de alagamento, foram selecionadas as técnicas e definidos os locais para a implementação do método de cidade esponja, com o objetivo de otimizar a capacidade de retenção e infiltração das águas pluviais. As técnicas consideradas para aplicação incluem parques alagáveis, parques lineares, pavimentos permeáveis, biovaletas, reservatórios e bacias de retenção, além de telhados verdes. Essa abordagem integrada visa reduzir o escoamento superficial e mitigar os picos de vazão, promovendo a segurança hidráulica do sistema de drenagem urbana.

Para calcular e dimensionar um sistema baseado na metodologia da cidade esponja utiliza-se uma abordagem integrada que envolve métodos hidrológicos e hidráulicos, conforme resumido a seguir:

#### **g.1) Caracterização hidrológica da bacia:**

- Determinação da área de contribuição;
- Definição da intensidade da chuva;
- Estimativa do coeficiente único de perdas;
- Definição do tempo de retorno e da vazão de projeto.

#### **g.2) Dimensionamento hidrológico:**

- Cálculo das vazões máximas da bacia em estudo, a partir da equação 1.

### **g.3) Dimensionamento das estruturas:**

- O cálculo da vazão necessária para cada estrutura será a partir da equação 8.

### **g.4) Determinação das dimensões físicas e do formato das estruturas;**

Nesta etapa é necessário calcular a área molhada (A) e o perímetro hidráulico (P) da seção transversal, fundamentais para o dimensionamento hidráulico das estruturas. As equações 9 e 10 representam, respectivamente, as fórmulas da área molhada para seções retangulares e trapezoidais, enquanto as equações 11 e 12 correspondem aos respectivos perímetros hidráulicos.

$$A = B \cdot H \quad (9)$$

Onde:

B é a base do retângulo;

H é a altura do retângulo.

$$A = H \cdot (B + Z \cdot H) \quad (10)$$

Onde:

B é a base do trapézio;

H é a altura do trapézio;

Z é a inclinação lateral.

$$P = B + (2H) \quad (11)$$

Onde:

B é a largura da base molhada;

H é a profundidade da água.

$$P = B + (2H) \cdot \sqrt{1 + Z^2} \quad (12)$$

Onde:

B é a largura da base molhada;

H é a profundidade da água;  
Z é a inclinação lateral.

**g.5) Verificação e ajustes:**

- Avaliação dos resultados para garantir que a capacidade de vazão atenda à demanda requerida;
- Ajustes nos parâmetros e dimensionamentos, caso necessário, para adequação do sistema.

Essa metodologia permite a concepção de um sistema eficiente, capaz de controlar as águas pluviais e reduzir os impactos das enchentes urbanas.

Após definir as técnicas adotadas, deve-se identificar os trechos que necessitam de tubulação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio da análise das curvas de nível, obtidas a partir de dados altimétricos da região e da realização de visita técnica in loco, foi possível estabelecer uma correlação entre a ocorrência de alagamentos e as características topográficas da área urbana em estudo. A análise do relevo indicou que as extremidades da bacia urbana possuem cotas elevadas, enquanto próximo ao exutório, a topografia do terreno é plana, atuando como ponto de concentração do escoamento superficial durante chuvas intensas.

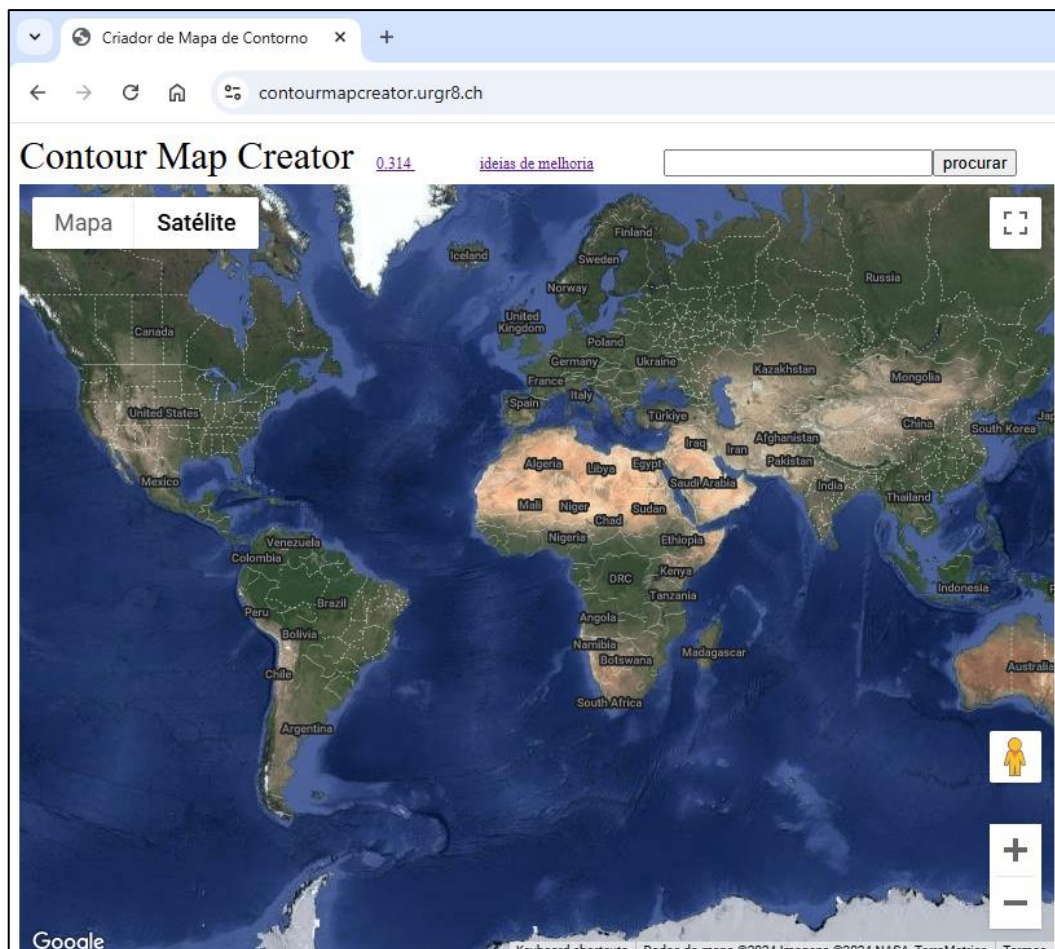
A visita técnica permitiu verificar, de forma prática, que o sistema de drenagem pluvial existente é inadequado para a demanda atual. Diversos dispositivos de captação, como bocas de lobo e sarjetas, apresentam-se obstruídos ou mal posicionados, impedindo que o escoamento da água ocorra de maneira eficiente.

Essa combinação de fatores — topografia desfavorável e infraestrutura insuficiente — tem resultado na recorrência de alagamentos, com impactos negativos para a população local, como danos materiais, interrupções no tráfego e riscos à saúde pública.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO da Área de estudo

A caracterização da área de estudo foi realizada com base nos seguintes aspectos:

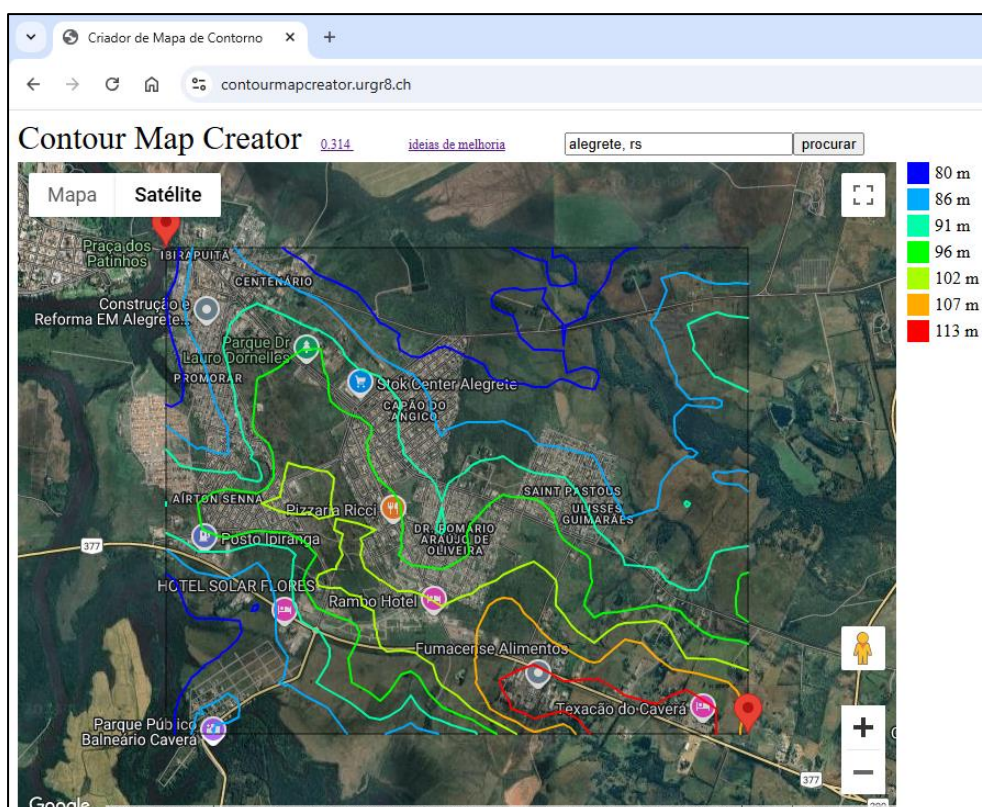
**a) Topografia:** as Figuras 21 e 22, a seguir, apresentam a obtenção de dados de altimetria no aplicativo *Contour Map Creator*. A área de estudo possui uma bacia de contribuição de 0,7233 Km<sup>2</sup>, equivalente a 72,33 hectares. A altimetria apresenta cota superior de 118 m e cota inferior de 90m, junto a Rua Senador Daniel Krieger, exutório da bacia.

Figura 21 – Tela inicial de localização da área de estudo no *Contour Map Creator*

Fonte: *Contour Map Creator*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Disponível em: <https://contourmapcreator.urgr8.ch/>.

Figura 22 – Curvas de nível da área de estudo no aplicativo *Contour Map Creator*

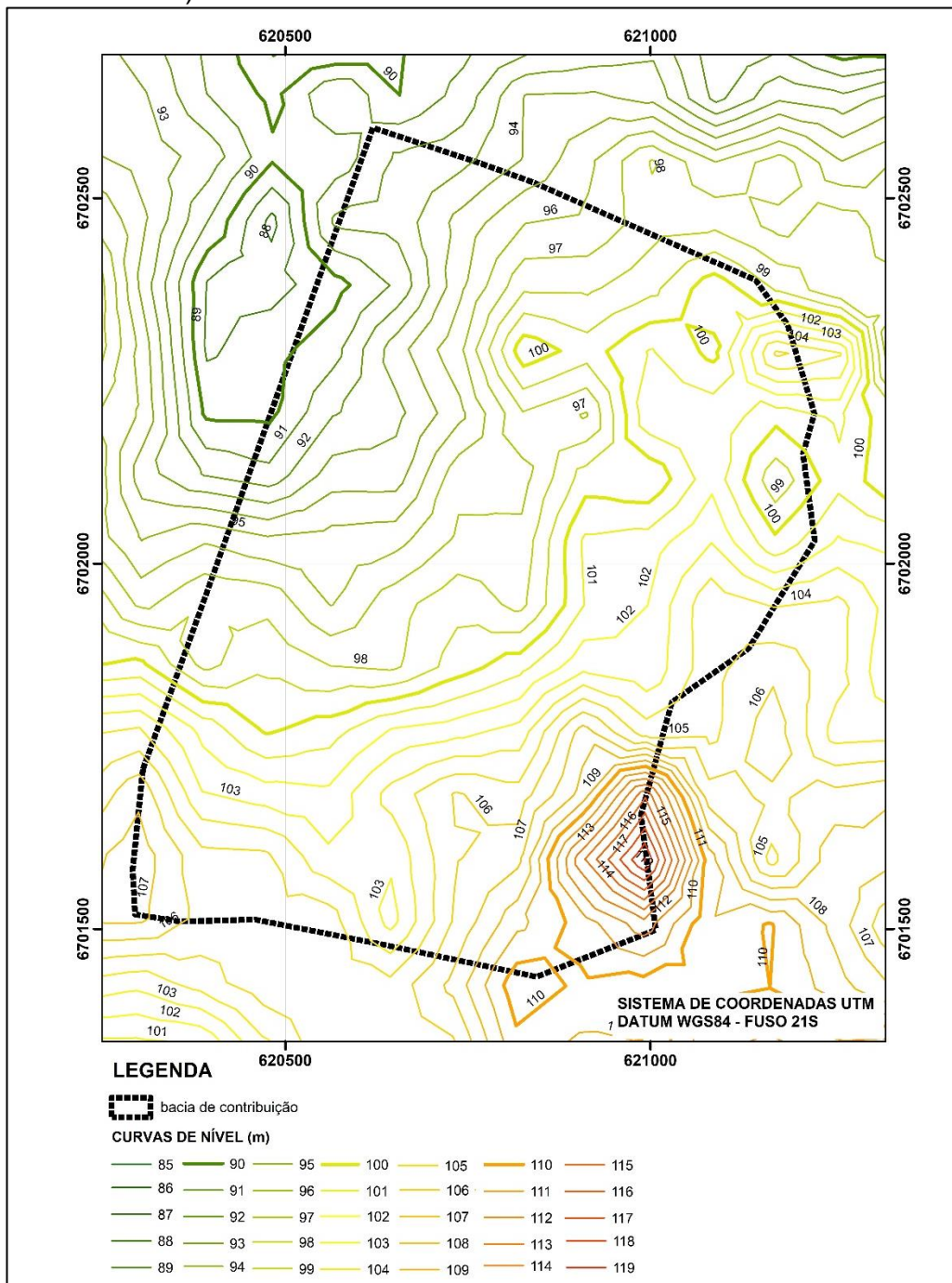


Fonte: Contour Map Creator<sup>2</sup>

A Figura 23 apresenta a caracterização do relevo da área de estudo, representado por curvas de nível com equidistância de 1 metro. A Figura 24 ilustra o relevo sobreposto à imagem de satélite do Google Earth, permitindo melhor contextualização espacial. Por sua vez, a Figura 25 exibe a delimitação da bacia de contribuição e de suas respectivas microbacias, totalizando 28 unidades, que servirão de base para o desenvolvimento dos estudos de vazão de projeto.

