

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos



Dissertação

**ESTABELECIMENTO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA
EXPERIMENTAL EM PELOTAS/RS: MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E
INVENTÁRIO DAS ESTRUTURAS DE DRENAGEM EM AMBIENTE SIG**

Laura Schwartz Leite

Pelotas, 2024

Laura Schwartz Leite

Estabelecimento de uma Bacia Hidrográfica Urbana Experimental em Pelotas/RS: monitoramento hidrológico e inventário das estruturas de drenagem em ambiente SIG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tamara Leitzke Caldeira Beskow

Coorientador: Prof. Dr. Samuel Beskow

Pelotas, 2024

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

L533e Leite, Laura Schwartz

Estabelecimento de uma bacia hidrográfica urbana e Experimental em Pelotas/RS [recurso eletrônico] : monitoramento hidrológico e inventário das estruturas de drenagem em ambiente SIG / Laura Schwartz Leite ; Tamara Leitzke Caldeira Beskow, Samuel Beskow, orientadores. — Pelotas, 2024.

86 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. Drenagem urbana. 2. Bacia experimental. 3. Modelagem hidrológica. 4. Previsão hidrológica. 5. Canaleta da Argolo. I. Beskow, Tamara Leitzke Caldeira, orient. II. Beskow, Samuel, orient. III. Título.

CDD 627

Laura Schwartz Leite

Estabelecimento de uma Bacia Hidrográfica Urbana Experimental em Pelotas/RS: monitoramento hidrológico e inventário das estruturas de drenagem em ambiente SIG

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 28 de fevereiro de 2024

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Tamara Leitzke Caldeira Beskow (Orientadora)
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Dr.^a Jéssica Fernanda Ogassawara
Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas

Dr. Cristian Larri Pires Veber
Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas

Dedico este trabalho aos meus pais,
Elisa e Rovani.

Agradecimentos

À minha orientadora, a querida Professora Tamara Leitzke Caldeira Beskow, que não só acreditou no meu potencial, mas também ajudou a resgatar um sonho adormecido. Sua dedicação voltada a mim e ao meu trabalho é inestimável. Agradeço por me guiar com paciência, aconselhar com sabedoria, e por transformar essa jornada acadêmica em algo leve e enriquecedor. Além disso, agradeço pela amizade que cultivamos e pelos valiosos ensinamentos que transcenderam os limites da academia.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, meu profundo agradecimento por despertarem meu interesse em diversas áreas, contribuindo assim para o meu crescimento profissional e pessoal. Em especial, dedico gratidão ao Professor Samuel Beskow e à Professora Danielle Bressiani, cujo envolvimento direto neste trabalho foi fundamental.

Às minhas colegas de mestrado, Leandra e Victória, expresso meu agradecimento pela amizade sólida e pelo companheirismo constante ao longo dessa jornada desafiadora.

Aos colegas do Laboratório de Hidrologia e Modelagem Hidrológica, em especial às incríveis Aryane, Maria Eduarda e Retiele, agradeço por tornarem a caminhada mais rica e menos árdua. Sem vocês, a jornada teria sido muito mais monótona. Obrigada por todas as conversas e trocas enriquecedoras.

Aos meus pais, Elisa e Rovani, que proporcionaram todas as oportunidades para que eu chegasse até aqui. Agradeço por serem exemplos de integridade, incentivando-me a ser sempre crítica e a buscar o meu melhor. A presença constante de vocês é um presente valioso.

Ao meu irmão Rodrigo, agradeço por ensinar que dividir é multiplicar, principalmente quando se trata de amor, não de chocolate.

Aos meus avós, Neusa (*in memoriam*), Erny (*in memoriam*) e Nilva, expresso todo o meu agradecimento pelos ensinamentos passados aos meus pais e pelo carinho dedicado a mim ao longo dos anos em que compartilhamos juntos. Grande parte do que sou é reflexo de vocês.

Às minhas tias, verdadeiras fontes de inspiração, obrigada por serem exemplos de mulheres fortes, determinadas e bem-sucedidas em tudo que se propõem a fazer.

Aos meus dindos, Elisane e Marcos, agradeço por estarem sempre presentes, dispostos a aconselhar e guiar. Além, é claro, de proporcionarem veraneios incríveis no Hermenegildo.

Aos amigos, em especial à Júlia, que desde a época da graduação tem sido um apoio constante. Agradeço pelas seções de coworking e por me acalmar nos momentos em que tudo parecia dar errado.

Ao Flávio, um presente trazido pela engenharia. Minha profunda gratidão por ser não apenas meu colega, mas também meu amigo e parceiro. Agradeço por todo o apoio nos momentos de desespero, por cada instante de descontração compartilhado e por escolher a vida ao meu lado. Sou grata por cada capítulo da história que estamos construindo juntos.

Ao Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas (SANEP), pela parceria no projeto de pesquisa da BHUECA, e por disponibilizar equipamentos e equipes fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos técnicos da UFPEL, Denis e Reginaldo, que ofereceram suporte em diversos momentos, contribuindo para a realização das atividades com excelência.

À Universidade Federal de Pelotas, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, meu profundo agradecimento por proporcionarem minha formação acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de pesquisa durante o período desse mestrado.

Resumo

LEITE, Laura Schwartz. **Estabelecimento de uma Bacia Hidrográfica Urbana Experimental em Pelotas/RS: monitoramento hidrológico e inventário das estruturas de drenagem em ambiente SIG**. 2024. 86f. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

Os impactos da urbanização nas cidades são evidentes, afetando tanto o modo de vida da população quanto o meio ambiente. Nesse contexto, a investigação dos efeitos das chuvas nas áreas urbanas e a análise dos sistemas projetados para lidar com esses volumes de água tornam-se cruciais. Assim, o presente estudo propôs-se a realizar um levantamento minucioso dos dispositivos de drenagem que contribuem para a Bacia Hidrográfica Urbana Experimental de Pelotas (BHUECA), com o objetivo de cadastrar, diagnosticar e identificar suas características planialtimétricas. Os dados coletados incluíram informações sobre microdrenagem, como características e localização dos 295 dispositivos de captação, altura das sarjetas e tipo de pavimentação das vias, e macrodrenagem, abrangendo o levantamento da geometria do Canaleta da Argolo, além da instalação de um marco referencial de nível para conectar essas informações. Posteriormente, os dados foram organizados e integrados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) por meio do software ArcGIS Pro. A análise revelou alturas elevadas de sarjeta, uma variedade de tipologias dos dispositivos de captação e que 42% deles apresentavam problemas. Apesar da distribuição espacial adequada do sistema de coleta de águas pluviais, constatou-se a urgência de um plano de ação para restaurar os dispositivos de captação danificados e obstruídos, visando aprimorar a eficácia do sistema de drenagem urbana. Os resultados deste estudo serão disponibilizados em um hub de fácil navegação, para que a sociedade possa acessar e utilizar essas informações na gestão dos sistemas, bem como demais finalidades que necessitem de informações espaciais nas proximidades da área de estudo.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Bacia Experimental. Modelagem hidrológica. Previsão hidrológica. Canaleta da Argolo.

Abstract

LEITE, Laura Schwartz. **Establishment of an Experimental Urban Catchment in Pelotas/RS: hydrological monitoring and inventory of drainage structures coupled with a GIS framework.** 2024. 86f. Dissertation (Master's Degree in Water Resources) – Graduate Program in Water Resources, Center of Technological Development, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2024.

The impacts of urbanization in cities are evident, affecting both the population's way of life and the environment. In this context, investigating the effects of rain in urban areas and analyzing the systems designed to deal with these water volumes become crucial. Therefore, the present study aimed to conduct a thorough survey of the drainage devices contributing to the Experimental Urban Watershed Basin of Pelotas (BHUECA), with the objective of registering, diagnosing, and identifying their planialtimetric characteristics. The collected data included information on micro-drainage, such as characteristics and location of the 295 manholes, height of curbs, and type of road pavement, and macro-drainage, encompassing the survey of Canalete da Argolo's geometry, along with the installation of a reference level benchmark to connect this information. Subsequently, the data were organized and integrated into a Geographic Information System (GIS) using the ArcGIS Pro software. The analysis revealed high curb heights, a variety of manhole typologies, with 42% of them presenting problems. Despite the adequate spatial distribution of the rainwater collection system, there was an urgency to implement an action plan to restore damaged and obstructed manholes, aiming to improve the efficiency of the urban drainage system. The results of this study will be made available on a user-friendly hub, allowing society to access and utilize this information in managing systems, as well as other purposes requiring spatial information in the vicinity of the study area.

Keywords: Urban Drainage. Experimental Basin. Hydrological modeling. Hydrological forecasting. Canalete da Argolo.