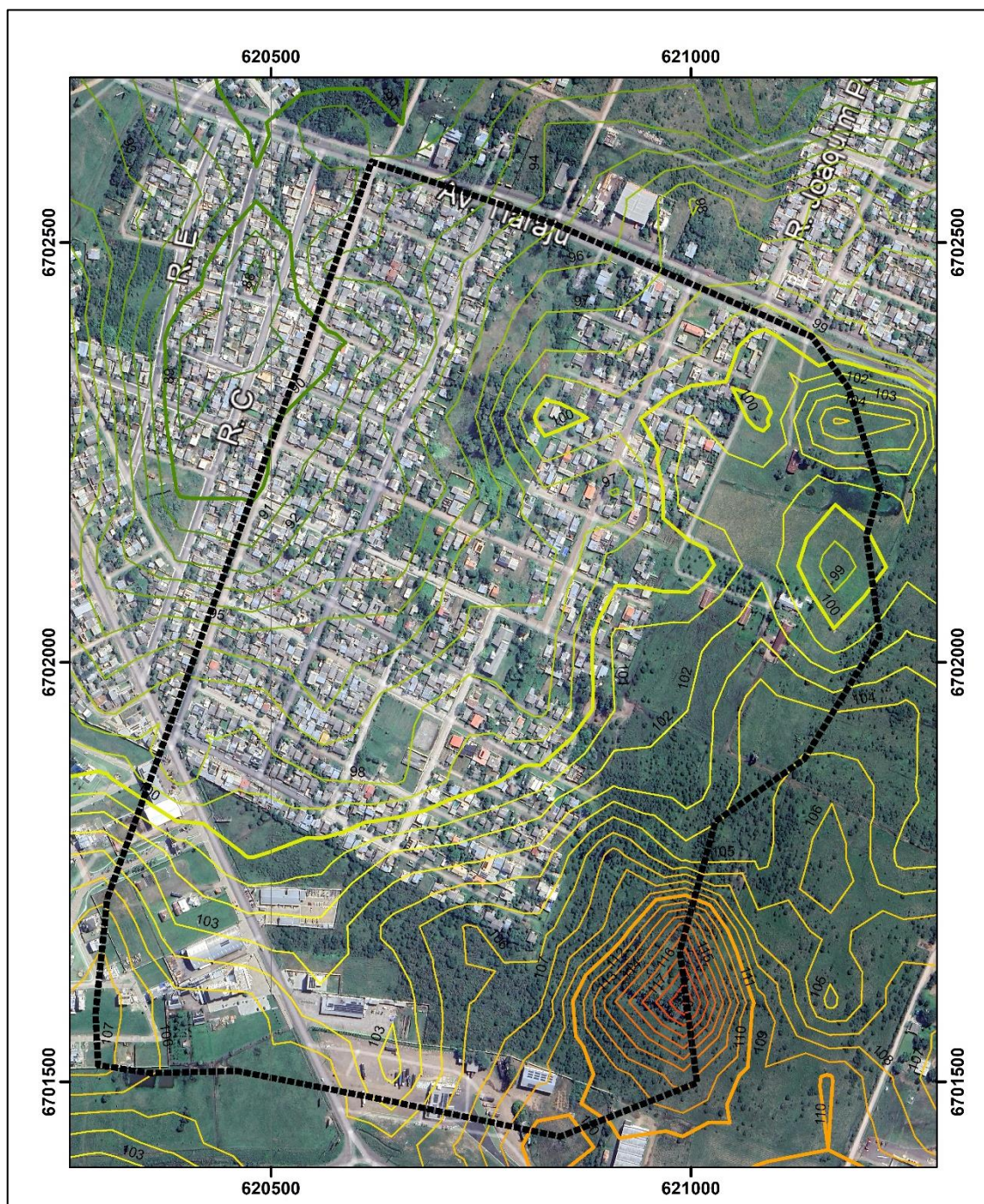
<sup>2</sup> Disponível em: <https://contourmapcreator.urg8.ch/>.

Figura 23 – Caracterização do relevo da área de estudo (curvas de nível equidistante 1 metro)



Fonte: Autoria própria (2024)

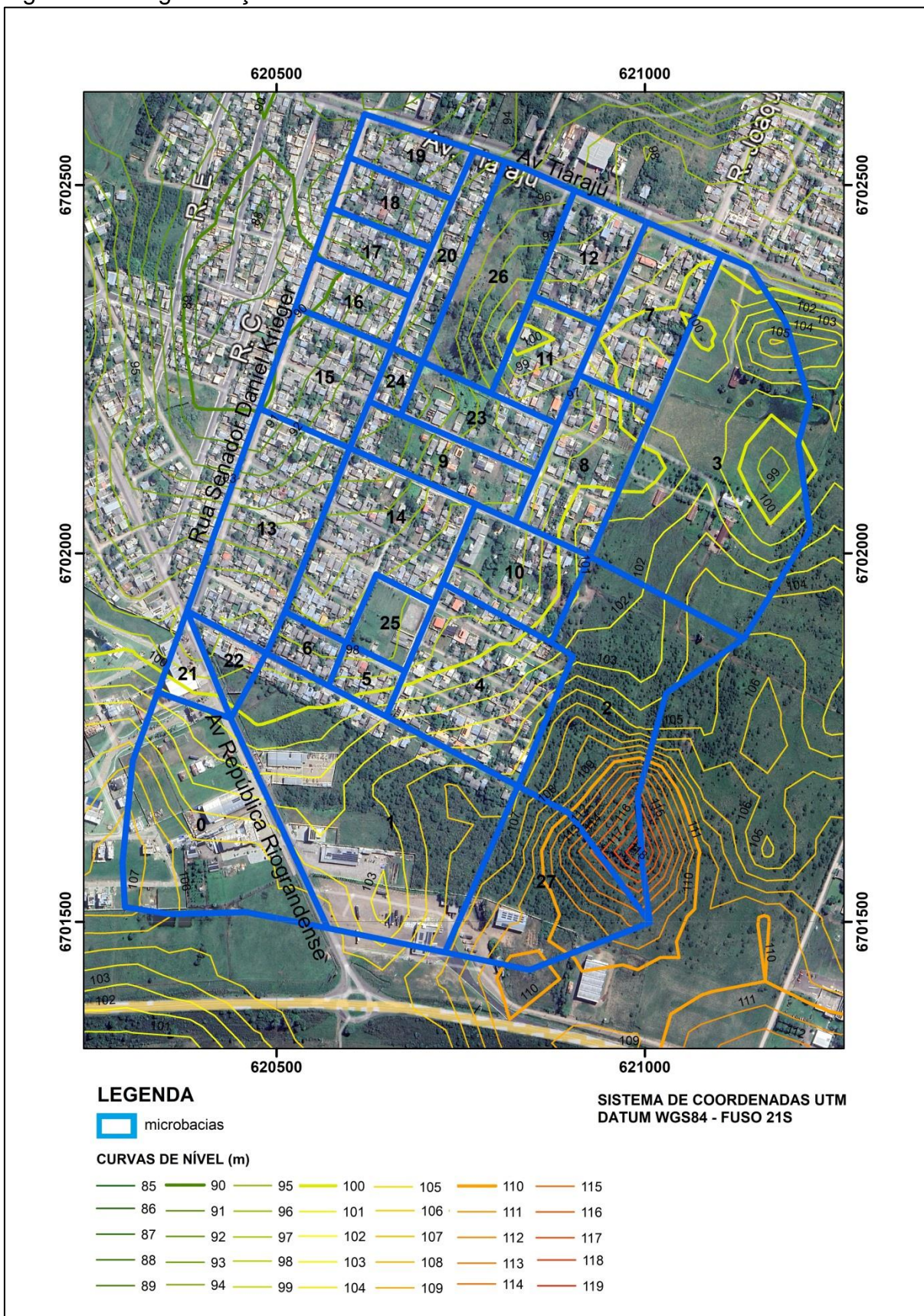
Figura 24 - Imagem do Google Earth com altimetria da área de estudo



Fonte: Autoria própria (2025)

A área de estudo foi dividida em 28 microbacias, identificadas com os números de 0 a 27, conforme ilustrado na Figura 25.

Figura 25 - Segmentação da área de estudo em microbacias



Fonte: Autoria própria (2025)

Por meio do aplicativo de geoprocessamento *ArcMap – versão educacional*, foram obtidos os dados referentes à área de drenagem, ao comprimento do talvegue e às cotas altimétricas inicial e final de cada microbacia, determinando assim a declividade de cada unidade de contribuição pela equação 4 (Tabela 5).

Tabela 5 - Caracterização das microbacias.

Microbacia	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Comprimento do talvegue (m)	Cota inicial (m)	Cota final (m)	Declividade (m/m)
0	0,055327	285	107	102,5	0,016
1	0,088000	627	112	100	0,019
2	0,060054	503	112	101	0,022
3	0,09176	402	104	100,5	0,009
4	0,03936	294	107	99	0,027
5	0,005719	113	102	99,5	0,022
6	0,005879	117	100,5	98	0,021
7	0,025363	116	101	99,5	0,013
8	0,024535	113	100	99	0,009
9	0,017188	246	98,5	95	0,014
10	0,020667	168	102	98	0,024
11	0,014552	99	99,5	98	0,015
12	0,015931	103	99	97	0,019
13	0,038048	332	99	93	0,018
14	0,035978	175	98	95	0,017
15	0,020231	138	95	91	0,029
16	0,010391	141	95	91	0,028
17	0,01025	143	95	92	0,021
18	0,010752	148	95,2	92,2	0,020
19	0,010393	153	94,5	92	0,016
20	0,013888	48	96	95	0,021
21	0,006185	131	102	99	0,023
22	0,006177	113	102	99	0,027
23	0,015191	212	99	96	0,014
24	0,003661	48	96	94,5	0,031
25	0,008871	137	100,8	98	0,020
26	0,030309	106	98	96	0,019
27	0,0381	208	115	106	0,043

Fonte: Autoria própria (2025)

**b) Uso e ocupação do solo:**

Verificou-se que a área apresenta um solo majoritariamente ocupado por edificações residenciais, com um número reduzido de terrenos ainda não edificados. Essa elevada taxa de impermeabilização da superfície resulta na diminuição da cobertura vegetal, o que compromete a capacidade de infiltração da água pluvial no solo. Como consequência, há um aumento no escoamento superficial, favorecendo a ocorrência de alagamentos e sobrecarregando o sistema de drenagem da região. Também verifica-se algumas microbacias com uso predominantemente rural, porém informações prestadas pela Prefeitura Municipal de Alegrete indicam a implantação em breve de um loteamento residencial.

O uso e ocupação do solo da bacia de contribuição possuem fundamental importância, tendo em vista que o escoamento superficial, denominado fator 'C', exercem uma influência direta nas condições de escoamento superficial na bacia.

Na área de estudo foram identificadas 4 tipologias de cobertura do solo: grama (solo pesado), via não pavimentada, via com pavimentação asfáltica e via pavimentada com paralelepípedos. Com base nessa classificação, foi definido o uso do solo em cada uma das 28 microbacias. Para aquelas que apresentam múltiplos tipos de cobertura, adotou-se a média ponderada dos coeficientes de escoamento superficial (C). A Tabela 6 apresenta os valores de referência do coeficiente de escoamento superficial (C) atribuídos a cada tipologia, conforme estabelecido no Tabela 4.

Tabela 6 - Valores de referência do coeficiente de escoamento superficial - C.

Superfície	Coeficiente de escoamento - C
Gramma (solo pesado - 2 a 7%)	0,2
Ruas não pavimentadas	0,4
Ruas com paralelepípedo	0,7
Ruas com asfalto	0,7

Fonte: Autoria própria (2025)

Com base nos valores de coeficiente de escoamento (C) atribuídos a cada tipo de cobertura do solo, foi calculada a média ponderada dos coeficientes considerando as respectivas áreas parciais de cada superfície. A Tabela 7 a seguir apresenta 'C' de cada microbacia.

Tabela 7 – Valores de referência do coeficiente de escoamento superficial - C

Microbacia	Área (%)			Coeficiente de escoamento superficial - C	
	G <sup>1</sup>	VNP <sup>1</sup>	VPP <sup>1</sup>		VPA <sup>1</sup>
0	100	0	0	0	0,2
1	80	0	0	20	0,3
27	80	0	0	0	0,3
2	100	0	0	0	0,2
3	100	0	0	0	0,2
4	0	0	100	0	0,7
5	0	10	90	0	0,67
10	0	75	25	0	0,475
25	0	75	25	0	0,475
6	0	10	90	0	0,67
9	0	0	100	0	0,7
14	0	0	50	50	0,7
20	0	0	0	100	0,7
24	0	0	0	100	0,7
7	0	40	40	20	0,58
8	0	20	80	0	0,64
11	80	10	10	0	0,27
12	80	10	10	0	0,27
23	0	10	80	10	0,67
26	70	10	0	20	0,32
13	0	20	80	0	0,64
15	0	10	80	10	0,67
16	0	25	50	25	0,625
17	0	25	50	25	0,625
18	0	25	50	25	0,625
19	0	40	0	60	0,58
21	0	0	0	100	0,7
22	0	0	0	100	0,7

<sup>1</sup>G: grama; VNP: via não pavimentada; VPP: via pavimentada com paralelepípedo; VPA: via com pavimentação asfáltica

Fonte: Autoria própria (2025)

**c) Infraestrutura de drenagem:** a área de estudo possui diversos trechos com tubulação e dispositivos de condução e captação de água da chuva, como bocas de lobo e sarjetas. Entretanto, a Prefeitura Municipal de Alegrete, gestora do sistema de drenagem pluvial, não possui um mapa contendo a localização e respectivas

dimensões da infraestrutura de drenagem. Acrescenta-se a esta situação, a precariedade do sistema existente, seja pelo acúmulo de resíduos sólidos, presença de vegetação, sedimentos, disposição e dimensões inadequadas, má qualidade de execução, descontinuidade na tubulação, dentre outros fatores.

Na ocasião da inspeção *in loco* a área de estudo, foram feitas as seguintes constatações na infraestrutura de drenagem:

**c.1) Tubulação:** verificou-se a presença de vegetação no interior, acúmulo de resíduos sólidos e sedimentos, erosão nas bordas inferiores e, descontinuidade, ou seja, existem trechos de tubulações que não estão conectadas a outras. Esta informação foi comprovada por técnicos da Prefeitura Municipal de Alegrete, na ocasião em que utilizou um equipamento para desobstruir a tubulação da Rua Senador Daniel Krieger que, ao inserir hidrojato em determinadas bocas de lobo, verificou que o escoamento era descontinuado;

**c.2) Bocas de lobo:** observou-se que a maioria das tampas está danificada, com presença de vegetação, depósito de sedimentos, acúmulo de resíduos sólidos e inclinação inadequada para o escoamento da água para o seu interior, o que reduz a capacidade de engolimento dos dispositivos de drenagem. Além disso, verificou-se que há inúmeras bocas de lobo implantadas em locais inadequados, sem a depressão suficiente para permitir que a água escoe para o interior da boca de lobo e depois para a tubulação. Esses problemas indicam a ausência de manutenção e limpeza periódica nas bocas de lobo, má qualidade na execução dos dispositivos, além de refletirem questões relacionadas à educação ambiental da população quanto ao descarte inadequado de resíduos sólidos;

**c.3) Sarjetas:** observou-se que as dimensões são incompatíveis com padrões para este dispositivo (altura, largura e declividade), além do acúmulo de vegetação e sedimentos, reduzindo assim a capacidade de escoamento superficial pela respectiva calha. Além disso, em algumas residências, há acúmulo de materiais de construção na sarjeta, que obstruem a passagem da água, além de levar para o interior da tubulação. Outro fator refere-se à ausência em grande parte das vias de abaulamento, o que contribui para a ineficiência do escoamento da água para a

sarjeta, facilitando o acúmulo sobre a pista. As Figuras 26, 27 e 28 a seguir, ilustram a situação de alguns dispositivos de drenagem da área de estudo.

Figura 26 - (a, b, c, d) – Dispositivo de drenagem ‘boca-de-lobo’ da bacia de contribuição



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 27 - (a, b) - Dispositivo de drenagem 'galeria' da bacia de contribuição



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 28 - Dispositivo de drenagem 'sarjeta' da bacia de contribuição



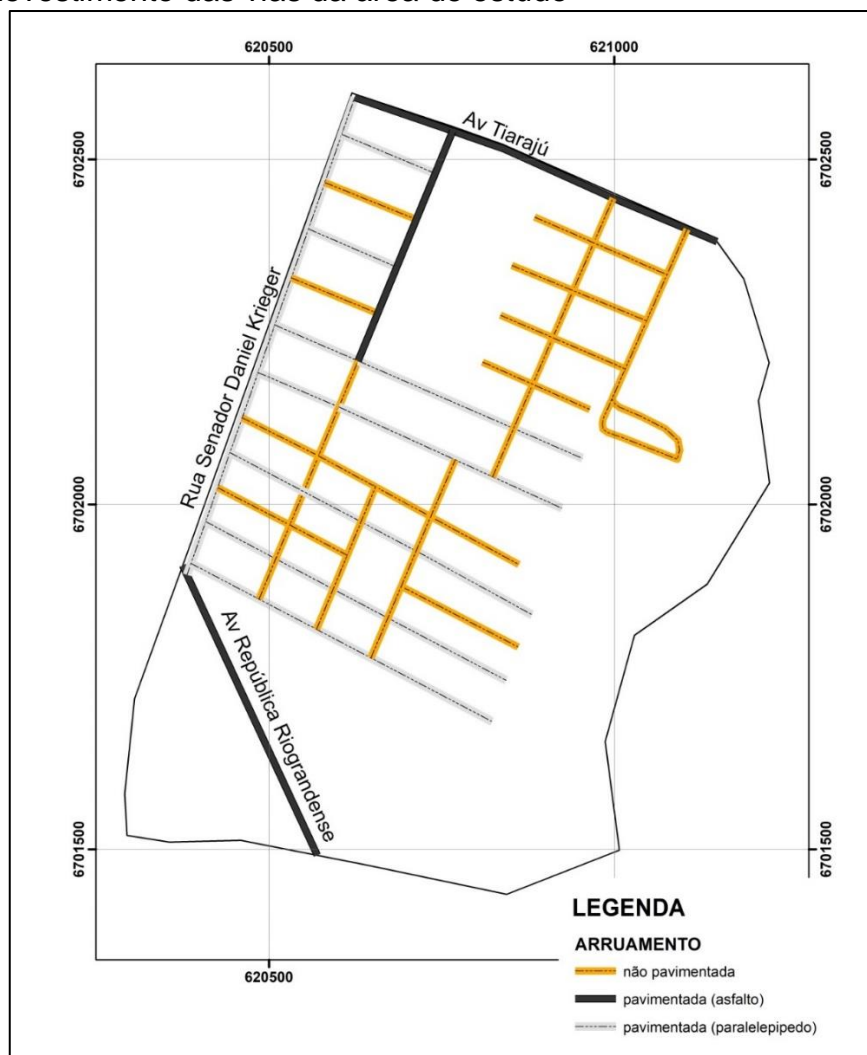
Fonte: Autoria própria (2025)

#### **d) Revestimento das vias:**

A área crítica de alagamento situada na Rua Senador Daniel Krieger é majoritariamente cercada por vias pavimentadas com paralelepípedos. Nas imediações, também se identificam algumas Ruas não pavimentadas e um pequeno trecho com revestimento asfáltico. A predominância de superfícies impermeáveis resulta em elevada impermeabilização do solo natural, ocasionando alterações

significativas no balanço hidrológico local. Isso provoca um aumento do escoamento superficial e uma redução na recarga dos aquíferos subterrâneos. Apesar da presença de trechos com solo exposto, a capacidade de infiltração da área como um todo é insuficiente para absorver o volume de água gerado durante chuvas intensas. A Figura 29 apresenta os diferentes tipos de pavimentação da área de estudo.

Figura 29 - Revestimento das vias da área de estudo



Fonte: Autoria própria (2025)

Embora a pavimentação predominante na Rua Senador Daniel Krieger utilize paralelepípedos assentados com solo nas juntas, o que confere uma permeabilidade parcial, essa condição não é suficiente para evitar o acúmulo de água em eventos de precipitação intensa. A infiltração proporcionada por esse tipo de revestimento é limitada, sobretudo devido à compactação da base e à saturação rápida do solo. Além disso, a presença de outras vias nas proximidades com revestimento asfáltico

ou sem qualquer pavimentação e com solo compactado contribui para a intensificação do escoamento superficial. Assim, mesmo com a existência de pavimentos com alguma capacidade de infiltração, a impermeabilização relativa do conjunto urbano, somada à deficiência no sistema de drenagem pluvial, agrava os episódios de alagamento na área estudada.

**f) Identificação de áreas de alagamentos:**

A precariedade do sistema de drenagem da área de estudo eleva o risco de alagamentos pontuais e, em situações de precipitações mais intensas, a probabilidade de inundações na área afetada. Por questões óbvias, os trechos em áreas mais baixas e com acúmulo de fluxo, são os mais afetados, como no presente caso, na Rua Senador Daniel Krieger, nas proximidades do entroncamento com a Avenida Tiarajú, considerado o ponto mais vulnerável. Alguns trechos desta via, como no lado esquerdo (sentido do fluxo), existe apenas 2 bocas de lobo e as sarjetas possuem menos de 10 cm de altura no meio-fio. Essa condição geométrica intensifica a suscetibilidade a alagamentos, especialmente diante da ausência de infraestrutura de drenagem pluvial adequada. A Figura 30 registrada a partir da esquina entre a Rua Senador Daniel Krieger e a Avenida República Riograndense mostra a situação exposta.

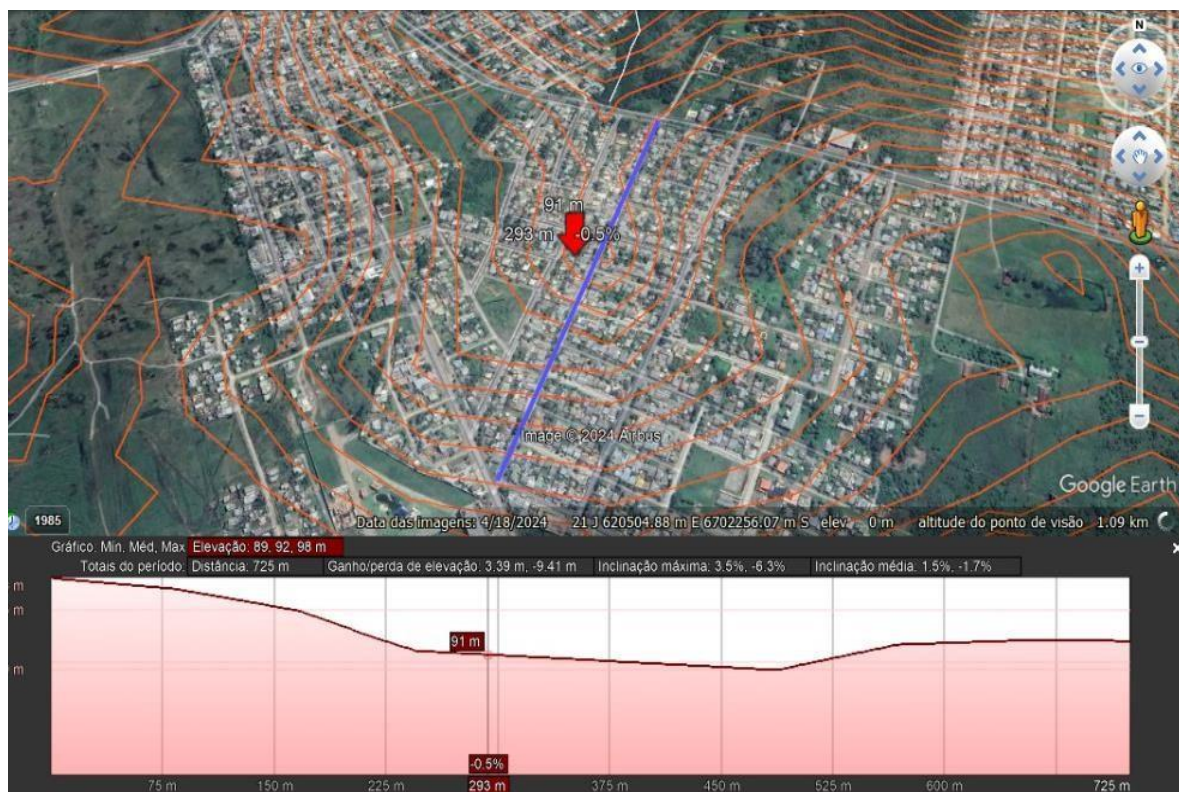
Nessa perspectiva, observa-se que ambas as extremidades da Rua Senador Daniel Krieger apresentam cotas altimétricas superiores em relação ao trecho central da via. Essa configuração topográfica favorece a concentração de água pluvial na região central durante eventos de precipitação intensa, uma vez que o escoamento superficial proveniente das laterais converge para o ponto mais baixo, onde há tendência ao acúmulo de água. Esse acúmulo pode resultar na formação de poças ou, em casos mais severos, em episódios de alagamento, sobretudo quando o sistema de drenagem é ineficiente ou encontra-se obstruído. A Figura 31 apresenta o perfil topográfico da área.

Figura 30 - Perspectiva direcional a partir da Interseção com a Avenida República Riograndense



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 31 - Perfil topográfico da rua Senador Daniel Krieger



Fonte: Autoria própria

Também foi constatado a existência de diversas moradias na rua Senador Daniel Krieger com soleira abaixo do nível da Rua, as quais sofrem com constantes alagamentos. A Figura 32 (a, b) ilustram as recorrentes situações de alagamentos na microbacia urbana em estudo, localizada na rua Senador Daniel Krieger, no município de Alegrete – RS. É possível observar um expressivo volume de água acumulada sobre a via pública, bem como o avanço da lâmina d'água para o interior de algumas residências, ocasionando transtornos significativos à população local. Esse ponto crítico de alagamento está inserido na microbacia 18, que, em razão de sua cota altimétrica mais baixa em relação às áreas vizinhas, apresenta uma das menores elevações da região, favorecendo, portanto, o acúmulo superficial de água durante eventos de precipitação.

Figura 32 (a, b) – Registro de alagamento na rua Senador Daniel Krieger

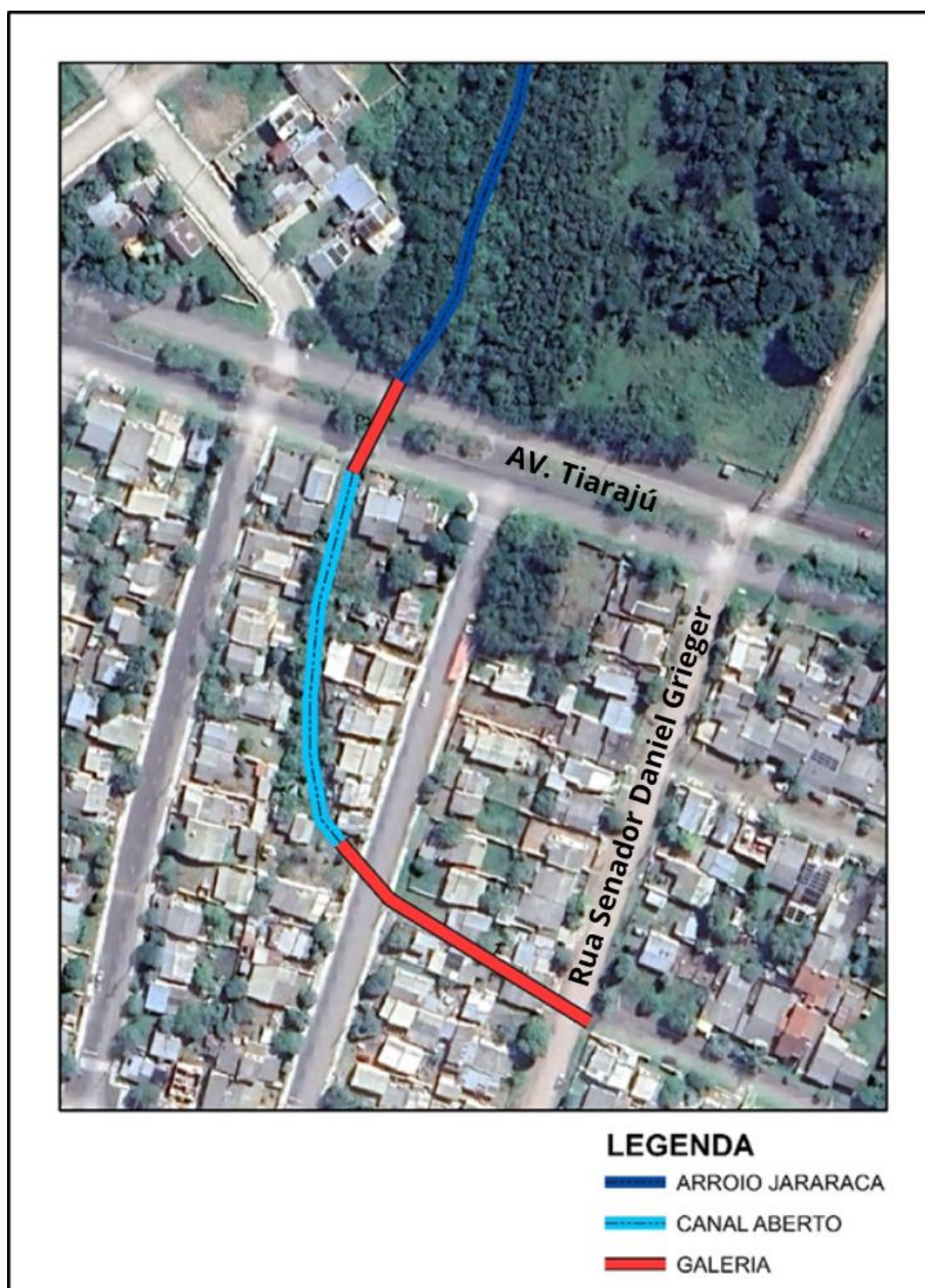


Fonte: Prefeitura Municipal de Alegrete (2024).

A bacia de contribuição drena 72,33 hectares, possui como exutório uma galeria de águas pluviais, composta por 2 tubulações com diâmetro 1,00m cada. Esta galeria atravessa o quarteirão entre as Ruas Senador Daniel Krieger e C, deságua em um *canal aberto*, que atravessa a avenida Tiarajú em outra galeria, lançando as águas no arroio Jararaca. Destaca-se que no *canal aberto* também

deságua a bacia de contribuição do bairro Segabinazi, acumulando o fluxo com a bacia da área de estudo, onde observa-se a ocorrência de extravasamento com frequência, conforme relatado por moradores. A Figura 33 ilustra os trechos de galeria, canal aberto e do deságue no arroio Jararaca.

Figura 33 - Trechos da galeria pluvial, canal aberto e deságue no arroio Jararaca



Fonte: Autoria própria (2025)

**a) Vazão de projeto:**

A Tabela 8 a seguir apresenta o tempo de concentração e respectiva vazão de projeto de cada microbacia da área de estudo.

Tabela 8 - Tempo de concentração e vazão de projeto das microbacias

Microbacia	Tempo de concentração (min)	Vazão de projeto (m <sup>3</sup> /s)
0	10,08	0,46
1	13,92	0,92
2	12,85	0,44
3	14,81	0,62
4	8,72	1,22
5	5,23	0,21
6	5,23	0,91
7	16,07	0,71
8	10,2	0,94
9	9,52	0,51
10	4,68	0,16
11	7,29	0,26
12	6,82	0,14
13	5,28	0,37
14	7,07	0,7
15	2,1	0,69
16	5,19	0,21
17	4,95	0,22
18	8,72	0,42
19	2,42	0,15
20	6,11	0,53
21	5,89	0,33
22	4,67	1,23
23	6,12	0,36
24	5,61	0,6
25	5,17	0,67
26	7,13	0,17
27	6,16	0,39

Fonte: Autoria própria (2025)

Após a definição da vazão de projeto, foram realizados os cálculos referentes à sarjeta. Com base nessa vazão, determinou-se a altura da lâmina d'água (h), cujo

valor obtido foi comparado com as dimensões das sarjetas existentes na área de estudo.