Lista de Figuras

Figura 1 - Fotografia da construção do Canalete da Argolo em 1928.....	25
Figura 2 - Fotografias do Canalete na Rua Marechal Deodoro.....	26
Figura 3 - Mapa de localização do local de estudos.....	30
Figura 4 - Reportagem a respeito das chuvas intensas ocorridas na região da cidade de Pelotas.	31
Figura 5 - Reportagem a respeito dos grandes volumes de chuva ocorridos na região da cidade de Pelotas.....	32
Figura 6 - Fotos de alagamentos e inundações do Canalete da Argolo acontecido em 15/02/2015 (a) esquina da Rua Santa Cruz (b) esquina da rua Andrade Neves (c) esquina da rua XV de novembro (d) pontilhão entre as ruas Andrade Neves e XV de novembro.	33
Figura 7 - Sensor de nível instalado na BHUECA.....	34
Figura 8 – (a) Datalogger e (b) painel solar instalados na estação da BHUECA	35
Figura 9 - Réguas limnimétricas instaladas no Canalete da Argolo	36
Figura 10 - Instalação das réguas limnimétricas utilizando nível óptico.	36
Figura 11 - Gabinete do pluviógrafo instalado na Estação BHUECA.....	37
Figura 12 - Pluviômetro do tipo DNAEE instalado na BHUECA.....	38
Figura 13 - Campanhas hidrológicas realizadas no Canalete da Argolo.....	39
Figura 14 - Molinetes utilizados para as campanhas hidrológicas no canalete, sendo (a) Molinete MLN-7C e (b) Micromolinete 17247.....	40
Figura 15 - Representação do cálculo da área para o cálculo da vazão utilizando o método da meia seção	41
Figura 16 - Referência de nível (RN) instalado na mureta interna do Canalete da Argolo.....	43
Figura 17 - Marco M18 localizado no canteiro central da Avenida Bento Gonçalves na esquina com a Avenida Ferreira Viana.	43
Figura 18 - Representação do método do nivelamento geométrico	44
Figura 19 - Nível óptico KL-32 da marca Kolida utilizado para o levantamento geométrico.....	44
Figura 20 - Rota das estacionadas do equipamento	45
Figura 21- Representação do método do nivelamento trigonométrico	46

Figura 22 – Representação dos pontos de interesse na seção transversal do canaleta.	46
Figura 23 - Foto da seção do Canaleta da Argolo.....	47
Figura 24 - Estação total RTS 102 da fabricante FOIF utilizado para o levantamento da seção do Canaleta da Argolo.	47
Figura 25 - Bastão e prisma sendo utilizados para levantamento do ponto de interesse.	48
Figura 26 - Cabeçalho da tabela de atributos utilizada para o levantamento dos dispositivos de captação.	49
Figura 27 - RTK GNSS Emlid Reach RS2+ utilizado no levantamento de posição dos dispositivos de captação.	50
Figura 28 - Trena laser GLM 120 C Professional utilizada no levantamento das sarjetas.....	51
Figura 29 - Régua limnimétrica da BHUECA instaladas na seção de controle (a) visão frontal (b) visão lateral da estrutura.....	53
Figura 30 - Reportagem sobre o Evento 1	55
Figura 31 - Reportagem sobre o Evento 1	55
Figura 32 - Reportagem sobre o Evento 3	56
Figura 33 - Reportagem sobre o Evento 3	56
Figura 34 - Captura de tela dos problemas encontrados no download dos dados....	58
Figura 35 - Calibração da balança do pluviógrafo	58
Figura 36 - Registro das régua furtaadas na seção de controle da BHUECA em janeiro de 2024.	59
Figura 37 - Fotografia da realização do levantamento do perfil longitudinal e das seções transversais do Canaleta da Argolo	61
Figura 38 - Representação do perfil longitudinal do fundo do Canaleta da Argolo ...	62
Figura 39 - Representação das seções levantadas no Canaleta da Argolo.....	63
Figura 40 – Mosaico de fotos das floreiras do Canaleta da Argolo que possuem vegetação que impedem o acesso ao seu interior (a) esquina da rua Andrade Neves (b) esquina da rua Gonçalves Chaves (b) durante o levantamento topográfico na esquina da rua Santa Cruz (S3).	64
Figura 41 - Representação dos gêneros dos dispositivos de captação encontrados na BHUECA, sendo (a) simples, (b) grelha, (c) combinada.	65

Figura 42 - Representação de dispositivos de captação encontrados na BHUECA sendo (a) em boas condições (b) obstruídas (c) danificada (d) danificada e obstruída.	66
Figura 43 - Análise percentual das condições de preservação dos dispositivos de captação da BHUECA.....	67
Figura 44 - Relatório diagnóstico da situação dos dispositivos de captação localizados na BHUECA entregue ao SANEP.	67
Figura 45 – Mapa representativo das altitudes elipsoidais dos dispositivos de captação da BHUECA.	68
Figura 46 - Mapa representativo dos tipos de dispositivos de captação da BHUECA.	69
Figura 47 - Mapa representativo dos dispositivos de captação danificados e obstruídos na BHUECA.	70
Figura 48 - Mapa representativo dos dispositivos de captação obstruídos na BHUECA.	71
Figura 49 – Mapa representativo das alturas de sarjeta média da BHUECA.....	72
Figura 50 - Histograma das alturas de sarjeta.....	73
Figura 51 - Página inicial do Hub.	74
Figura 52 - Mapa no hub com todas as camadas ativas.	75
Figura 53 - Mapa no hub com tabela de atributos.....	75

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Caracterização dos eventos empregados na análise de resposta da BHUECA, com destaque para a intensidade média (I_m), duração (D), precipitação total (P_{TOTAL}) e vazão calculada para o canaleta (Q_{calc}).	54
Tabela 2 - Caracterização das medições de vazão realizadas em campanhas hidrológicas utilizadas na análise de resposta da BHUECA. Onde Q_{calc} é a vazão calculada pela curva-chave e Q_{obs} a vazão observada.	57
Tabela 3 - Síntese das leituras realizadas durante o nivelamento e contranivelamento e altitudes calculadas para os pontos do trajeto percorrido entre M18 e RN	60

SUMÁRIO

1	Introdução	15
1.1	Objetivos	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos.....	17
2	Revisão Bibliográfica.....	18
2.1	Urbanização e Saneamento.....	18
2.1.1	Políticas de Saneamento	19
2.2	Drenagem Urbana.....	20
2.2.1	Escoamento Superficial	22
2.2.2	Microdrenagem e macrodrenagem	22
2.3	O município de Pelotas no contexto da drenagem urbana.....	23
2.3.1	Canalete Da Argolo.....	24
2.4	Sistemas de Informação Geográfica	26
2.5	Monitoramento Hidrológico	27
2.5.1	Instrumentos para Medição de Nível	28
2.5.2	Instrumentos para Medição de Precipitação	29
3	Material e Métodos.....	30
3.1	Delimitação da área de estudo.....	30
3.2	Estabelecimento do monitoramento hidrológico.....	33
3.2.1	Linígrafo.....	34
3.2.2	Réguas limnimétricas.....	35
3.2.3	Pluviógrafo.....	37
3.2.4	Pluviômetro.....	38
3.2.5	Campanhas hidrológicas para medição de vazão	39
3.2.6	Análise de Eventos Hidrológicos.....	41
3.3	Caracterização topográfica do canalete.....	42
3.3.1	Estabelecimento do marco topográfico.....	42
3.3.2	Perfil longitudinal e seções transversais	45

3.4	Avaliação da microdrenagem da bacia	48
3.4.1	Levantamento cadastral dos dispositivos de captação	48
3.4.2	Levantamento de posição dos dispositivos de captação	49
3.4.3	Levantamento cadastral das vias.....	50
3.5	Sistema de Informação Geográfica.....	52
4	Resultados e discussão	53
4.1	Estabelecimento do monitoramento hidrológico.....	53
4.1.1	Eventos hidrológicos analisados.....	54
4.2	Caracterização topográfica do canaleta.....	59
4.2.1	Estabelecimento do marco topográfico.....	59
4.2.2	Perfil longitudinal e seções transversais	61
4.3	Avaliação da microdrenagem da bacia	65
4.3.1	Levantamento cadastral dos dispositivos de captação	65
4.3.2	Levantamento de posição dos dispositivos de captação	67
4.3.3	Levantamento cadastral das vias.....	71
4.4	Sistema de Informação Geográfica.....	73
5	Considerações Finais.....	77

1 Introdução

O processo de urbanização das cidades provoca impactos significativos no modo de vida da população e no meio ambiente. A falta de um planejamento que integre a ocupação territorial urbana e as infraestruturas necessárias para o desenvolvimento acarreta diversos problemas, entre eles, as falhas no sistema de drenagem devido à eventos hidrológicos de alta intensidade (DE MORAES; SILVA, 2019; MARTINS PEREIRA; MARIANO DE SOUSA JUNIOR; HENRIQUE VIEIRA, 2022; ZHOU et al., 2019)

Neste sentido, para reduzir os impactos e consequências refletidos nos centros urbanos, o Governo Federal em 2007 decretou a Lei nº 11.445, conhecida como Lei do Saneamento, que traz as diretrizes nacionais do saneamento básico, onde está inserida a drenagem urbana e o manejo das águas pluviais, que são definidas como conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas (BRASIL, 2007)

O sistema de drenagem é constituído por medidas que tem como objetivo a minimização dos riscos a que as pessoas estão expostas, diminuindo os prejuízos acarretados por inundações e permitindo o desenvolvimento urbano de maneira harmônica e sustentável em relação ao meio ambiente (TUCCI, 2008). Com este fim o sistema é seccionado em dois conjuntos distintos para melhor entendimento e avaliações.

O primeiro grupo de dispositivos é o sistema de microdrenagem, constituído pelo complexo de condutos pluviais em nível de loteamentos ou rede primária urbana, tendo a atribuição de garantir condições de circulação de veículos e pedestres, em ocorrência de chuvas e encaminhar a água recolhida para o sistema de macrodrenagem (TUCCI, 2012a). Segundo Botelho (2017) a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, assim como todos os componentes do projeto para que tal ocorra, fazem parte do sistema de microdrenagem, sendo importante no controle da erosão por evitar o escoamento direto sobre o solo. O segundo é constituído, em geral, por dispositivos responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais derivadas do sistema de microdrenagem,

como canais e galerias de médio e grande porte e é denominado macrodrenagem (BOTELHO, 2017).

Na busca por organizar o gerenciamento do sistema de drenagem, os principais problemas enfrentados pelos municípios são: ausência de dados, evidenciado por um cadastro técnico deficiente (PEREIRA, 2015; SANTOS et al., 2021). Na cidade de Pelotas, sul do Brasil, o cenário não é diferente, sendo uma das cidades mais antigas do estado a possuir sistemas de saneamento básico (XAVIER, 2010) a falta de um cadastro dos dispositivos de drenagem foi um problema que acabou por se acumular com o tempo. Além disso a expansão da cidade e a mudança dos aspectos urbanísticos fez com que muitos sistemas se tornassem defasados para as novas necessidades.

A fim de atender a essa carência, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem oferecer benefícios significativos. Com essa ferramenta, é possível melhorar a coleta, organização e análise de dados dos dispositivos de drenagem, facilitando a identificação de áreas com problemas e a tomada de decisões mais assertivas na alocação de recursos (BARBOZA et al., 2022). Além disso, o SIG permite a visualização espacial dos sistemas de drenagem, a integração de dados de diferentes fontes e formatos, e auxilia na identificação de áreas vulneráveis a eventos climáticos extremos, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável da infraestrutura urbana (ROIZEMBERG BAHIANA et al., 2023).

Um exemplo dessa demanda é o canaleta localizado na rua General Argolo, no centro do município. O aparelho projetado em 1928 pelo engenheiro sanitário Saturnino de Brito, que possui obras por todo o país datadas da mesma época, propôs o esquema com a finalidade de solucionar o problema das cheias que afetavam à parte das ruas centrais da cidade (LOPES, 2013; RÜCKERT, 2017). Contudo, atualmente, em eventos de grandes volumes de precipitação o Canaleta extravasa ao receber as vazões dos dispositivos de drenagem ligados a ele, causando diversos prejuízos à população.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral realizar uma caracterização minuciosa da Bacia Hidrográfica Urbana Experimental do Canaleta da

Argolo (BHUECA) a fim de analisar o comportamento da mesma em diferentes eventos hidrológicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- i. Realizar um levantamento meticuloso dos dispositivos de drenagem que contribuem para a BHUECA a fim de proceder um cadastramento das estruturas, realizando um diagnóstico das condições apresentadas e identificando a localização e as características planialtimétricas;
- ii. Organizar os dados obtidos pelo levantamento, diagnóstico e identificação de forma a integrar um Sistema de Informações Geográficas;
- iii. Analisar a resposta da BHUECA para diferentes eventos de chuva monitorados por uma estação hidrológica instalada na área da bacia.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Urbanização e Saneamento

A tendência do ser humano em ocupar áreas próximas a corpos hídricos vem desde os tempos antigos, sendo possível observar grandes centros urbanos localizados perto de rios ou regiões litorâneas (SILVA, 1998). Segundo Juuti, Katko, Vuorinen (2007), a captação de água de rios, lagos, poços ou nascentes sempre foi parte da rotina dos seres humanos. As primeiras evidências de cidades são encontradas no entorno de grandes rios e possuem vestígios de redes de abastecimento de água, demonstrando o quanto o recurso desempenha um papel fundamental para a sociedade (SILVA, 1998).

De acordo com Silva (2018) a revolução industrial iniciada na Inglaterra do século XVII fez com que ocorresse uma transformação nos padrões de vida e consumo da sociedade. A evolução tecnológica e industrial, bem como a modernização dos campos, impulsionou o crescimento da população urbana de maneira rápida e desgovernada, causando problemas pela falta de planejamento (TUCCI, 2005).

Segundo estimativas do Atlas do Planeta Humano, cidades ocupavam 2,27 milhões de quilômetros quadrados em 2015 e cobriam 1,5% da área terrestre do nosso planeta (EUROPEAN COMMISSION et al., 2017). Jatobá (2011) menciona que, em teoria, a concentração da população em cidades reduz a pressão sobre os ecossistemas e as áreas naturais, porque diminui drasticamente a superfície de espaço natural requerida para a ocupação de um mesmo número de pessoas de forma dispersa no território. Todavia, não é somente a superfície de solo ocupada que é impactada por uma determinada população urbana. O seu padrão de consumo e a geração de rejeitos dessa população pode afetar uma quantidade de recursos naturais que extrapola em muito a área ocupada por ela (JATOBÁ, 2011)

Atualmente convivemos com as alterações nos sistemas hídricos. O aumento das temperaturas devido à absorção de energia pelas superfícies impermeáveis, o aumento do escoamento superficial e da vazão com a redução da infiltração e da evapotranspiração, a aceleração dos processos erosivos e de escoamento e a queda

da qualidade da água, são alguns reflexos das alterações antrópicas no ambiente causados pela urbanização de maneira não planejada (TUCCI, 2004).

Ainda hoje, a ideia de sociedade avançada está fortemente ligada ao conceito de saneamento. A Organização Mundial da Saúde (OMS) considera o saneamento como o conjunto de ações adotadas em um local para melhorar a vida e a saúde dos que habitam nele, impedindo que fatores físicos de efeitos nocivos possam prejudicar as pessoas no seu bem-estar físico, mental e social (WHO, 2020).

2.1.1 Políticas de Saneamento

No Brasil, em 1561, Estácio de Sá, militar português fundador da cidade do Rio de Janeiro, foi o responsável pela primeira obra de saneamento de que se tem registro, um poço para abastecimento de água na cidade. O período colonial, contudo, não apresenta muitos registros de obras de saneamento. Elas se resumiam à drenagem de terrenos e instalação de chafarizes e fontes que abasteciam a população (NUNES; DIAZ, 2020).

A virada do século XIX para o século XX, no Brasil, foi marcada por grandes transformações, a república recém proclamada deu seus primeiros passos, o trabalho escravo foi abolido e a população tornou-se cada vez mais urbana. Contudo, no setor do saneamento, alguns obstáculos impediram que o desenvolvimento alcançasse crescimento expressivo durante esse período (MOREIRA, 2014).

A falta de planejamento adequado, o volume insuficiente de investimentos, a deficiência na gestão das companhias de saneamento, a baixa qualidade técnica dos projetos, a dificuldade para obter financiamentos e licenças para as obras e a disputa entre governos federal, estadual e municipal sobre quem deveria gerenciar as diretrizes e implementação, medidas e infraestruturas para o saneamento básico no Brasil acarretaram atrasos e falhas nos serviços de saneamento (MOREIRA, 2014).

A história do saneamento básico no Brasil é relacionada a uma das maiores revoltas de caráter popular da República, a Revolta das Vacinas. A desapropriação e demolição de cortiços para a abertura de novos espaços visando limpeza e modernização, o combate do mosquito transmissor da febre-amarela feito por guardas “mata-mosquitos” que invadiam casas em várias regiões da cidade, muitas vezes, acompanhados por soldados da polícia, o combate aos ratos transmissores da peste bubônica associado à intensificação da limpeza pública,

e a vacina obrigatória para o controle da varíola foram alguns dos eventos relacionados a revolta popular (ABREU; DE PAULA; ARAÚJO, 2014).

O governo do presidente Rodrigues Alves (1902-1906) foi marcado por obras públicas na região portuária e medidas para acabar com as epidemias que assolavam o país na época. Junto aos engenheiros Paulo de Frontin e Oswaldo Cruz, sanitarista de renome, Rodrigues Alves tinha a intenção de tornar a cidade do Rio de Janeiro o reflexo do Brasil republicano moderno. As medidas não tiveram os resultados esperados após a revolta (ABREU; PAULA; ARAÚJO, 2014).

A falta de um sistema adequado de saneamento básico ocasiona vários problemas que afetam a sociedade brasileira. A dificuldade de escoamento das águas pluviais, que ocasiona alagamentos e enchentes, a má qualidade da água, o esgotamento sanitário insuficiente, o descarte e a disposição incorreta dos resíduos sólidos urbanos, demonstra que o Brasil se encontra imerso em problemas relacionados ao tema. Além de demonstrar a importância do saneamento para o bem-estar da população. (COSTA; PINHEIRO, 2018).

Segundo Freire (2017), a Constituição Federal de 1988 faz menção ao termo Saneamento Básico e prevê ser competência comum da União, Estados e Municípios a promoção de “programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico” e determina ao Sistema Único de Saúde (SUS) a participação na formulação da política e da execução das ações de saneamento básico. Porém, na Constituição de 88, o termo “saneamento básico” não é definido. Isso desencadeou uma discussão sobre o que o conceito inclui, e sua distinção para “saneamento ambiental”.

Isso tornou necessário que, em 2007, o governo federal promulgasse a Lei n.º 11.445 conhecida como Lei do Saneamento, a fim de definir como “o conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais” e trazer ainda as diretrizes que deveriam ser adotadas para a elaboração de documentos relativos ao tema (BRASIL, 2007).