Foi utilizada a equação 11, apresentada por Haan, Barfield e Hayes (1994), para determinar a altura da lâmina de água, considerando que a sarjeta em estudo possui seção transversal triangular. Essa equação, derivada da fórmula de Manning, permite calcular a profundidade do escoamento superficial com base na declividade longitudinal da sarjeta, no coeficiente de rugosidade de Manning, na inclinação lateral da sarjeta e na vazão.

$$h = \left( \frac{Q}{0,375 \cdot \sqrt{I} \cdot \frac{Z}{n}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (11)$$

Onde:

Q é a vazão em m<sup>3</sup>/s;

I é a declividade longitudinal da sarjeta;

Z é a inclinação lateral da sarjeta;

n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

Foi adotado o coeficiente de rugosidade de Manning igual a 0,013, por se tratar de canais e sarjetas de concreto e Z é igual a 25%, por se tratar de um local residencial. Os valores obtidos para altura de lâmina de água estão exemplificados na Tabela 9.

Tabela 9 – Microbacias e respectivas alturas da lâmina de água

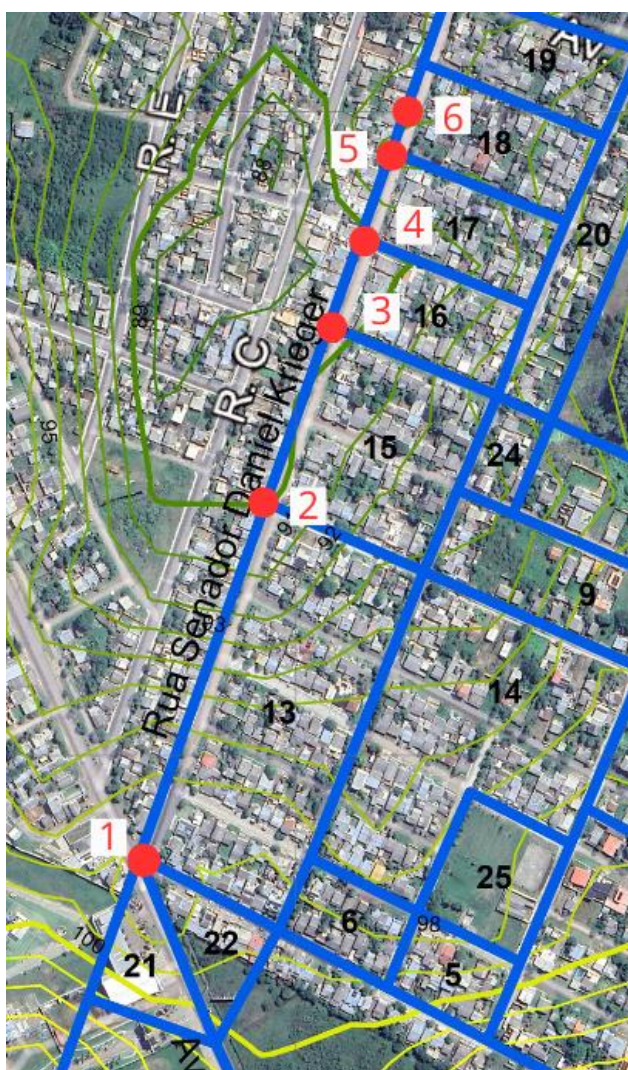
Microbacia	Altura da lâmina de água (cm)
0	0,840
1	1,055
27	0,659
2	0,778
3	1,054
4	1,097
5	0,592
10	0,538
25	1,008
6	1,214
9	0,894
14	0,916
20	0,895
24	0,896
7	0,968
8	1,087
11	0,610
12	0,482
23	0,727
26	0,550
13	0,770
15	0,934
16	0,591
17	0,579
18	0,832
19	0,490
21	0,707
22	1,179

Os valores obtidos para a altura da lâmina de água (h) variam aproximadamente entre 0,5 metros e 1,21 metros. Entretanto, os valores de h das sarjetas na área de estudo são inferiores a esses valores necessários, uma vez que as alturas calculadas são inviáveis para aplicação prática em sarjetas. Sendo assim, o escoamento da água pluvial deve ser realizado por meio de tubulações.

A partir da vazão de projeto no exutório, verificou-se o diâmetro necessário para atender a essa vazão. A verificação foi realizada somente na rua Senador Daniel Krieger, pois é o local mais crítico.

Considerando a necessidade de tubulações na Rua Senador Daniel Krieger, o local foi dividido em 8 trechos distintos (Figura 34), com o objetivo de facilitar o dimensionamento hidráulico. Para cada trecho, a área de contribuição das bacias foi distribuída de forma criteriosa, levando em conta os limites naturais do terreno e o comportamento do escoamento superficial. Essa segmentação permitiu o cálculo da vazão acumulada em cada trecho, considerando a soma das contribuições hídricas provenientes das áreas drenadas a montante.

Figura 34 - Segmentação dos trechos na rua Senador Daniel Krieger



Fonte: Autoria própria (2025)

Após a definição dos trechos, foram estabelecidas as respectivas áreas de contribuição para cada segmento. Em seguida, procedeu-se ao cálculo da vazão de projeto, segmento a segmento e de forma acumulada, sendo utilizado a Equação 1. Os resultados encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Microbacias contribuintes e respectivas vazões

Trecho		Microbacias contribuintes	Vazão de projeto (m³/s)	Vazão de projeto acumulada (m³/s)
Início	1	0, 1, 2, 4, 21, 22, 27	3,33	3,33
1	2	2, 4, 5, 6, 10, 13, 14, 25	4,68	8,01
2	3	9, 15, 23, 24	2,16	10,17
3	4	16	0,21	10,38
4	5	17	0,22	10,6
5	6	3, 7, 8, 11, 12, 18, 19, 20, 26	3,94	14,54

Fonte: Autoria própria (2025)

Diante da necessidade de implantação de tubulação, foram determinados os parâmetros necessários para que o sistema atendesse à vazão de projeto de forma eficiente. Inicialmente, adotou-se o diâmetro de 400 mm. A partir desse diâmetro, foi calculada a área molhada da tubulação, utilizando a fórmula da área da seção transversal de uma circunferência, conforme a equação 5, tal como:

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

$$A = \pi \cdot \frac{0,4^2}{4}$$

$$A = 0,13 \text{ m}^2$$

O perímetro molhado foi calculado a partir da equação 6, onde temos que:

$$P = \pi \cdot D$$

$$P = \pi \cdot 0,4$$

$$P = 1,26 \text{ m}$$

O raio hidráulico foi calculado pela equação 7, onde temos que:

$$R = \frac{A}{P}$$

$$R = \frac{0,13}{1,26}$$

$$R = 0,1 \text{ m}$$

A partir da equação 8, obteve o valor da vazão da tubulação para todos os trechos, abaixo esta exemplificado o trecho A da microbacia 0.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot A$$

$$Q = \frac{1}{0,013} \cdot (0,1)^{\frac{2}{3}} \cdot (0,02)^{\frac{1}{2}} \cdot 0,13$$

$$Q = 0,29 \text{ m}^3/\text{s}$$

Contudo, durante o processo de cálculo, constatou-se que o diâmetro inicial de 400 mm é insuficiente para atender à vazão demandada pela área estudada. Dessa forma, procedeu-se ao dimensionamento até a obtenção de um diâmetro significativamente maior, adequado para garantir a capacidade hidráulica necessária e o escoamento eficiente, conforme as condições de projeto. Os diâmetros obtidos e as vazões das tubulações estão representados na Tabela 11.

Tabela 9 - Diâmetros e vazões da tubulação

Trecho		DN (mm)	DN (m)	Vazão da tubulação (m <sup>3</sup> /s)	Vazão de projeto acumulada (m <sup>3</sup> /s)
início	1	1000	1	3,628	3,33
1	2	1500	1,5	9,036	8,01
2	3	1500	1,5	12,035	10,17
3	4	1500	1,5	11,906	10,38
4	5	1600	1,6	12,161	10,60
5	6	1800	1,8	16,366	14,54

Fonte: Autoria própria.

Os cálculos demonstraram que o diâmetro necessário para que a tubulação suporte integralmente a vazão de projeto é de 1,80m. Embora essa dimensão atenda à demanda hidráulica, revela-se inviável, em razão das restrições de execução, do elevado custo dos materiais, da baixa disponibilidade comercial e das interferências na infraestrutura urbana existente. Assim, torna-se imprescindível a adoção de medidas complementares, como a instalação de dispositivos de controle de vazão.

**b) Proposição de soluções:**

Com base nas vazões de projeto, foi analisada a situação das microbacias da área de estudo para identificar quais técnicas do modelo de *Cidade Esponja* seriam viáveis de serem aplicadas localmente.

Como intervenção inicial estrutural, propôs-se a implantação de biovaletas, em três locais distintos, para o controle do escoamento superficial. Essa solução tem como objetivo atenuar a vazão de pico no exutório da bacia de contribuição (Rua Senador Daniel Krieger), reduzindo o volume de água que escoava para a área crítica em análise.

A diminuição da vazão ao longo da via possibilita a adoção de tubulações com diâmetros menores, o que pode representar ganhos em termos de economia e eficiência do sistema de drenagem.

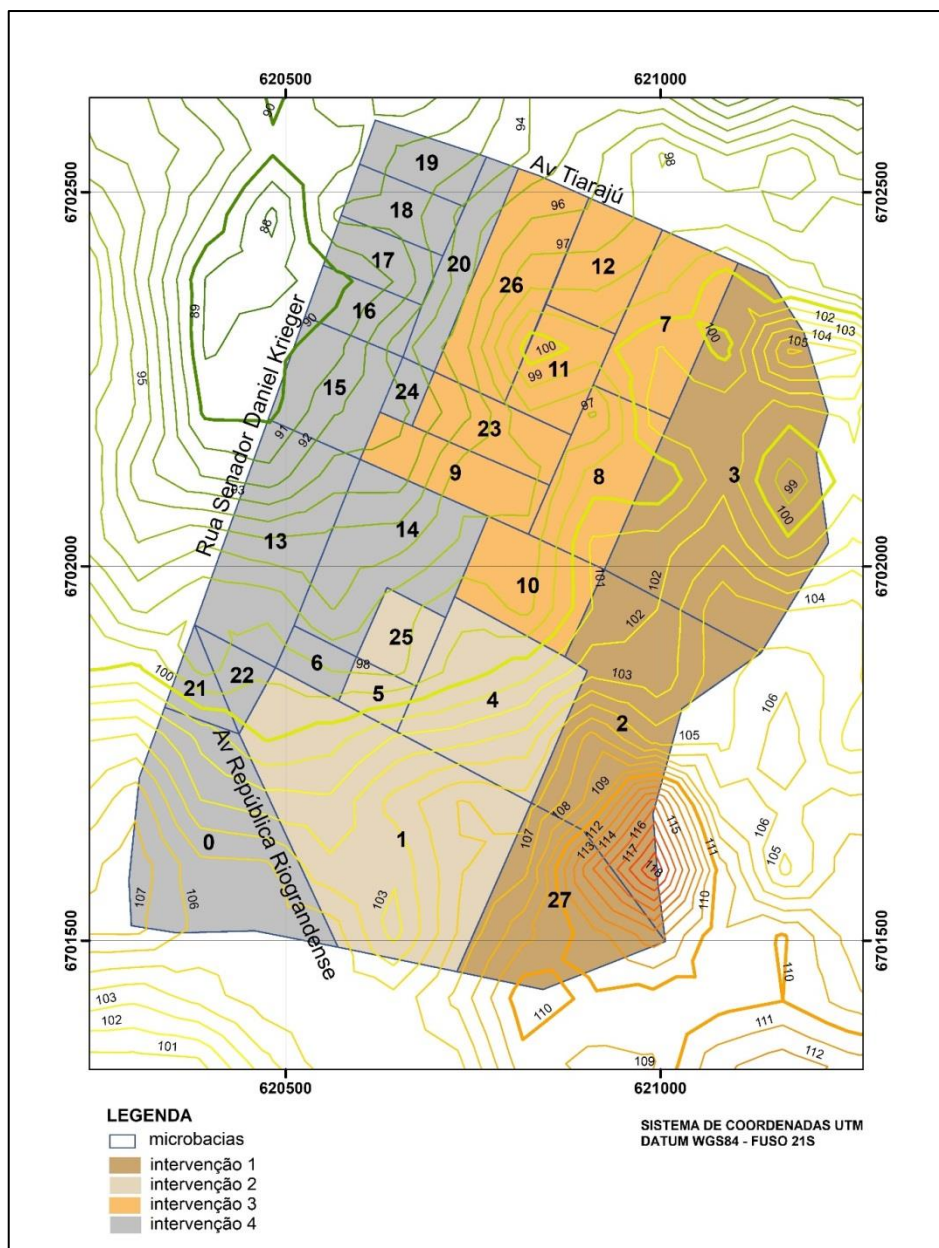
Além disso, as biovaletas contribuem para o controle do escoamento pluvial ao reduzir a velocidade da água da chuva e o volume lançado diretamente na rede, auxiliando na prevenção de alagamentos.

A utilização de técnicas sustentáveis que mantêm a água pluvial exposta ao ambiente, ou seja, abertas, como jardins de chuva, bacias de retenção e infiltração, foi descartada para parte da área de estudo. Essa decisão se deve à identificação de redes de esgoto clandestinas conectadas indevidamente à drenagem pluvial ao longo de alguns trechos. Como resultado, há presença frequente de esgoto misturado à água da chuva, o que gera problemas de mau cheiro e riscos sanitários.

A exposição dessa água contaminada comprometeria não apenas a eficiência das soluções propostas, mas também a saúde pública e o conforto da população local. Dessa forma, optou-se por soluções fechadas ou sem contato direto com a superfície nos trechos afetados, priorizando a segurança sanitária e o controle adequado do escoamento.

As áreas (microbacias) que não receberão nenhuma das soluções propostas dependerão exclusivamente do sistema de tubulação, que será dimensionado para atender à vazão de projeto. A Figura 35 ilustra as soluções propostas para a área de estudo.

Figura 35 - Microbacias e respectivas soluções propostas



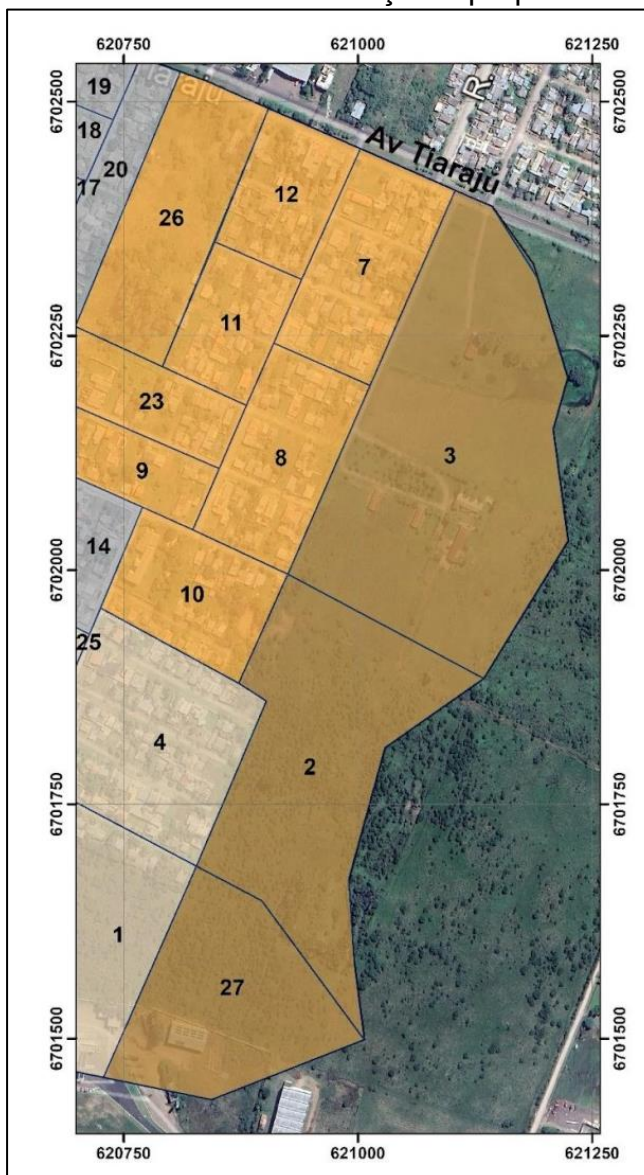
Fonte: Autoria própria (2025)

#### 4.2 Intervenção 1:

A intervenção 1 propõe a implantação de biovaletas na área verde nas microbacias 2 e 3, uma área particular, onde há a previsão da construção de um condomínio. As biovaletas serão alimentadas pelas contribuições das microbacias 2, 3 e 27. A vazão de projeto destinada às biovaletas é de 1,45 m<sup>3</sup>/s, correspondente à soma das vazões das áreas de contribuição, que representa aproximadamente 10%

da vazão total da área de estudo. A Figura 36 representa as áreas de contribuição da intervenção 1 e a Figura 37, a localização da biovaleta proposta para ser implantada nas microbacias 2 e 3.

Figura 36 - Localização da microbacias - Intervenção 1 proposta



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 37 – Posicionamento da biovaleta, intervenção 1



Fonte: Autoria própria (2025)

Com base nos valores de cota inicial e final, e no comprimento do trecho, foi determinada a declividade da biovaleta. Os dados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 102 - Dados para dimensionamento da biovaleta

Cota inicial	105,9	m
Cota final	99,5	m
Comprimento	785	m
Declividade	0,82%	

Fonte: Autoria própria (2025)

Considerando o aspecto construtivo e funcional, as biovaletas adotarão seção transversal trapezoidal, o que contribui para a estabilidade dos taludes e facilita a manutenção da estrutura. A largura de fundo é de 2,00 metros e altura d'água de 1,70 metros, sendo os taludes laterais inclinados na proporção 1:1 (1 metro na vertical para 1 metro na horizontal). A verificação da capacidade hidráulica das biovaletas foi realizada utilizando a fórmula de Manning para canais trapezoidais.

Adotou-se um coeficiente de rugosidade ( $n$ ) igual a 0,035, valor que reflete a presença de vegetação tanto no fundo quanto nas laterais das valas, o que aumenta a resistência ao escoamento e influencia diretamente a capacidade de condução da água. A área molhada e o perímetro molhado da biovaleta foram determinados pelas Equações 10 e 12, respectivamente. A partir desses valores, calculou-se o raio hidráulico, definido como a razão entre a área molhada e o perímetro molhado. Os resultados obtidos para cada trecho estão apresentados na Tabela 13, servindo de base para a análise hidráulica das seções projetadas.

Tabela 11 - Características da biovaleta

Área molhada	6,29	m <sup>2</sup>
Perímetro molhado	6,81	m
Raio hidráulico	0,92	m

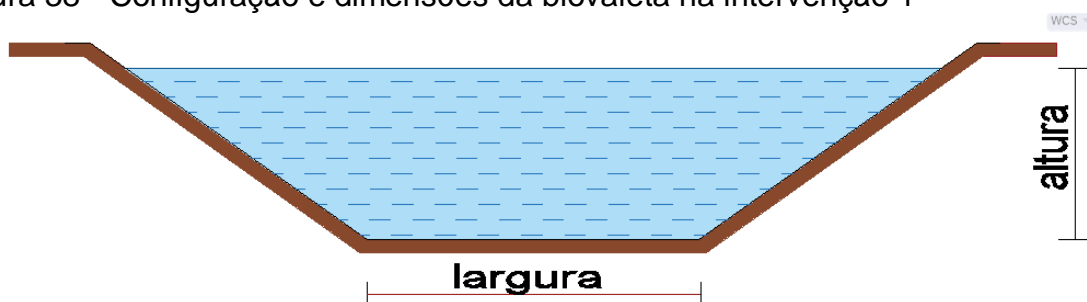
Fonte: Autoria própria (2025)

A vazão da biovaleta foi determinada utilizando as Equações 6 e 7, resultando em 1,54 m<sup>3</sup>/s, valor superior à vazão de projeto de 1,45 m<sup>3</sup>/s.

No local, não há presença de tubulação para o escoamento pluvial, o que inviabiliza a condução subterrânea das águas pluviais. Por essa razão, recomenda-se que a biovaleta seja construída a céu aberto, permitindo o escoamento superficial

das águas. Além de atender à necessidade hidráulica, essa solução contribui para a integração paisagística e para o aumento da capacidade de infiltração, reduzindo o risco de alagamentos e promovendo maior sustentabilidade no manejo das águas pluviais. A Figura 38 exemplifica a configuração e as dimensões da biovaleta, facilitando a visualização do seu traçado e das características geométricas projetadas.

Figura 38 - Configuração e dimensões da biovaleta na intervenção 1



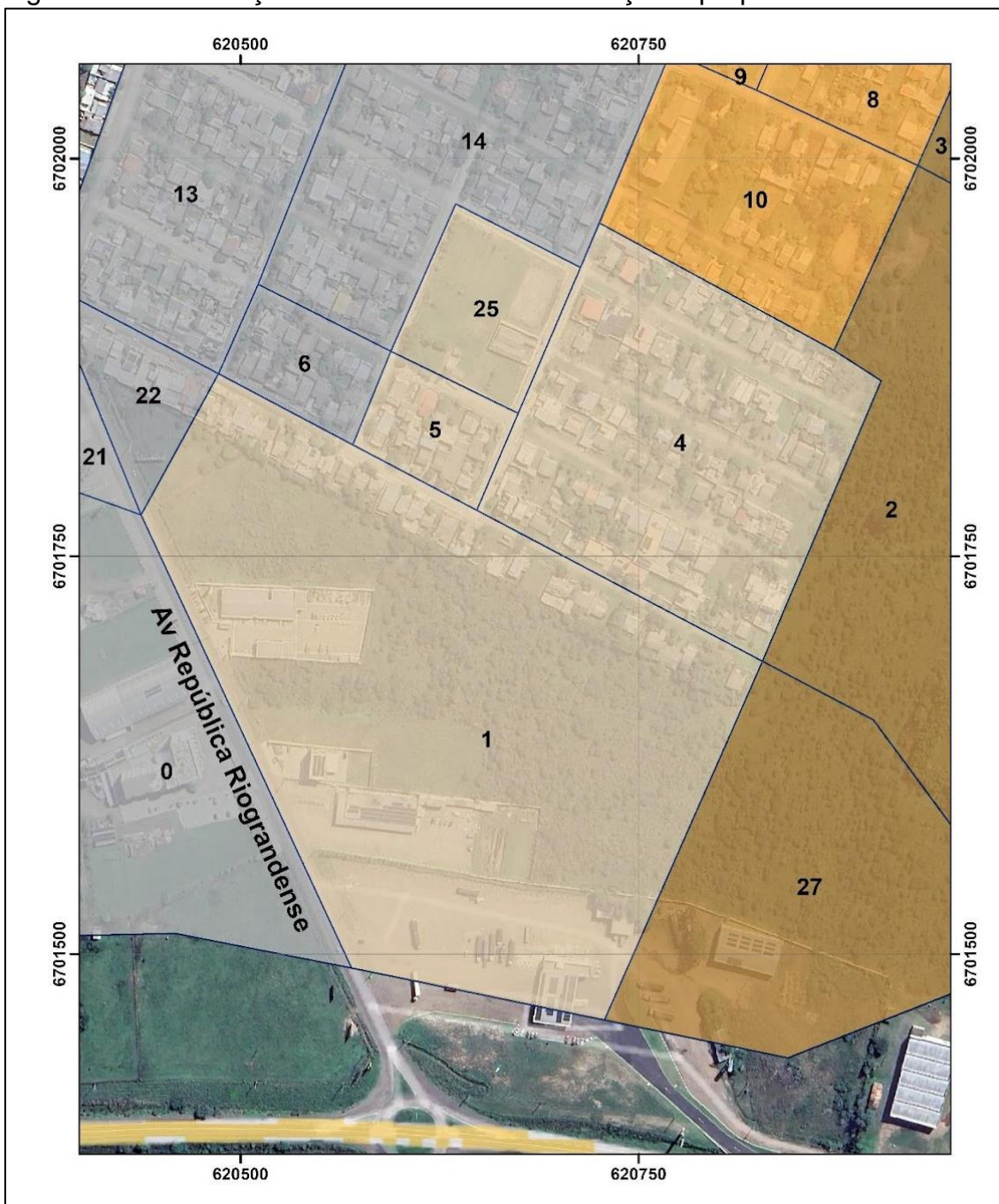
Fonte: Autoria própria (2025)

#### 4.3 Intervenção 2:

A intervenção 2 propõe a implantação de biovaletas no quarteirão da Praça Doutor Gaspar Martins, uma área pública que possui posto de saúde, pista de skate, quadra de esportes e, predominantemente, espaços não edificados.

As biovaletas serão alimentadas pelas contribuições das áreas 1, 4, 5 e 25. A vazão de projeto destinada às biovaletas é de 3,02 m<sup>3</sup>/s, correspondente à soma das vazões das áreas de contribuição, que representa aproximadamente 20,77% da vazão total da área de estudo. A Figura 39 apresenta as áreas de contribuição para a intervenção 2 e a Figura 40, o posicionamento de cada biovaleta na microbacia 25.

Figura 39 - Localização da microbacias - Intervenção 2 proposta



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 40- Intervenção 2 proposta – disposição das biovaletas



Fonte: Autoria própria (2025)

Com base nas cotas de início e fim e nas larguras específicas de cada trecho, foi determinada a inclinação longitudinal das 4 biovaletas, parâmetro essencial para o dimensionamento e o desempenho hidráulico do sistema.

A Tabela 14 apresenta o comprimento e a declividade de cada biovaleta, informações fundamentais para o dimensionamento e o desempenho hidráulico do sistema.

Tabela 14 - Dados para dimensionamento das biovaletas

Biovaleta	Comprimento (m)	Declividade (%)
Trecho 1	77	1,95%
Trecho 2	45	1,78%
Trecho 3	120	1,42%
Trecho 4	95	1,26%

Fonte: Autoria própria (2025)

No trecho 3, o traçado da biovaleta pode assumir conformações curvas/sinuosas, adaptando-se ao relevo natural do terreno. Essa abordagem favorece a integração entre aspectos hidráulicos e paisagísticos, além de contribuir para a diminuição da velocidade do escoamento superficial.

Considerando a seção das biovaletas como trapezoidal e que os trechos 1, 3 e 4 terão altura da lâmina de água de 1,70 metro e largura de fundo de 2,00 metros. Já a biovaleta 2 terá altura de 1,50 metros e largura de fundo de 1,50 metro, devido à menor contribuição de vazão nesse trecho. Em todos os casos, os taludes laterais terão inclinação de 1:1 (1 metro na vertical para 1 metro na horizontal).

A área molhada e o perímetro molhado das biovaletas foram determinados por meio das equações 10 e 12, respectivamente. Com esses valores, foi possível calcular o raio hidráulico, definido como a razão entre a área molhada e o perímetro molhado, equação 8.

Os valores obtidos para cada trecho estão apresentados na Tabela 15, servindo de base para a análise hidráulica das seções propostas.

Tabela 15 - Características das biovaletas

Biovaleta	Declividade (%)	Área molhada (m <sup>2</sup> )	Perímetro molhado (m)	Raio hidráulico (m)
Trecho 1	1,95%	6,29	6,81	0,92
Trecho 2	1,78%	4,5	5,74	0,92
Trecho 3	1,42%	6,29	6,81	0,92
Trecho 4	1,26%	6,29	6,81	0,92

Fonte: Autoria própria (2025)

Considerando o coeficiente de rugosidade ( $n$ ) é igual a 0,035, a vazão de cada biovaleta foi determinada utilizando a equação 8, os resultados estão na Tabela 16.

Tabela 16 - Dimensões e vazão de cada biovaleta

Biovaleta	Comprimento (m)	Largura de fundo (m)	altura de água (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Trecho 1	77	2	1,7	2,38
Trecho 2	45	1,5	1,5	1,46
Trecho 3	120	2	1,7	2,03
Trecho 4	95	2	1,7	1,92
				<b>7,79</b>

Fonte: Autoria própria (2025)

A vazão total calculada para as quatro biovaletas foi de 7,79 m<sup>3</sup>/s, valor que supera a vazão de projeto de 3,02 m<sup>3</sup>/s. No entanto, considerando que essas estruturas serão preenchidas com material granular, torna-se necessário recalcular a vazão efetiva, levando-se em conta a porosidade efetiva do meio, uma vez que apenas o volume de vazios estará disponível para o escoamento da água. Conforme apontado por Miguez, Veról e Rezende (2016), ao utilizar materiais granulares no preenchimento de estruturas de drenagem, como as biovaletas, é imprescindível considerar a porosidade efetiva, visto que apenas essa fração do volume contribui para o armazenamento ou escoamento do fluxo superficial. A Tabela 17 indica os valores de porosidade efetiva de acordo com os tipos de materiais.

Tabela 17 – Valores de porosidade efetiva para materias típicos

<b>Material</b>	<b>Porosidade efetiva [%]</b>
Rocha Dinamitada - Brita Grossa	30
Cascalho de Granulometria Uniforme	40
Brita Graduada ( $\leq 1/4$ polegada)	30
Areia	25
Cascalho de Jazida - Seixo Rolado	15 – 25

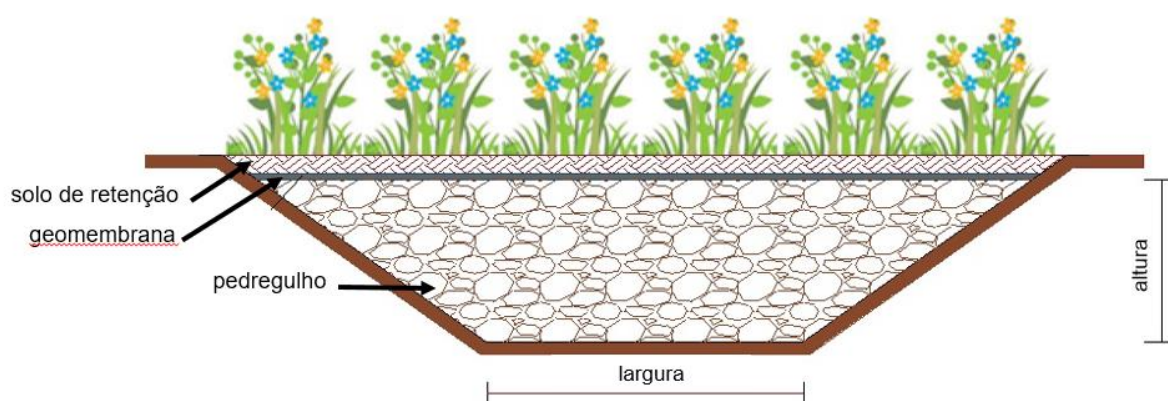
Fonte: Urbonas e Stahre (1993) *apud* Miguez; Veról; Rezende (2016)

Optou-se pelo uso de cascalho de granulometria uniforme, material que apresenta porosidade efetiva de 40%, conforme valores indicados na literatura. Dessa forma, a vazão total das biovaletas, inicialmente estimada em 7,79 m<sup>3</sup>/s, será recalculada com base na capacidade real de armazenamento dos vazios, aplicando-

se o fator de porosidade. O valor ajustado da vazão efetiva resulta em 3,11 m<sup>3</sup>/s, tornando-se compatível com a vazão de projeto, que é de 3,02 m<sup>3</sup>/s.