2.2 Drenagem Urbana

Dentre os setores do saneamento, o manejo de águas pluviais, é um dos que mais preocupa a administração pública, pois, ao falhar tem seus efeitos mais imediatos e visíveis. Tucci (2012) afirma que o gerenciamento da drenagem urbana

envolve o manejo do escoamento no tempo e espaço, com o objetivo de minimizar os danos à sociedade e ao ambiente, assim como a Lei 11.445 descreve que o manejo das águas pluviais engloba o conjunto de diversos fatores junto a medidas e dispositivos de drenagem para minimizar ou cessar as inundações urbanas (BRASIL, 2007).

Tucci (1997) cita os princípios básicos dos controles de enchentes apresentados pela Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Os principais elementos desses princípios são:

- Estabelecer o controle da bacia hidrográfica urbana em sua totalidade e não de pontos isolados;
- Analisar os cenários futuros de desenvolvimento da bacia;
- Evitar que a ampliação da enchente devido à urbanização seja transferida para jusante da bacia;
- Realizar o controle para as áreas ribeirinhas de maneira a priorizar o uso de medidas não-estruturais como: zoneamento de enchentes, seguro e previsão em tempo real;
- Estabelecer controle através do Plano Diretor de Drenagem Urbana, administrado pelos municípios.

Os principais objetivos a serem alcançados pelo desenvolvimento de sistemas de drenagem urbana devem ser: assegurar o trânsito de pedestres e veículos, controlar erosões, proteger propriedades localizadas em áreas sujeitas a inundações e como consequência, os cidadãos moradores ou frequentadores dessas regiões. Além de preservar logradouros e vias públicas, conservar e resguardar fundos de vales e os cursos de água e eliminar a proliferação de doenças e zonas insalubres (BOTELHO, 2017).

Os sistemas de drenagem de águas pluviais, na maior parte dos manuais técnicos, estão associados a obras de canalização, recentemente, associadas por vezes a estruturas de armazenamento para amortecimento de vazões (BOTELHO, 2017). Seu dimensionamento tem como variáveis principais a chuva de projeto (baseado em uma curva Intensidade-Duração-Frequência), o coeficiente de escoamento superficial e o tempo de concentração, influenciados pela área em que se localiza o projeto e o tempo de retorno. A partir da estimativa da vazão máxima, com base na equação do Método Racional, emprega-se a equação de Manning para

determinar as dimensões que comportam a vazão calculada (SOUZA; MORAES; BORJA, 2013). Tendo isso em vista, Souza et al. (2013) concluíram que os sistemas de drenagem de águas pluviais foram planejados e dimensionados para falhar.

2.2.1 Escoamento Superficial

Cardoso Neto (2005) define a drenagem urbana como o conjunto de instalações para captação e escoamento da água pluvial, seja em um espaço rural ou urbano. Portanto, para iniciar o estudo e desenvolvimento da drenagem urbana deve-se primeiramente fazer o estudo do escoamento superficial presente na localidade a ser estudada. As ações do escoamento superficial sofrem alterações em decorrência das modificações em uma bacia, originadas do processo de urbanização das áreas que tem como principal consequência a impermeabilização das superfícies.

2.2.2 Microdrenagem e macrodrenagem

Dentro do grande universo da drenagem podemos dividir a mesma em duas áreas de estudo. Para Tucci (2012b), a microdrenagem corresponde às medidas adotadas em nível de loteamento. A rede de microdrenagem é constituída de condutores pluviais, dispositivos de captação, poços de visita, meios-fios, sarjetas, que recolhem a água e conduzem para a macrodrenagem. Segundo Botelho (2017), a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, assim como todos os componentes do projeto para que tal ocorra, fazem parte do sistema de microdrenagem, sendo importante no controle da erosão por evitar o escoamento direto sobre o solo.

O sistema de condução das águas provenientes da microdrenagem para os destinos (córregos, rios etc.) constituído por canais e galerias de médio e grande porte é denominado macrodrenagem (ANDRADE; SANTOS, 2010). Em obras de macrodrenagem devem ser estudados os sistemas de microdrenagem que o alimentarão, sendo este o aspecto mais significativo para seu dimensionamento. O sistema da macrodrenagem exige grandes planejamentos, incluindo os estudos de impactos ambientais devido à carga de resíduos e a interligação entre os condutos (TUCCI, 2005).

2.3 O município de Pelotas no contexto da drenagem urbana

O favorecimento da localização, próximo a tantos corpos hídricos usados no período da colonização para transporte e escoamento de mercadorias, atraiu a atenção do português José Pinto Martins que, fugindo da seca no Ceará, estabeleceu seus negócios montando uma primitiva charqueada às margens do Arroio Pelotas (CONCEIÇÃO et al., 2009). O sucesso do negócio de Pinto Martins estimulou a criação de outras diversas charqueadas, dando início ao Rincão das Pelotas.

A fundação da Freguesia de São Francisco de Paula em 1812, instituída pelo governo imperial deu autonomia religiosa ao povoado, que só atingiu a autonomia política em 1832 quando foi elevado à Vila. Não permaneceu muito tempo nessa posição, pois, em 1835 evoluiu à cidade e tornou-se Pelotas, em homenagem às embarcações indígenas feitas em couro, utilizadas na região (MAGALHÃES, 1993).

Segundo Conceição et al. (2009), a organização inicial de um núcleo urbano pelotense se deu de forma afastada das charqueadas, que era considerado um lugar inapropriado para a instalação das famílias dos charqueadores. A urbanização se deu em virtude do surgimento de uma elite que muito enriquecida pelo êxito de sua economia, construiu no meio urbano verdadeiros palacetes, casarões com grandes espaços luxuosos, onde promoviam saraus e incentivavam a cultura e educação, exemplificados pela inauguração do Teatro Sete de Abril em 1831 (PINHEIRO, 2013).

Contudo, a grande maioria da mão-de-obra utilizada nas charqueadas era escrava. Logo, quando se deu a abolição, uma grande parcela da população se viu sem nada e deu início a urbanização da cidade que temos hoje, sem planejamento e de forma irregular (ARRIADA, 1994). As atividades econômicas crescentes do município passaram a exigir que o poder público tomasse providências no sentido de organizar a realidade social. Uma das questões mais urgentes era a falta de saneamento. No ano de 1871 foi fundada a Companhia Hydráulica Pelotense, para o fornecimento de água para a cidade, por meio de canalização e distribuição através do sistema de encanamentos das principais ruas da cidade e chafarizes (XAVIER, 2010).

O serviço público de despejos de Pelotas foi o processo de retirada do material fecal dos prédios por meio de cabungos, transportados até o Santa Bárbara em carroções. Em 1873, o Governo da Província abriu uma concorrência para a

implantação de um serviço de esgotos para as cidades de Porto Alegre, Rio Grande e Pelotas, obras concluídas em 1915 com 42km de extensão de rede (XAVIER, 2010).

2.3.1 Canaleta Da Argolo

Segundo Rückert (2017), em 1927, Saturnino de Brito dirigiu-se para Pelotas com o desafio de qualificar o sistema de abastecimento de água (ampliando a oferta e modernizando seu tratamento), e, ao mesmo tempo, projetar a expansão da rede de esgoto. Prevendo a expansão da cidade, tanto no plano espacial quanto populacional, o projeto para desenvolvimento e complemento dos serviços existentes apresentou alternativas para ampliar a oferta da água. Além disso, o engenheiro sanitário apontou como um dos principais problemas a falta de drenagem de água das chuvas e das estagnadas (RÜCKERT, 2017).

Uma das apostas principais do projeto de Saturnino Brito para Pelotas foi a utilização das águas dos canais como principais representantes das estruturas de saneamento para garantir a salubridade e embelezamento dos espaços (BURGER, 2008). Sua maior preocupação estava relacionada à situação do Arroio Santa Bárbara e seu avançado estado de contaminação. O engenheiro alegava que a cidade crescia transformando o arroio em uma verdadeira cloaca urbana (SOARES, 2002).

A construção do canaleta de drenagem das águas pluviais nas ruas Marechal Deodoro e General Argolo, com o intuito de solucionar o problema das cheias de uma sanga que se localizava na Rua General Argolo é uma das obras que se destaca no projeto de saneamento de Saturnino de Brito para Pelotas, por ser visível na paisagem urbana. O engenheiro alegou na época que eram preferíveis canaletes abertos a galerias, visto que estes poderiam se tornar elementos decorativo das vias, com pequenas pontes e floreiras (BRITO, 1927, apud LONER; GILL; MAGALHÃES, 2017).

Apesar da resistência da população, segundo as fotografias (Figura 1) e o relatório de construção, em agosto de 1929 as obras de canalização das águas pluviais já estavam prontas (LONER; GILL; MAGALHÃES, 2017; LOPES, 2013).