Considerando que no local em que as biovaletas serão implantadas existe tubulação de drenagem pluvial, as mesmas poderão ser projetadas como cobertas, utilizando placas de concreto, grelhas metálicas ou coberturas com vegetação. Além disso, essa solução proporciona melhor integração urbana e segurança para a circulação de pedestres. Desta forma, propõe-se a adoção de biovaletas com cobertura de vegetação, contribuindo com o paisagismo da área. Sugere-se também a utilização de geomembrana entre as camadas de pedregulho e o solo de retenção, evitando que o solo da camada superficial penetre na camada drenante, ocupando os vazios destinados ao escoamento da água. A Figura 41 ilustra a biovaleta proposta.

Figura 41- Representação esquemática e detalhamento construtivo da biovaleta

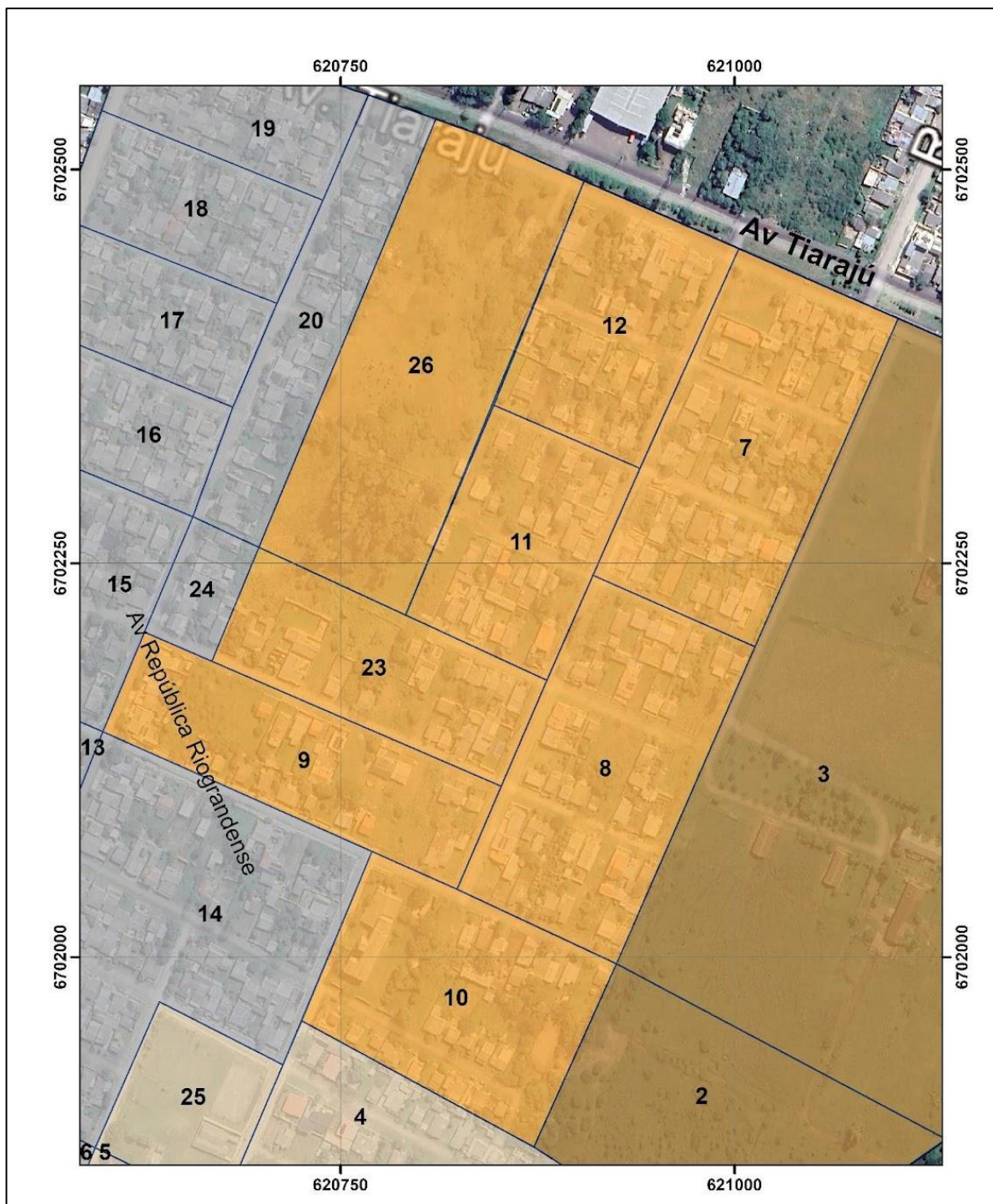


Fonte: Autoria própria (2025)

#### 4.4 Intervenção 3:

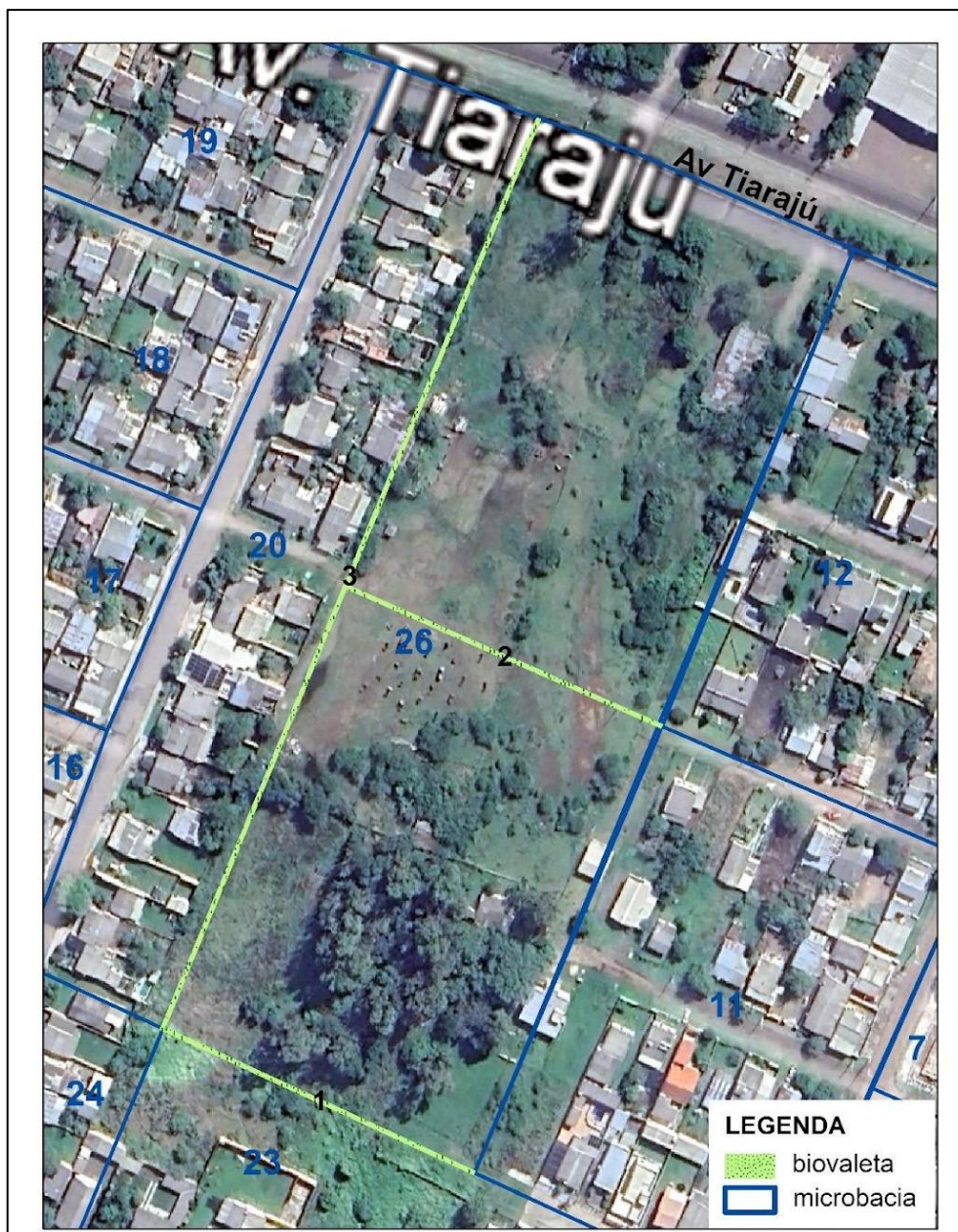
A Intervenção 3 prevê a implantação de 3 biovaletas em uma área particular não edificada, situada na microbacia 26. As biovaletas receberão contribuições das microbacias 7, 8, 9, 10, 11, 12, 23 e 26. A Figura 42 representa as áreas de contribuição da intervenção 3 proposta e, a Figura 43, a localização das 3 biovaletas.

Figura 42- Localização da microbacias - Intervenção 3 proposta



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 43- Intervenção 3 proposta: disposição das biovaletas



Fonte: Autoria própria

A vazão de projeto destinada às biovaletas é de  $3,25 \text{ m}^3/\text{s}$ , valor que corresponde à soma das vazões das áreas contribuintes e representa aproximadamente 22% da vazão total da área de estudo.

Com base nas cotas de início e fim, e nas larguras específicas de cada trecho, foi determinada a inclinação longitudinal das 3 biovaletas, parâmetro essencial para o seu dimensionamento e desempenho hidráulico. A Tabela 18 apresenta o comprimento e a declividade de cada biovaleta, informações

fundamentais para a definição das seções e para a eficiência do sistema de drenagem.

Tabela 18 - Dados para dimensionamento das biovaletas

Biovaleta	Comprimento (m)	Declividade (%)
Trecho 1	102	2,65%
Trecho 2	102	3,43%
Trecho 3	294	0,03%

Fonte: Autoria própria (2025)

Analisando as declividades, observa-se que a inclinação do trecho 3 é insuficiente, o que impacta diretamente na capacidade de vazão. Por isso, é recomendável aumentar a inclinação nesse trecho. Ao elevar a diferença de cota para 3,1 metros — valor médio das diferenças de cota dos trechos 1 e 2 — a declividade passa a ser de 1,05%. Contudo, será necessário verificar a viabilidade da implantação da biovaleta com esta inclinação, tendo em vista a cota máxima no ponto de extravasamento – ligação à tubulação existente na Avenida Tiarajú.

Considerando que a seção das biovaletas será trapezoidal, os trechos 1, 2 e 3 terão largura de fundo de 1,50 metros e altura d'água de 1,50 metros. Os taludes laterais terão inclinação de 1:1 (1 metro na vertical para 1 metro na horizontal).

A área molhada e o perímetro molhado das biovaletas foram determinados por meio das equações 11 e 13, respectivamente. Com esses valores, foi possível calcular o raio hidráulico, definido como a razão entre a área molhada e o perímetro molhado, equação 8. Os valores da área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico das biovaletas foram determinados pelas Equações 11, 13 e 8, respectivamente. As vazões de cada biovaletas estão exemplificados na Tabela 19.

Tabela 19 - Biovaleta e respectiva vazão por trecho

Biovaleta	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Trecho 1	1,78
Trecho 2	2,02
Trecho 3	1,12
	4,92

Fonte: Autoria própria (2025)

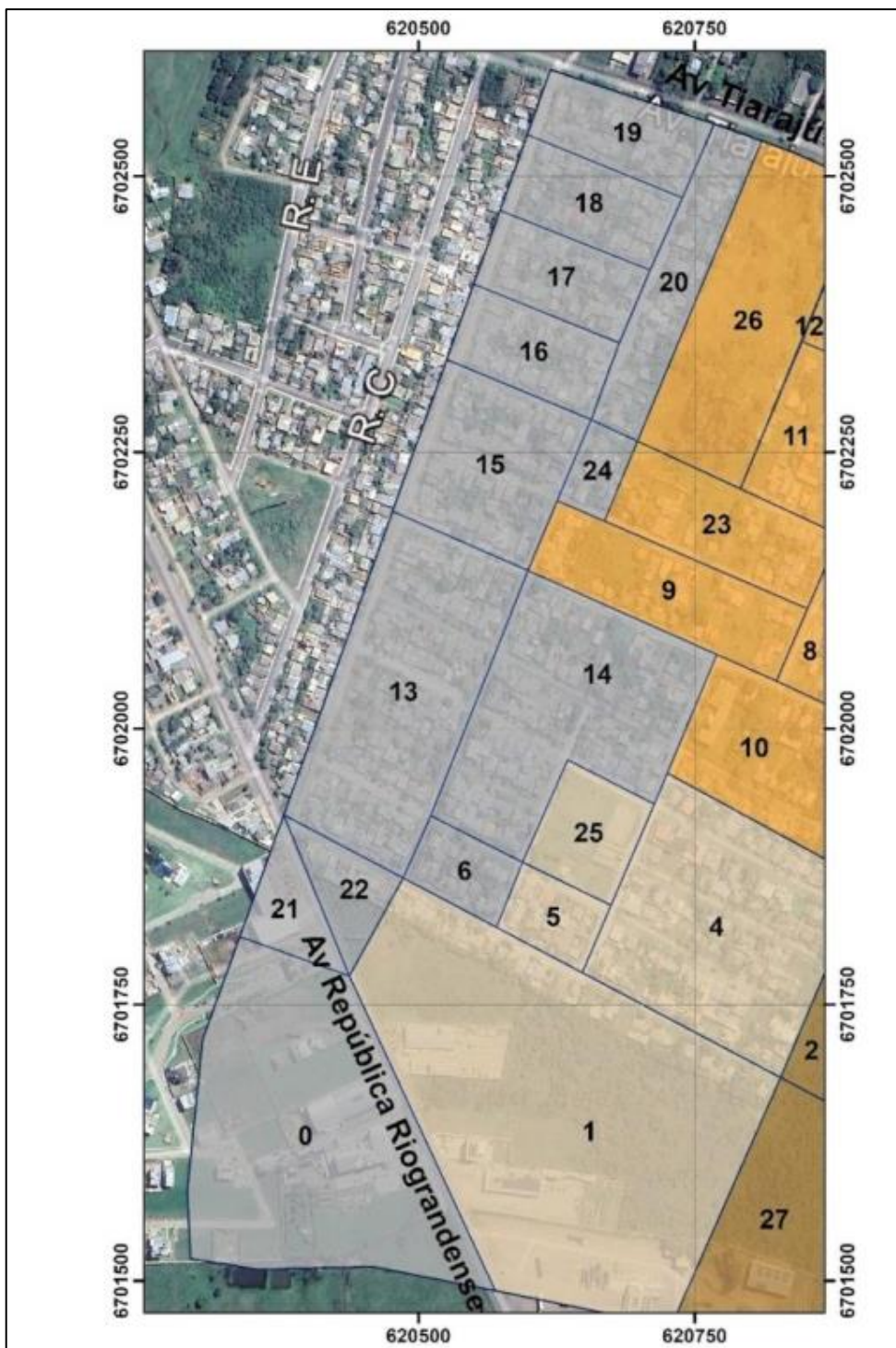
A vazão total calculada para as 3 biovaletas foi de 4,92 m<sup>3</sup>/s, superando a

vazão de projeto de 3,25 m<sup>3</sup>/s. No entorno da área de posicionamento das biovaletas há presença de tubulações; porém, na área 26, local onde serão implantadas, não existe tubulação. Assim, as biovaletas devem ser projetadas como abertas, pois essa solução permite a captação da água proveniente do escoamento superficial, permitindo acumular, escoar, filtrar e direcionar a água da chuva. Propõe-se que as águas advindas das biovaletas sejam direcionadas a tubulação pluvial existente na Avenida Tiarajú e posteriormente seja conduzida ao arroio Jararaca ou previamente a uma bacia de retenção proposta no estudo. A Figura 38 ilustra o modelo da biovaleta proposta para esta situação, semelhante da *intervenção 1*.