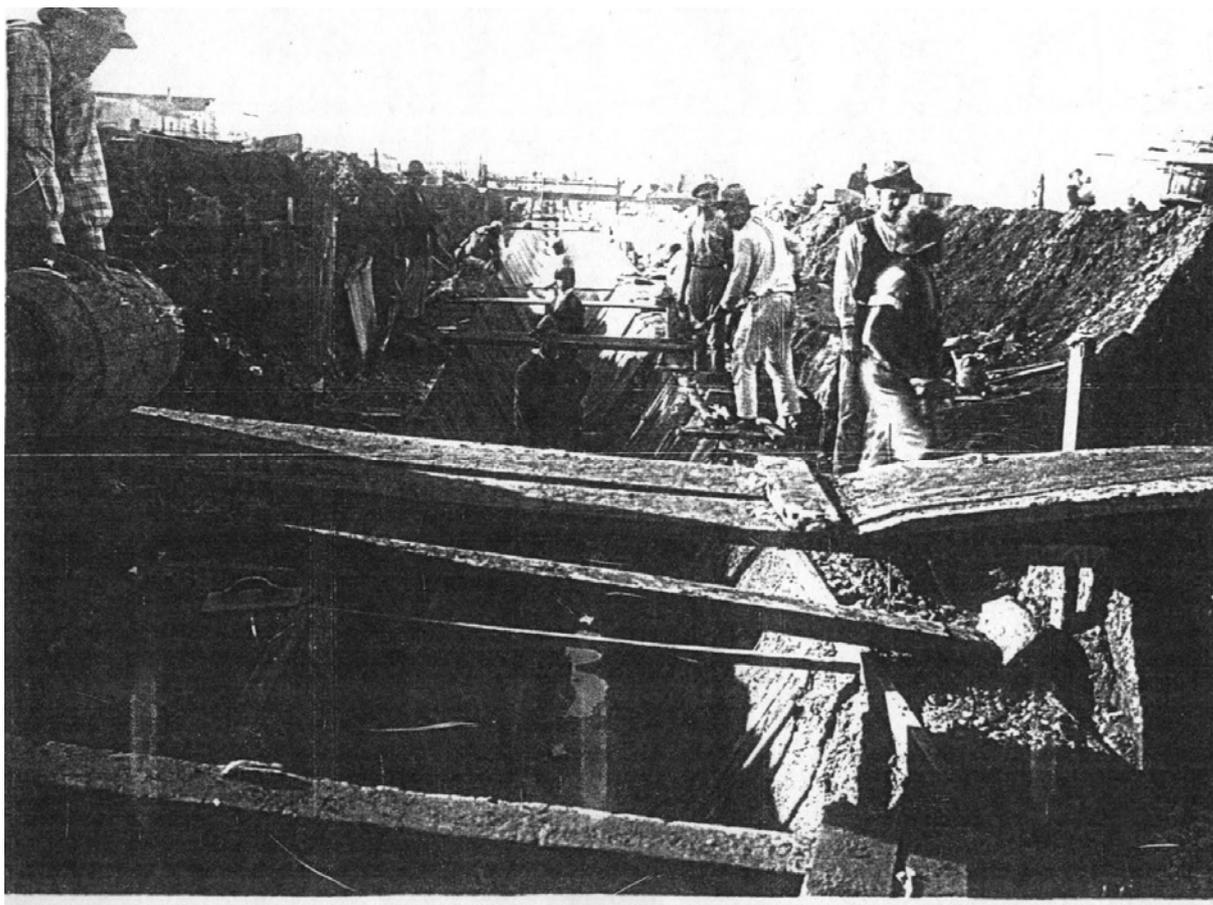
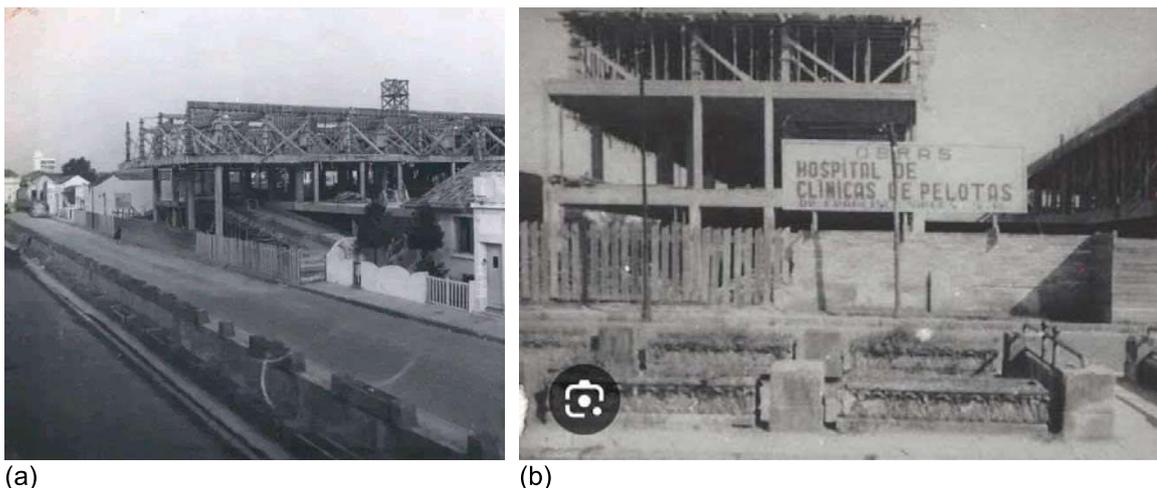


Figura 1 - Fotografia da construção do Canalete da Argolo em 1928.
Fonte: ("CANALETE DA ARGOLO", 2015)

Inicialmente o canalete começava na Rua Marechal Deodoro, esquina Padre Felício (Figura 2), dobrando perpendicularmente na Rua Argolo, vindo a desaguar no Canal do Pepino. No final da década de 60 e início de 70 o trecho na Rua Marechal Deodoro foi fechado, permanecendo apenas na Rua Argolo, a partir da esquina com a Rua Andrade Neves.



(a) (b)
 Figura 2 - Fotografias do Canaleta na Rua Marechal Deodoro
 Fonte: (ANTIGA PELOTAS, 2023)

2.4 Sistemas de Informação Geográfica

A evolução da computação trouxe novas possibilidades de análise estratégica para auxiliar nas decisões. A possibilidade de visualização dos resultados das análises em um mapa facilita a compreensão por parte do analista (MENDES FILHO; VENDRAME; CARVALHO, 2007).

Com o advento do computador houve um grande salto no poder e na forma de realizar processamento em sistemas de informação geográfica (SIG). O SIG consiste em um sistema computacional que reúne um poderoso conjunto de ferramentas para a entrada, armazenamento, recuperação, transformação, análise e representação de dados do mundo real para um conjunto particular de propósitos (SANTOS et al., 2006). Segundo Souza (1999), a tecnologia é construída sobre uma variedade enorme de disciplinas científicas, passando por cartografia, sensoriamento remoto, aerofotogrametria, ciência da computação, estatística, entre outras. Como resultado, o uso de SIG requer amplo conhecimento teórico de processamento de dados digitais e ciência de mapeamento.

Sistemas de Informação Geográfica têm sido utilizados para a geração de banco de dados que funcionam como parâmetros de entrada para os modelos hidrológicos, permitindo, através dessa integração, a manipulação de dados espaciais e servindo como ferramenta de auxílio para a tomada de decisões relacionadas com o planejamento e o ordenamento do território (MELO et al., 2008; MENDES FILHO; VENDRAME; CARVALHO, 2007; SANTOS et al., 2006).

No cenário da drenagem urbana o SIG desempenha um papel fundamental, permitindo integrar e mapear informações detalhadas sobre as estruturas de drenagem, como redes pluviais, canais, dispositivos de captação. Dados como características físicas dos elementos, localização geográfica e histórico de manutenção subsidiam uma gestão eficaz dos sistemas de escoamento baseada em dados. Dessa forma, os responsáveis podem identificar áreas vulneráveis, planejar intervenções de melhoria, programar planos de manutenção preventiva e responder rapidamente a eventos climáticos extremos (ROIZEMBERG BAHIANA et al., 2023).

2.5 Monitoramento Hidrológico

Com o propósito de compilar, consolidar e disseminar dados e informações relacionados à condição qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no território brasileiro, além de manter a constante atualização das informações sobre a disponibilidade e demanda desses recursos em âmbito nacional, bem como de fornecer embasamento para a formulação de Planos de Recursos Hídricos, cabe à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a gestão do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, [s.d.]

A história da gestão pública de recursos hídricos no Brasil teve seu início com a criação, em 1920, da Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas, estabelecida pelo Serviço Geológico e Mineralógico do Ministério da Agricultura (HENKES, 2003). Nesse contexto, o Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE), posteriormente transformado em DNAEE, desempenhou um papel fundamental na estruturação abrangente da Rede de Monitoramento Hidrológico, incluindo sua base metodológica. Ao longo dos 36 anos de atuação do DNAEE (de 1960 a 1996), observou-se um notável crescimento da rede, particularmente entre as décadas de 1960 e 1980, quando a cobertura alcançou aproximadamente 85% da atual extensão (SILVA, 2021).

Desde 1969 o Serviço Geológico Nacional (CPRM) vem operando no sistema, consolidando-se como a instituição mais antiga do país ainda ativa no âmbito da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). No período compreendido entre 1996 e 1999, a coordenação da RHN ficou sob responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), enquanto, a partir de 2000, a ANA assumiu a coordenação das

atividades referentes aos 4.800 postos de medição pluviométrica e fluviométrica sob sua jurisdição em todo o território brasileiro (SILVA, 2021).

O monitoramento hidrológico abrange uma ampla gama de variáveis que são essenciais para a compreensão e a gestão dos recursos hídricos. Dentre as principais variáveis monitoradas destacam-se o nível dos rios, a vazão dos cursos d'água, a precipitação pluviométrica, evapotranspiração, qualidade da água, a temperatura e a sedimentação. Essas variáveis desempenham um papel fundamental na avaliação da disponibilidade de água, no gerenciamento de bacias hidrográficas e na previsão de eventos hidrológicos extremos, como cheias e secas, auxiliando na formulação de políticas públicas e na tomada de decisões relacionadas aos recursos hídricos (PEREIRA; BARBIEIRO; QUEVEDO, 2020).

2.5.1 Instrumentos para Medição de Nível

Os instrumentos para medição de nível são tradicionalmente classificados como linímetros, linígrafos e marégrafos. Linímetros são dispositivos sem registro, representados principalmente pelas réguas limnimétricas, instrumentos extremamente simples produzidos em lances e colocados nas margens de rios ou lagos de forma que exista uma continuidade entre as leituras de um lance para o outro (PEREIRA; BARBIEIRO; QUEVEDO, 2020; SILVA, 2021). De acordo com o Relatório de Instalação de estações Hidrométricas (ANEEL; ANA, 2010), a instalação de seção de réguas limnimétricas visa facilitar o acompanhamento e aferição das informações coletados pelos sensores automáticos, aumentando a confiabilidade das séries de dados coletadas.

Os linígrafos desempenham um papel crucial no monitoramento hidrológico, registrando com precisão as variações do nível ao longo do tempo (MOTA et al., 2017). Podem assumir a forma de boia e contrapeso, onde uma boia conectada a um contrapeso, por meio de um cabo, flutua com o nível da água movendo uma pena que registra um gráfico contínuo. A outra abordagem utiliza a medição indireta, determinando a pressão necessária para injetar gás abaixo da cota desejada na água, sendo proporcional à coluna de água acima da cota de injeção. Sensores de pressão submersos com o cabo contendo uma tubulação para a pressão atmosférica, também são empregados (SOUZA, 2003).

2.5.2 Instrumentos para Medição de Precipitação

Para mensurar e registrar com precisão o volume das precipitações, utilizamos dois instrumentos principais: o pluviógrafo e o pluviômetro. O pluviógrafo desempenha um papel crucial não apenas por registrar a quantidade, mas também a intensidade das precipitações em uma determinada área. Ele relaciona os dados de quantidade com o tempo, possibilitando uma análise mais aprofundada do comportamento das chuvas (BLAINSKI; GARBOSSA; ANTUNES, 2012).

Em contraste, os pluviômetros são do tipo totalizadores, fornecendo apenas a informação do volume total precipitado em um período específico, sem detalhes sobre as características da chuva. No entanto, sua instalação muitas vezes visa assegurar a precisão e a confiabilidade dos dados coletados pelo pluviógrafo em uma estação meteorológica (DO NASCIMENTO et al., 2017).

Esses equipamentos desempenham um papel crucial no controle da drenagem urbana, pois oferecem informações sobre os padrões de chuva em regiões específicas. Ao analisar e compreender o comportamento das chuvas, é possível estudar como essas características afetam os dispositivos de drenagem (PEREZ FILHO et al., 2006) .

A instalação adequada de um pluviômetro é de suma importância, garantindo que o volume de água coletado represente de maneira fidedigna o volume precipitado na região de abrangência do equipamento (BLAINSKI; GARBOSSA; ANTUNES, 2012). Isso contribui para uma coleta de dados eficiente e confiável, essencial para compreender os fenômenos meteorológicos e aprimorar estratégias de controle da drenagem urbana.

3 Material e Métodos

3.1 Delimitação da área de estudo

A área de estudo está situada no centro da cidade de Pelotas, no sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, e é delimitada pelas coordenadas geográficas 31° 46' 34" Sul e 52° 21' 34" Oeste (Figura 3). A cidade apresenta características que desempenham um papel fundamental no contexto da pesquisa. Sua topografia plana, aliada a um lençol freático elevado, torna-a particularmente vulnerável a inundações e alagamentos, especialmente durante períodos de chuvas intensas.

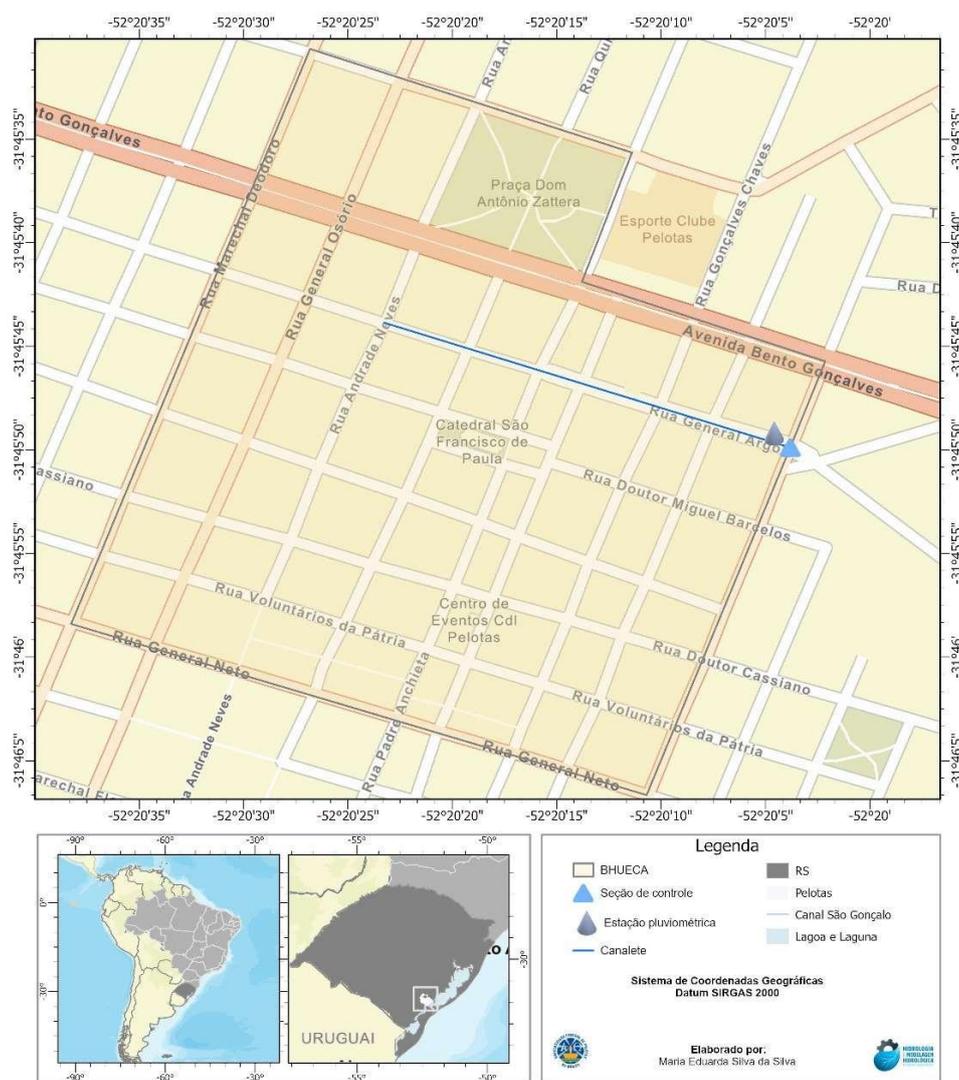


Figura 3 - Mapa de localização do local de estudos.

O clima na região é classificado como subtropical, caracterizado pela ocorrência frequente de eventos meteorológicos extremos que causam variações nos padrões de chuva. Essas condições climáticas estão diretamente relacionadas à localização geográfica da região, situada em uma latitude subtropical que favorece a interação entre massas de ar tropicais e polares (ROSSATO, 2020; WREGE et al., 2012). Essa interação é frequentemente associada à passagem de sistemas frontais e ciclones extratropicais, influenciados pelas correntes de jatos de altos e baixos níveis, conforme destacado por Cardoso et al. (2020). E vem sendo acometida, frequentemente, por chuvas intensas que causam muitos transtornos à população (Figura 4 e Figura 5).



GZH GERAL

TRANSTORNOS NO SUL / NOTÍCIA

Chuva intensa causa alagamentos e bloqueios de vias na região de Pelotas e Rio Grande

Em alguns locais da região foram mais de 100mm de precipitação desde o começo da madrugada desta quinta-feira

07/09/2023 - 23h22min

COMPARTILHE:   

Figura 4 - Reportagem a respeito das chuvas intensas ocorridas na região da cidade de Pelotas.
Fonte: GZH, 2023



Figura 5 - Reportagem a respeito dos grandes volumes de chuva ocorridos na região da cidade de Pelotas.

Fonte: DIÁRIO POPULAR, 2023

A área do Canalete da Argolo foi uma das primeiras do município a ser urbanizada, e, ainda hoje, é uma zona importante economicamente, cerne comercial e de serviços da cidade. Por esse motivo, as cheias do canalete e os alagamentos da região são motivo de preocupação para a população e agentes públicos (Figura 6), tornando o trabalho relevante.