#### **4.5 Intervenção 4:**

A intervenção 4 prevê a implantação de tubulações na Rua Senador Daniel Krieger. Essas tubulações receberão contribuições das microbacias 0, 6, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 24. A Figura 44 apresenta as respectivas áreas de contribuição.

Figura 44 - Intervenção 4: microbacias



Fonte: Autoria própria (2025)

A vazão de projeto destinada à tubulação é de  $6,82 \text{ m}^3/\text{s}$ , valor que corresponde à soma das vazões das áreas contribuintes e representa aproximadamente 46% da vazão total da área de estudo.

Para o dimensionamento da tubulação da Rua Senador Daniel Krieger, foi realizado a divisão em 8 trechos. A Tabela 20 indica as microbacias de contribuição para cada trecho e respectiva vazão acumulada.

Tabela 20 - Microbacias e respectiva vazão de projeto, por trecho

Trechos		Microbacias de Contribuições	Vazão de projeto (m <sup>3</sup> /s)
-	T1	0	0,46
T1	T2	0,21,22	2,01
T2	T3	0,21,22,6,13,14	3,99
T3	T4	0,21,22,6,13,14,15	4,69
T4	T5	0,21,22,6,13,14,15,16	4,90
T5	T6	0,21,22,6,13,14,15,16,17	5,12
T6	T7	0,21,22,6,13,14,15,16,17,18,20,24	6,67
T7	T8	0,21,22,6,13,14,15,16,17,18,19,20,24	6,82

Fonte: Autoria própria (2025)

Com base nas vazões calculadas para cada trecho, foram analisados diversos diâmetros de tubulação até se definir aquele que assegurasse a capacidade hidráulica adequada para atender às exigências de cada segmento do sistema. A Rua Senador Daniel Krieger foi segmentada em trechos para o dimensionamento - Figura 45.

Figura 45- Segmentação da rua Senador Daniel Krieger



Fonte: Autoria própria (2025)

A Tabela 21 apresenta os trechos e os respectivos diâmetros de tubulação dimensionados para atender às vazões de projeto.

Tabela 21 - Diâmetros da tubulação

Trecho		Vazão de projeto acumulada (m <sup>3</sup> /s)	DN (m)	Vazão da tubulação (m <sup>3</sup> /s)
-	T1	0,46	0,5	0,57
T1	T2	2,01	0,9	2,31
T2	T3	3,99	1	4,08
T3	T4	4,69	1,1	5,21
T4	T5	4,9	1,2	5,65
T5	T6	5,12	1,2	5,55
T6	T7	6,67	1,4	7
T7	T8	6,82	1,4	13,42

Fonte: Autoria própria (2025)

A Rua Senador Daniel Krieger possui 716,00 metros de comprimento, com cota inicial de 97,7 metros e cota final de 91 metros, resultando em uma declividade aproximada de 0,94%. Para atender à vazão projetada nesta via, seria necessário, no último trecho, o uso de uma tubulação com diâmetro de 1,4 metro. No entanto, devido à baixa declividade do terreno, verifica-se que essa tubulação não possui capacidade suficiente para conduzir a vazão prevista, uma vez que a reduzida inclinação limita significativamente a eficiência hidráulica do sistema.

Como alternativa viável, propõe-se a divisão da vazão entre tubulações implantadas em ambos os lados da via, o que reduziria a demanda hidráulica em cada conduto individual. Essa estratégia permitiria a utilização de tubulações com menor diâmetro, garantindo a eficiência do sistema de drenagem sem necessidade de grandes ampliações das seções.

As microbacias foram sub-divididas entre o lado direito e o lado esquerdo da via, tomando-se como referência o sentido de escoamento da água. As microbacias cujas vazões escoarão pelo lado esquerdo são as microbacias: 0, 21, 22, 6, 13 e 14, enquanto as microbacias: 15, 24, 16, 17, 18, 19 e 20 terão seu escoamento direcionado para o lado direito da via.

A Tabela 22 ilustra os trechos e respectivas vazões do lado esquerdo e o Tabela 23, para o lado direito.

Tabela 22 - Microbacias e respectiva vazão de projeto, por trecho – lado esquerdo

Trechos		Microbacias	Vazão de projeto (m <sup>3</sup> /s)
-	T1	0	0,46
T1	T2	0,21,22	2,01
T2	T3	0,21,22,6,13,14	3,99

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 23 - Microbacias e respectiva vazão de projeto, por trecho – lado esquerdo

Trechos		Microbacias	Vazão de projeto (m <sup>3</sup> /s)
-	T4	15, 24	1,29
T4	T5	15, 24, 16	1,51
T5	T6	15, 24, 16, 17	1,73
T6	T7	15, 24, 16, 17, 18	2,15
T7	T8	15, 24, 16, 17, 18, 19, 20	2,83

Fonte: Autoria própria (2025)

A partir das vazões de cada trecho, foi redimensionada a tubulação da Rua Senador Daniel Krieger. A Tabela 24 ilustra os diâmetros necessários para cada trecho da Rua.

Tabela 24 - Dimensionamento da tubulação da Rua Senador Daniel Krieger

Trechos		Vazão de projeto (m <sup>3</sup> /s)	DN (mm)	Vazão da tubulação (m <sup>3</sup> /s)	
Esquerdo	-	T1	0,46	500	0,57
	T1	T2	2,01	900	2,31
	T2	T3	3,99	1000	4,08
	T3	Fim	3,99	1000	4,04
Direito	-	T4	1,29	800	2,23
	T4	T5	1,51	800	1,92
	T5	T6	1,73	800	1,88
	T6	T7	2,15	900	2,15
	T7	T8	2,83	900	4,13

Fonte: Autoria própria (2025)

Desta forma, a tubulação do lado esquerdo da Rua Senador Daniel Krieger deverá ter diâmetro de 1,00 metro, enquanto que no lado direito de 0,90 metros. O escoamento deverá ser conduzido até a Avenida Tiarajú e, posteriormente o deságue no arroio Jararaca, reduzindo assim a contribuição no canal aberto, que

recebe contribuição de outras microbacias e que extravasa com frequência, alagando moradias do entorno.

Outra alternativa proposta para complementar a redução da vazão de pico, seria a implantação de uma bacia de retenção antes do deságue no arroio Jararaca, visando reduzir a vazão de pico no referido curso d'água. A Figura 46 ilustra a proposição.

Figura 46 - Tubulação e respectiva condução das águas



Fonte: Autoria própria (2025)

#### 4.6 Análise das intervenções propostas

A Tabela 25 apresenta as vazões correspondentes a cada intervenção proposta. Observa-se que as biovaletas - Intervenções 1, 2 e 3, respondem, juntas, por aproximadamente 53,09% da vazão total, o que significa que, com a implantação dessas estruturas sustentáveis, ocorre uma redução significativa —

cerca de 47% — na vazão que precisa ser conduzida exclusivamente por meio da tubulação convencional.

Tabela 25 - Vazão das intervenções

Intervenção	Vazão de projeto (m <sup>3</sup> /s)	% da vazão total
1	1,45	9,97
2	3,02	20,77
3	3,25	22,35
4	6,82	46,91
Total	14,54	100,00

Fonte: Autoria própria (2025)

Com as intervenções propostas, verificou-se uma diminuição de 51,19% na vazão de pico total. Esse resultado demonstra que a adoção de técnicas associadas ao conceito de cidade esponja constitui uma solução eficaz para atenuar o escoamento pluvial, contribuindo de forma significativa para a mitigação das vazões de pico em áreas urbanas suscetíveis a alagamentos.

No presente projeto, definiram-se os pontos de ligação dos extravasores das intervenções, visando garantir a adequada condução das vazões excedentes em caso de chuvas intensas, sem causar sobrecarga no sistema existente. A Figura 47 ilustra as intervenções propostas no estudo.

Intervenção 1 - Extravasor será ligado à tubulação existente na av Tiaraju, seguindo na direção leste - bairro Ulisses Guimarães.

Intervenção 2 - Extravasor será ligado à tubulação pública existente na esquina das Ruas Afonso Macedo Casado e Antônio Repetto Rogoski, seguindo até a av Tiarajú e posteriormente direcionada a uma bacia de retenção, seguindo o escoamento ao arroio Jararaca.

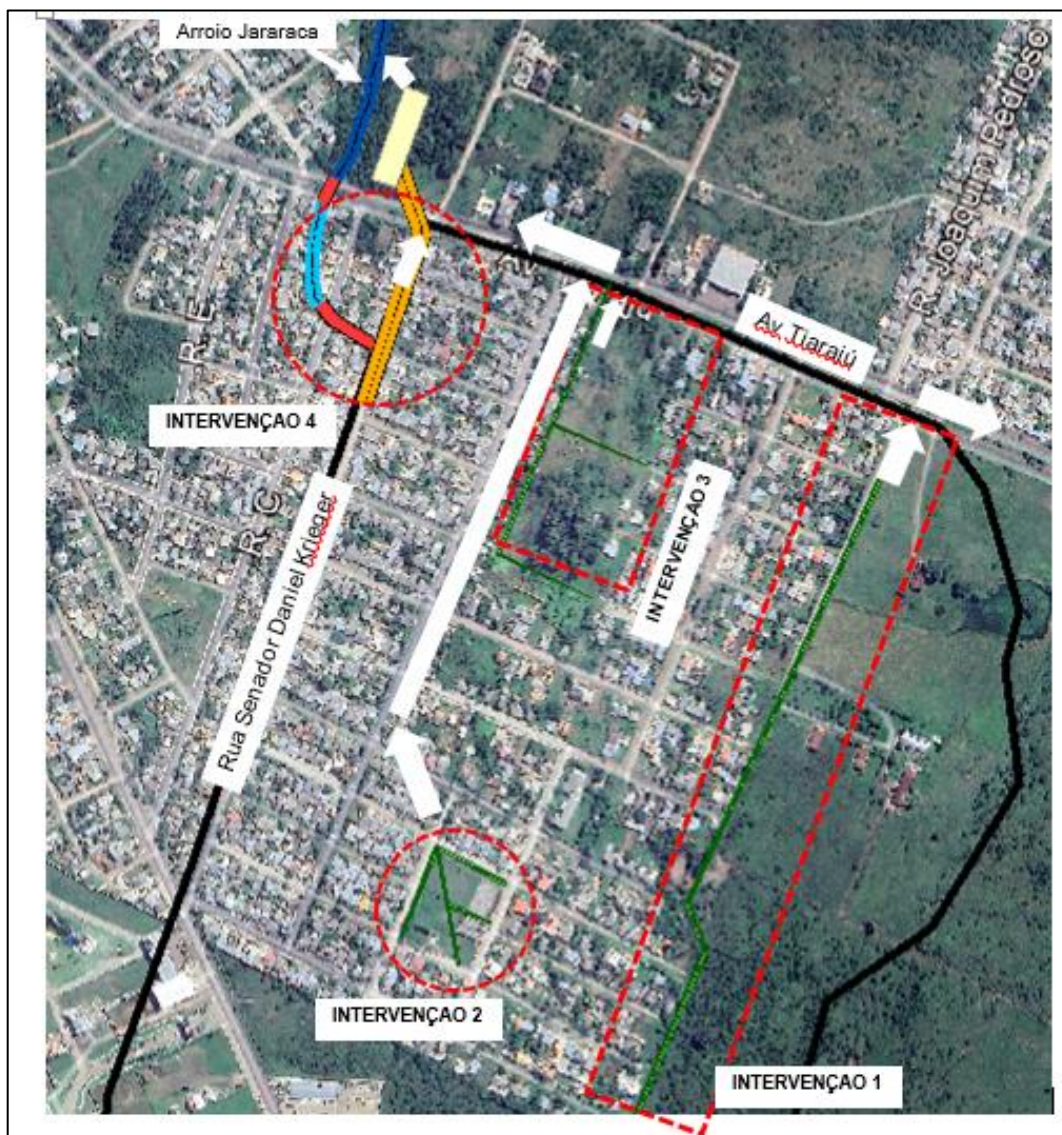
Intervenções 3 e 4 - Extravasor será ligado à tubulação existente na av Tiaraju e posteriormente direcionada a uma bacia de retenção, seguindo o escoamento ao arroio Jararaca.

Considerando que o arroio Jararaca irá acumular o escoamento das águas dos extravasores das intervenções 2, 3 e 4 da área de estudo, além das águas advindas da bacia de contribuição vizinha – bairro Segabinazi, propõe-se a implantação de uma bacia de retenção próxima ao arroio Jararaca, com a função de armazenar temporariamente a água proveniente das intervenções

citadas na área de estudo, liberando gradualmente o escoamento, reduzindo assim a vazão de pico. Este tipo de estrutura – bacia de retenção, ficam secas na maior parte do tempo, podendo ser utilizadas para outros fins como áreas de lazer ou esportes quando não estão em uso para a função principal.

O arranjo do sistema de drenagem proposto retira o escoamento das águas pela galeria pluvial existente próximo ao exutório da área de estudo, que conduz as águas ao canal aberto, ponto de extravasamento frequente, tendo em vista que acumula o fluxo da bacia de contribuição do bairro Segabinazi. A Figura 47 apresenta a área de estudo com as intervenções propostas e o direcionamento das águas pluviais após sua passagem pelas biovaletas.

Figura 47- Intervenções propostas e direcionamento das águas na área de estudo



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante do objetivo de avaliar o escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica urbana na cidade de Alegrete, concluiu-se que a área de estudo apresenta um sistema de drenagem inadequado, pois em diversos trechos a tubulação não possui capacidade para conduzir as vazões geradas, enquanto em outros pontos não há infraestrutura instalada. Essas condições contribuem significativamente para a ocorrência de alagamentos, evidenciando a necessidade de implantação de intervenções estruturais e não estruturais.

Como solução para a gestão das águas pluviais na área de estudo, propõe-se a implantação de biovaletas em 3 pontos estratégicos, visando retardar o tempo de escoamento, permitindo acumular temporariamente e escoar gradativamente a água da chuva, reduzindo a vazão de pico. Para o excedente de escoamento superficial não absorvido pelas biovaletas, propõe-se a execução de um sistema de tubulação dimensionado adequadamente para conduzir as vazões remanescentes de forma segura. Essa combinação de soluções sustentáveis e convencionais busca minimizar a recorrência de alagamentos, adequando a infraestrutura às características topográficas e pluviométricas da microbacia analisada.

Recomenda-se a atualização da caracterização das precipitações, uma vez que os dados utilizados são antigos e podem não refletir com precisão os eventos extremos atuais. A utilização de séries pluviométricas mais recentes e análises estatísticas atualizadas são essenciais para aumentar a confiabilidade do dimensionamento.