Figura 6 - Fotos de alagamentos e inundações do Canalete da Argolo acontecido em 15/02/2015 (a) esquina da Rua Santa Cruz (b) esquina da rua Andrade Neves (c) esquina da rua XV de novembro (d) pontilhão entre as ruas Andrade Neves e XV de novembro.
 Fonte :GZH, 2015; G1, 2015

Devido à sua topografia predominantemente plana e a presença de um sistema de drenagem artificial, a delimitação da bacia hidrográfica foi conduzida em colaboração com o SANEP. Esta consulta teve como finalidade a identificação das redes de drenagem que direcionam o escoamento para o Canalete da Argolo, mesmo que, do ponto de vista topográfico, algumas delas estejam localizadas fora da área tradicionalmente considerada como zona de contribuição.

3.2 Estabelecimento do monitoramento hidrológico

O monitoramento hidrológico é essencial para acompanhar os processos relacionados ao ciclo da água e as variações nos recursos hídricos de uma determinada região. Para isso, a instalação de estações hidrológicas com instrumentação adequada desempenha um papel crucial na coleta de dados precisos

e confiáveis. Essa importância é ainda maior quando em áreas urbanas, visto que, o monitoramento hidrometeorológico representa um recurso importante para analisar o perigo de inundação e alagamentos em grandes áreas (DOMENEGHETTI et al., 2015; GUERRIERO et al., 2020).

Com essa finalidade foram instalados equipamentos com o objetivo de compor uma estação hidrológica no local escolhido como seção de controle da BHUECA. A instalação envolveu a fixação de um linígrafo, réguas limnimétricas, um pluviógrafo e um pluviômetro do tipo DNAEE.

3.2.1 Linígrafo

Para fazer a coleta de dados de nível d'água do canaleta em intervalos de tempo constantes foi instalado um linígrafo (Figura 7) na seção de controle da BHUECA. O linígrafo é conduzido dentro do canaleta por uma estrutura de metal vazada, projetada para proteger o equipamento sem comprometer a coleta das informações. O cabo do sensor de nível está conectado ao componente central do dispositivo, o qual foi instalado junto aos demais equipamentos no 4º Batalhão da Brigada Militar.



Figura 7 - Sensor de nível instalado na BHUECA
Fonte: Hidromec ([s.d.])

Para registrar os dados um dispositivo armazenador (datalogger) recebe os dados em intervalos regulares de tempo pré-configurados e é alimentado por uma fonte de energia. No contexto da estação em questão a fonte de energia que alimenta

o sistema de registro de dados inclui uma bateria recarregada por painel solar. Esse conjunto pode ser observado na Figura 8.

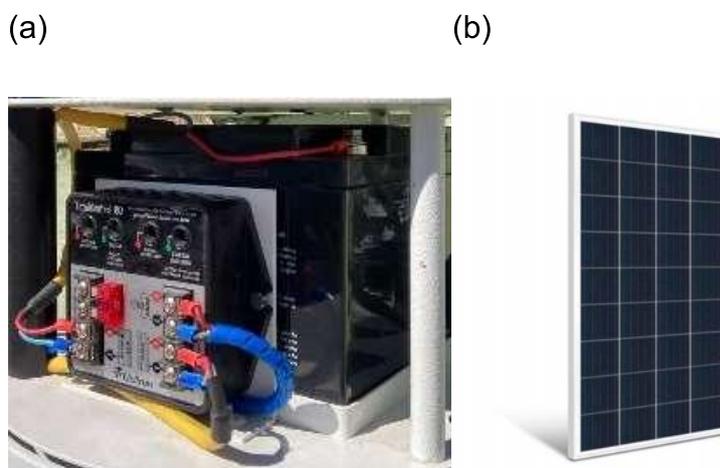


Figura 8 – (a) Datalogger e (b) painel solar instalados na estação da BHUECA
Fonte: (NEOSOLAR, [s.d.])

As informações registradas pelo linígrafo se mostram importantes para estudar os padrões de vazão do canaleta, bem como, associa essas informações com as de volume de chuva, observar o comportamento da estrutura, as intensidades e quantidades de precipitação.

3.2.2 Réguas limnimétricas

A instalação das réguas limnimétricas na seção de controle da BHUECA (Figura 9) envolveu o uso de um nível óptico, instrumento de medição utilizado para determinar a horizontalidade ou verticalidade de uma superfície. Essa metodologia foi utilizada para garantir a correta instalação das réguas em relação a superfície e referenciar as mesmas ao marco instalado anteriormente (Figura 10).

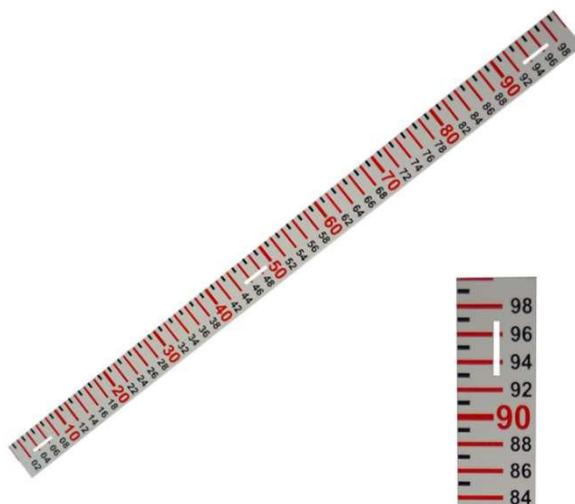


Figura 9 - Réguas limnimétricas instaladas no Canaleta da Argolo
Fonte: Hidromec ([s.d.])



Figura 10 - Instalação das réguas limnimétricas utilizando nível óptico.

Com a linha de visão horizontal estabelecida, as réguas limnimétricas foram instaladas verticalmente e fixadas de forma estável e segura em uma estrutura metálica instalada com a assistência do SANEP, garantindo que permanecessem em posição ao longo do tempo e de maneira que a leitura se tornasse inteligível. É importante garantir que as réguas permaneçam na vertical, pois qualquer inclinação afeta a precisão das leituras do nível da água.

Ao fornecer uma referência visual direta e precisa do nível da água, as réguas permitem a validação e a verificação das leituras registradas, avaliando a confiabilidade dos dados e identificando qualquer possível desvio ou erro nas

medições. Essa verificação é fundamental para assegurar a qualidade dos dados hidrológicos armazenados pelo linígrafo.

3.2.3 Pluviógrafo

No caso da BHUECA, é possível determinar os volumes de chuva que chegam ao canaleta com base nas informações coletadas pelo pluviógrafo, e dessa maneira, relacionar esses dados com os coletados com o linígrafo e analisar os momentos de cheia. Dessa maneira ajudando a determinar a capacidade necessária para garantir o escoamento adequado da água da chuva. Sendo assim, torna-se possível estudar maneiras de amortecer as vazões, prevenindo inundações e permitindo o desenvolvimento de estratégias de adaptação às mudanças climáticas, favorecendo uma melhor gestão dos recursos hídricos e o aumento da resiliência das áreas urbanas frente a eventos extremos.

O pluviógrafo da marca Hidromec (Figura 11) foi instalado na BHUECA, montado no telhado do salão de festas no pátio do 4º Batalhão de Polícia Militar, longe de obstáculos que pudessem interferir na coleta de dados. O local foi escolhido visando a segurança dos equipamentos, bem como a facilidade de acesso ao local da instalação, e proximidade com a seção de controle definida para a bacia.



Figura 11 - Gabinete do pluviógrafo instalado na Estação BHUECA.
Fonte: Hidromec ([s.d.])

O equipamento possui uma área de captação de 400cm², tornando-o altamente eficiente na coleta de informações meteorológicas. Além disso, sua caçamba de basculante dupla possibilita um desempenho confiável e eficaz na coleta de dados, enquanto a sua notável resolução de 0,2mm visa uma medição precisa dos dados de precipitação.

3.2.4 Pluviômetro

O local dos equipamentos foi definido em conjunto, em um espaço de 2,5 metros entre eles, para que a concentração dos índices pluviométricos avaliados fosse condizente, mas que não houvesse interferência entre eles.

O modelo selecionado foi o pluviômetro do tipo DNAEE (Figura 12), desenvolvido pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Este dispositivo é amplamente reconhecido pela sua notável confiabilidade e eficiência no campo do monitoramento hidrológico. O pluviômetro em questão possui uma capacidade de acumulação de precipitação de 200mm e é construído em aço inoxidável. Ele é equipado com peneira, abraçadeiras e proveta em acrílico com 10mm de capacidade. Para otimizar a coleta de dados, uma mangueira com uma torneira foi instalada a uma altura que permite a obtenção do acúmulo de precipitação sem a necessidade do uso de escadas.



Figura 12 - Pluviômetro do tipo DNAEE instalado na BHUECA
Fonte: Hidromec ([s.d.])

3.2.5 Campanhas hidrológicas para medição de vazão

Com o objetivo de obter dados a respeito da vazão e velocidade do escoamento no canaleta foram realizadas campanhas hidrológicas utilizando o método do molinete fluviométrico (Figura 13). A seção utilizada nas medições foi estabelecida próxima a seção de controle da bacia, na ponte da esquina das Ruas General Argolo e Almirante Barroso. Esta escolha se deu com o objetivo de padronizar as atividades.