Adicionalmente, observou-se que a bacia vizinha à área de estudo- bairro Segabinazi, com aproximadamente 42 hectares de área, contribui significativamente para o volume de escoamento no exutório. Esse acúmulo de contribuições pode causar subdimensionamento das estruturas se não for devidamente considerada. Portanto, para uma avaliação mais precisa da dinâmica hidrológica local, é fundamental que estudos futuros incorporem a análise integrada das bacias adjacentes, incluindo modelagens mais completas de contribuição de vazões acumuladas.

Por fim, cabe destacar que o acúmulo de lixo nas Ruas e nas bocas de lobo interfere diretamente no escoamento pluvial, comprometendo a eficiência do sistema de drenagem. Nesse sentido, é fundamental que a população seja conscientizada quanto à importância do descarte adequado de resíduos, colaborando para a

manutenção das condições de funcionamento das estruturas implantadas e para a prevenção de alagamentos.

No que se refere à Prefeitura Municipal de Alegrete, é necessária a realização de adequações nas bocas de lobo, uma vez que uma parte significativa dessas estruturas não apresenta a depressão adequada para o escoamento, o que compromete sua eficiência.

A metodologia adotada no presente estudo prestou-se ao alcance dos objetivos propostos.

## 6 REFERÊNCIAS

AHERN, Jack. Greenway as a planning strategy. *Landscape and Urban Planning*, v. 33, n. 1-3, p. 131-155, 1995.

AMARAL, Rosangela do; GUTJAHR, Miriam. Desastres Naturais. São Paulo: [s. n.], 2011. (Série Cadernos de Educação Ambiental, v. 8). Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/server/api/core/bitstreams/92472243-8374-4f87-90ea-0f7bdb770c8c/content>. Acesso em: 1 set. 2024.

ANJOS, Anna Beatriz. Chuvas no RS foram duas vezes mais prováveis de ocorrer por causa de mudanças climáticas. Agência Pública, 2024. Disponível em: <https://apublica.org/nota/chuvas-no-rs-foram-duas-vezes-mais-provaveis-de-ocorrer-por-causa-de-mudancas-climaticas>. Acesso em: 2 set. 2024.

BIDONE, Francisco R. A; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Microdrenagem. *In*: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario Thadeu Leme de. *Drenagem Urbana*. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2015.

BOEHM, Sophie; SCHUMER, Clea. 10 conclusões do relatório do IPCC sobre mudanças climáticas de 2023. WRI Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>. Acesso em: 10 set. 2024.

BRILHANTE, Anna Kryslenne Viana Chianca. Transição para cidade esponja: desafios e oportunidades para a cidade de João Pessoa-PB. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2020.1/transicao-para-cidade-esponja-desafios-e-oportunidades-para-a-cidade-de-joao-pessoa-pb.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra. *Manual de Desastres: desastres naturais*. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.

CHOW, Ven Te. *Open-channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill, 1959.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, 1994.

CNM. *Panorama dos Desastres No Brasil: 2013 A 2023*. Estudo Técnico. Confederação Nacional de Municípios, 2024. Disponível em: [https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2024/Estudos\\_tecnicos/202405\\_ET\\_Panorama\\_Desastres\\_Brasil\\_2013\\_a\\_2023.pdf](https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2024/Estudos_tecnicos/202405_ET_Panorama_Desastres_Brasil_2013_a_2023.pdf). Acesso em: 02 out. 2024.

COUTINHO, A. P. *Pavimento permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade do Recife*. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. p. 32.

DIAS, Bruna Luz; LIMA, Márcia Azevedo de. Esponja urbana: O caso do canal de extravasamento em São Leopoldo / RS. *In: Encontro Latino-Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*, 4., 2021. Anais [...], [S. l.], 2021. p. 456-462. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2534>. Acesso em: 03 out. 2024.

DNIT (2014). Manual de Drenagem Urbana. IPR-DNIT, Brasília.

ECOTELHADO. Um dos Maiores Telhados Verdes da América Latina é da Ecotelhado. Conheça! Telhados verdes, 2022. Disponível em: <https://ecotelhado.com/blog/telhados-verdes/>. Acesso em: 04 set. 2024.

ESRI. *ArcMap: Geographic Information System software*. Versão 10.8. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2020.

FAZZARE, Elizabeth. Hunter's Point South Park is a model for urban flood resiliency. *Architectural Digest Pro*, 2018. Disponível em: <https://www.architecturaldigest.com/story/hunters-point-south-park-urban-flood-resiliency>. Acesso em: 07 set. 2024.

FOGEIRO, Jéssica Simões. Cidade Esponja: Aplicação do Conceito e Métodos no Bairro Marechal Gomes da Costa, Porto. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura Paisagista) – Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 2019. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/124775/3/370849.pdf>. Acesso em: 03 set. 2024.

FURUYA, Bob. Capital brasileira já funciona como cidade esponja: conheça o conceito. *Olhar Digital*, 19 jun. 2024. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2024/06/19/ciencia-e-espaco/capital-brasileira-ja-funciona-como-cidade-esponja-conheca-o-conceito/>. Acesso em: 18 set. 2024.

GALDINO, Luciana Mattos dos Anjos. Drenagem urbana na área da Praça da Cruz Vermelha: um estudo de caso da aplicação do conceito de cidades esponjas para atenuação de alagamentos. 2022. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.bdtd.uerj.br:8443/handle/1/18057>. Acesso em: 03 set. 2024.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA. *Manual de drenagem urbana – Região Metropolitana de Curitiba (versão 1.0, dezembro 2002)*. Programa de Saneamento Ambiental da Região Metropolitana de Curitiba: Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu. Curitiba: [s.n.], 2002. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/mdu\\_versao01.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mdu_versao01.pdf). Acesso em: 18 abril . 2025.

HAAN, Norman L.; BARFIELD, Barney J.; HAYES, J. C. *Hydrologic modeling of small watersheds*. St. Joseph: ASAE, 1994. 568 p.

HOFSTETTER, Christoph. *Contour Map Creator* (versão 0.402). urgr8.ch, 17 jun. 2025. Disponível em: <https://contourmapcreator.urgr8.ch/> . Acesso em: 11 maio. 2025. [contourmap.app+13contourmapcreator.urgr8.ch+13ch.urgr8.ch+13](https://contourmapcreator.urgr8.ch/)

INSTITUTO ÁGUA E TERRA – IAT. *Manual de Drenagem Urbana*. Curitiba, 2020. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/mdu\\_versao01.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mdu_versao01.pdf). Acesso em: 11 abril. 2025.

KOBIYAMA, Masato *et al.* Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Florianópolis: Editora Organic Trading, 2006. 124p. Disponível em: [https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/Livro\\_Prevencao\\_de\\_Desastres\\_Naturais.pdf](https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/Livro_Prevencao_de_Desastres_Naturais.pdf). Acesso em: 02 set. 2024.

LIMA YAZAKI, Luiz Fernando Orsini de; TOMINAGA, Erika Naomi; RADESCA, Fernanda Dias. Projeto técnico: parques lineares como medidas de manejo de águas pluviais. Soluções para Cidade, 2013. Disponível em: [https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF\\_Parques%20Lineares\\_Web.pdf](https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Parques%20Lineares_Web.pdf). Acesso em: 12 set. 2024.

MARUYAMA, Cintia Miua; FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. Pavimentos permeáveis e infraestrutura verde. *Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes*, v. 4, n. 9, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17271/231786044920161384>. Acesso em: 10 set. 2024.

MACEDO, Silvio Soares e SAKATA, Francine Gramacho. *Parques urbanos no Brasil*. São Paulo: EDUSP, 2002.

MACEDO, Valeska. Barigui alagado: parque drenou água do rio para evitar enchentes em Curitiba. Massa, 2023. Disponível em: <https://massa.com.br/noticias-de-hoje/parque-barigui-alagado/>. Acesso em: 10 set. 2024.

MANNING, R. On the flow of water in open channels and pipes. *Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland*, Dublin, v. 20, p. 161–207, 1891.

MIGUEZ, J. D. G.; VERÓL, A. P. R.; REZENDE, O. M. *Drenagem urbana: práticas sustentáveis e planejamento integrado*. Rio de Janeiro: Synergia, 2016.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Chuvas extremas no Rio Grande do Sul envolvem múltiplos fatores, apontam especialistas. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 31 maio 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/05/chuvas-extremas-no-rio-grande-do-sul-envolvem-multiplos-fatores-apontam-especialistas>. Acesso em: 30 set. 2024.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Saiba por que o Sul do Brasil é mais suscetível à ocorrência de ciclones extratropicais. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/noticias/saiba-por-que-o-sul-do-brasil-e-mais-suscetivel-a-ocorrencia-de-ciclones-extratropicais>. Acesso em: 30 set. 2024.

MOURA, Bruno de Freitas. Chinês criador das cidades-esponja diz que Brasil pode ser referência. Agência Brasil, 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-06/chines-criador-das-cidades-esponja-diz-que-brasil-pode-ser-referencia>. Acesso em: 6 set. 2024.

OATES, Lucy *et al.* Building climate resilience and water security in cities: lessons from the sponge city of Wuhan, China. Coalition for Urban Transitions: London, UK, and Washington, DC, 2020. Disponível em: <https://urbantransitions.global/wp-content/uploads/2020/03/Building-climate-resilience-and-water-security-in-cities-lessons-from-the-Sponge-City-of-Wuhan-China-final.pdf>. Acesso em: 16 set. 2024.

PENG, Yunyue; REILLY, Kate. Using Nature to Reshape Cities and Live with Water: An Overview of the Chinese Sponge City Programme and Its Implementation in Wuhan. GROWGREEN – Green Cities for Climate and Water Resilience, Sustainable Economic Growth, Healthy Citizens and Environments, 2021. Disponível em: <https://growgreenproject.eu/wp-content/uploads/2021/01/Sponge-City-Programme-in-Wuhan-China.pdf>. Acesso em: 9 set. 2024.

PINTO, Giovana Alves dos Santos. Parque Linear Alagável Catu-auá: uma alternativa sustentável para as enchentes e inundações na cidade de Cataguases – MG. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro Universitário FAMINAS, Muriaé, 2023. Disponível em: <https://bibliotecadigital.faminas.edu.br/jspui/handle/10.31.16.45/360>. Acesso em: 11 set. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. *Plúvio 2.1: Software para dimensionamento de canais e chuvas intensas*. Viçosa, MG: UFV, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>. Acesso em: 11 jul. 2025.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo ultrapassa a marca de 200 jardins de chuva na cidade. Prefeitura de São Paulo, 2022. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/w/noticia/prefeitura-de-sao-paulo-ultrapassa-a-marca-de-200-jardins-de-chuva-na-cidade>. Acesso em: 10 set. 2024.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Subprefeitura Sé promove ações que minimizam alagamentos e enriquecem a biodiversidade urbana. Prefeitura de São, 2022. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/w/noticia/subprefeitura-se-promove-acoes-que-minimizam-alagamentos-e-enriquece-a-biodiversidade-urbana>. Acesso em: 24 set. 2024.

PREFEITURA DE SÃO PAULO – SUBPREFEITURA SÉ. Confira nossos jardins de chuva! Prefeitura de São Paulo – Subprefeitura Sé, 2024. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/web/se/w/noticias/121529>. Acesso em: 08 set. 2024.

PREFEITURA DE SÃO PAULO – SUBPREFEITURA SÉ. Você conhece os jardins de chuva da Sé? Prefeitura de São Paulo – Subprefeitura Sé, 2020. Disponível em: <https://capital.sp.gov.br/web/se/w/noticias/103489>. Acesso em: 08 set. 2024.

REDE JUNTOS. Cidades-esponja: inovação urbana sustentável. Rede Juntos, 2024. Disponível em <https://redejuntos.org.br/cidades-esponja-inovacao-urbana-sustentavel/>. Acesso em: 03 set. 2024.

REIS, Ana Paula Cabral; ROSA, Diego de Jesus Queiroz; SANTOS CARMO, Junio César dos. Pavimentação permeável: conceitos e fundamentos. 2022. Disponível em: <https://periodicos.famig.edu.br/index.php/parametrica/article/view/306>. Acesso em: 12 set. 2024.

RETTO JUNIOR, Adalberto da Silva. Cidades-esponja: novos desafios para o planejamento urbano. *Le Monde Diplomatique Brasil*, 2024. Disponível em: <https://diplomatique.org.br/cidades-esponja-novos-desafios-planejamento-urbano/>. Acesso em: 8 set. 2024

ROSIN, Maíra. A chuva do presente que anuncia o passado: uma questão concreta na urbanização de São Paulo. Instituto Brasileiro de Direito Urbanístico (IBDU), 2018. Disponível em: <https://ibdu.org.br/opiniaio/a-chuva-do-presente-que-anuncia-o-passado-uma-questao-concreta-na-urbanizacao-de-sao-paulo/>. Acesso em: 04 set. 2024.

SADDI, Karielle Garrido e MOURA, Rúbia Oda. Coberturas verdes: análise do impacto de sua implantação sobre a redução do escoamento superficial. 2010. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/COBERTURAS\\_VERDES\\_-\\_ANALISE\\_DO\\_IMPACTO\\_DE\\_SUA\\_IMPLANTA%C3%87%C3%83O\\_SOBRE\\_A\\_REDU%C3%87%C3%83O\\_DO\\_ESCOAMENTO\\_SUPERFICIAL.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/COBERTURAS_VERDES_-_ANALISE_DO_IMPACTO_DE_SUA_IMPLANTA%C3%87%C3%83O_SOBRE_A_REDU%C3%87%C3%83O_DO_ESCOAMENTO_SUPERFICIAL.pdf). Acesso em 20 set. 2024.

SANTOS, Amanda Thaís da Silva *et al.* Pavimentação com concreto permeável: sistema de drenagem superficial de pavimentos. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Civil) – Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA, 2022. Disponível em: <https://www.grupounibra.com/repositorio/ENGCI/2022/pavimentacao-com-concreto-permeavel-sistema-de-drenagem-superficial-de-pavimentos20.pdf>. Acesso em: 21 set. 2024.

SANTOS, Karla Azevedo; RUFINO, Iana Alexandra Alves; BARROS FILHO, Mauro Normando Macêdo. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 943-952, out. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016146661>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/yMBFbMh7WdYmfw9H9KH9bhn/?lang=pt>. Acesso em: 07 set. 2024.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos*

Hídricos, v. 10, n.1, jan./mar. 2005, p. 5-23. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/29/9065c5e8a3333d5348b9babd06aaa510\\_7aad3403a5602667b67dfbb7c3cbd16a.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/29/9065c5e8a3333d5348b9babd06aaa510_7aad3403a5602667b67dfbb7c3cbd16a.pdf). Acesso em: 5 set. 2024.

TARANTINO, John. Sponge cities in China: leading the way. The Environmental Blog, 2024. Disponível em: <https://www.theenvironmentalblog.org/2024/08/sponge-cities-in-china/>. Acesso em: 10 set. 2024.

TASSI, Rutinéia *et al.* Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/38866/28753>. Acesso em: 14 set. 2024.

TURENSCAPE. Qian'an Sanlihe River Ecological Corridor. Turenscape, 2020. Disponível em: <https://www.turenscape.com/en/project/detail/4695.html>. Acesso em: 23 set. 2024.

VIRGILIIS, Afonso Luís Corrêa de. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. 2009. 191p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/publico/Dissertacao\\_Afonso\\_Luis\\_Correa\\_de\\_Virgiliis.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-08092010-122549/publico/Dissertacao_Afonso_Luis_Correa_de_Virgiliis.pdf). Acesso em: 19 set. 2024.