Figura 13 - Campanhas hidrológicas realizadas no Canaleta da Argolo

Os molinetes utilizados foram o MLN-7C, da marca JCTM para cotas acima de 0,41 metros e o Micromolinete 17247 da marca Hidromec para cotas menores, associados a um contador de pulsos (Figura 14). Após algumas campanhas foi também desenvolvido um guia para auxiliar o grupo de trabalho no desenvolvimento da atividade, onde foram relacionadas as alturas das régua limnimétricas com as alturas das verticais, tornando o processo mais ágil, visto que há uma rápida oscilação no escoamento do canaleta. Por este motivo as campanhas realizadas anteriormente a esse material foram descartadas.

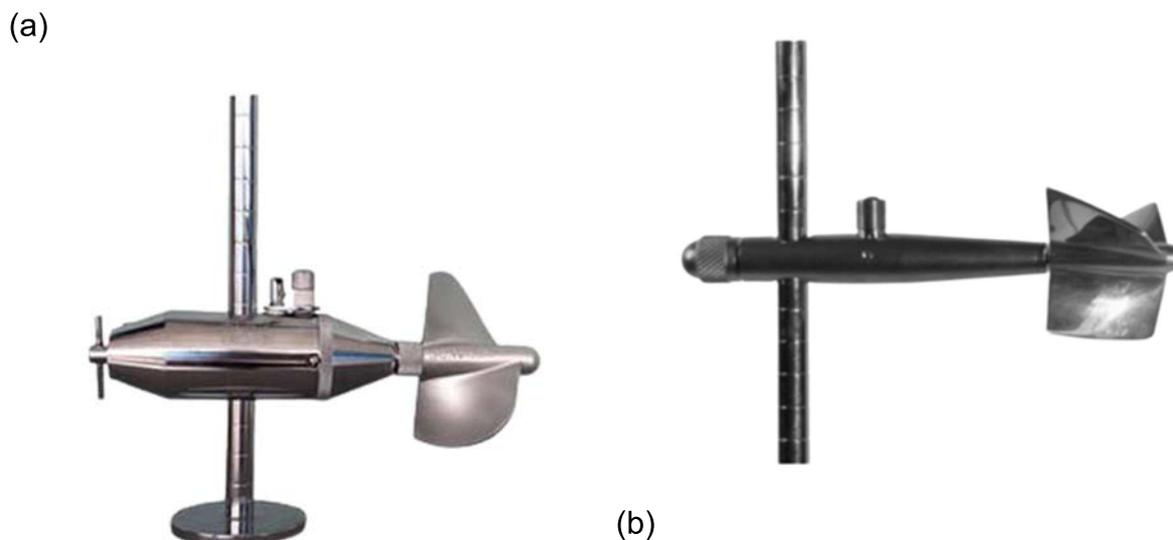


Figura 14 - Molinetes utilizados para as campanhas hidrológicas no canaleta, sendo (a) Molinete MLN-7C e (b) Micromolinete 17247
Fonte: JCTM, [s.d.]; Hidromec, [s.d.]

O número de verticais utilizadas em função da geometria do canaleta foi de 3 verticais para até 69cm de nível d'água e 5 verticais acima desse valor. A metodologia utilizada foi estabelecendo a primeira vertical no centro do canaleta e as demais a 30cm de distância da mesma (SANTOS et al., 2001).

Além disso, o número de pontos e posições relativas em função da profundidade do canal foi de $0,6h$, onde h é a profundidade lida nas régua limnimétrica instaladas na seção de controle. Determinou-se dessa maneira, mesmo com profundidades acima de 60cm tendo em vista a oscilação rápida de nível do Canaleta, não sendo possível a realização da medição em $0,2h$ e $0,8h$ com o mesmo nível para o cálculo das velocidades e vazão (SANTOS et al., 2001).

Para o cálculo de vazão foi utilizado o método de meia seção (Figura 15), onde a integração do produto da velocidade pela área é a vazão do rio. Considera-se que a velocidade média calculada numa vertical é válida numa área próxima a esta vertical que é calculada pela Equação 1 onde o índice i indica a vertical que está sendo considerada; p é a profundidade; d é a distância da vertical até a margem (COLLISCHONN; TASSI, 2010).

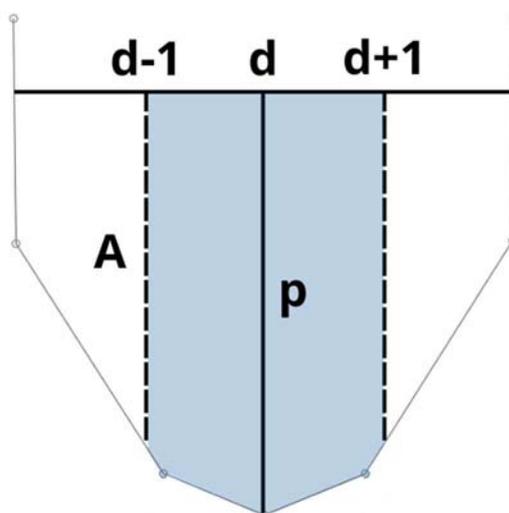


Figura 15 - Representação do cálculo da área para o cálculo da vazão utilizando o método da meia seção

$$A_i = p_i \left(\frac{d_{i+1} - d_{i-1}}{2} \right)$$

A vazão total do canaleta é calculada pela equação 2, onde a velocidade é obtida convertendo o número de rotações registrados pelo aparelho contador de pulsos, calculado a partir das equações dos molinetes.

$$Q = \sum_{i=1}^N v_i \cdot A_i$$

3.2.6 Análise de Eventos Hidrológicos

O download dos dados do monitoramento foi realizado no notebook do Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas, por meio do software disponibilizado pela Hidromec, empresa responsável pelos equipamentos.

Esses arquivos foram então disponibilizados em um serviço de armazenamento e sincronização de arquivos para a gestão dos dados, facilitando a posterior validação e processamento. Com esse monitoramento contínuo, foi possível avaliar diferentes

cenários de resposta da bacia. Além disso, para ilustrar o comportamento chuvavazão da BHUECA, foram conduzidas campanhas hidrológicas.

Para analisar o comportamento do canaleta foram selecionados eventos hidrológicos de diferentes intensidades, durações e frequências. Eles foram selecionados a partir da base de dados criada pelo sistema de monitoramento hidrológico descrito nos itens anteriores.

Para gerenciar os dados de chuva foram utilizados um serviço de armazenamento e sincronização de arquivos para a gestão dos dados, bem como o HEC-DSSVue considerado o excelente desempenho do software descrito por Da Silva et al. (2023) para gerenciamento de redes de monitoramento, visto que foi projetado para trabalhar com variáveis hidrológicas.

3.3 Caracterização topográfica do canaleta

3.3.1 Estabelecimento do marco topográfico

Identificada a necessidade de referenciar os objetos e instrumentos de controle da BHUECA foi estabelecida a instalação de um marco referencial para servir como respaldo para o monitoramento automático do nível de água do canal e para o levantamento planialtimétrico dos dispositivos que serão identificados na bacia.

Para tanto, inicialmente foi escolhido o local em que seria implantado o marco de referência altimétrica, também denominado de Referencial de Nível (RN), da área experimental. A escolha foi baseada na definição da seção de controle para monitoramento do nível de água do canaleta, estabelecida na rua General Argolo esquina com a rua Almirante Barroso, sendo assim a chapa metálica que materializa o RN, foi instalada na parte interna da mureta, conforme ilustrado na Figura 16, de maneira discreta com o objetivo de ficar protegida de possíveis danos ocasionados por vândalos.



Figura 16 - Referência de nível (RN) instalado na mureta interna do Canaleta da Argolo.

A seguir, foi consultada a Monografia de Marcos Geodésicos, documento este produzido em 2020 por uma empresa contratada pelo SANEP em parceria com a Prefeitura Municipal de Pelotas, que descreve o mapeamento de uma rede planimétrica e altimétrica do sistema geodésico e geométrico do Município de Pelotas. A rede conta com 35 marcos, os quais foram analisados a fim de identificar o mais próximo em relação ao local escolhido para implantação do RN, com o intuito de servir como referência para o transporte de altitude. Constatou-se que os marcos M18, M19 e M20 estavam geograficamente próximos ao local e uma visita foi realizada para checar seu estado de conservação, tendo sido escolhido, então, o marco M18 (Figura 17), cuja altitude geométrica é de 3,150 m, visando, além da proximidade, a facilidade no trajeto a ser percorrido no levantamento.



Figura 17 - Marco M18 localizado no canteiro central da Avenida Bento Gonçalves na esquina com a Avenida Ferreira Viana.

Para a realização da atividade foi utilizada a Norma Brasileira (NBR) nº 13.133/2021, que regulamenta a execução de levantamentos topográficos, como

orientação. O método utilizado para obtenção da altitude do RN implantado foi o do nivelamento geométrico (Figura 18), técnica onde a altitude dos pontos visados é determinada de maneira direta com o uso de uma mira vertical, no caso um nível óptico da marca Kolida, modelo KL-32 (Figura 19), com visadas a ré e vante em miras graduadas. Além disso foram utilizadas sapatas, acessórios recomendados pela NBR 13.133 para reduzir erros associados ao posicionamento da mira sobre o ponto topográfico nas leituras de vante e ré.

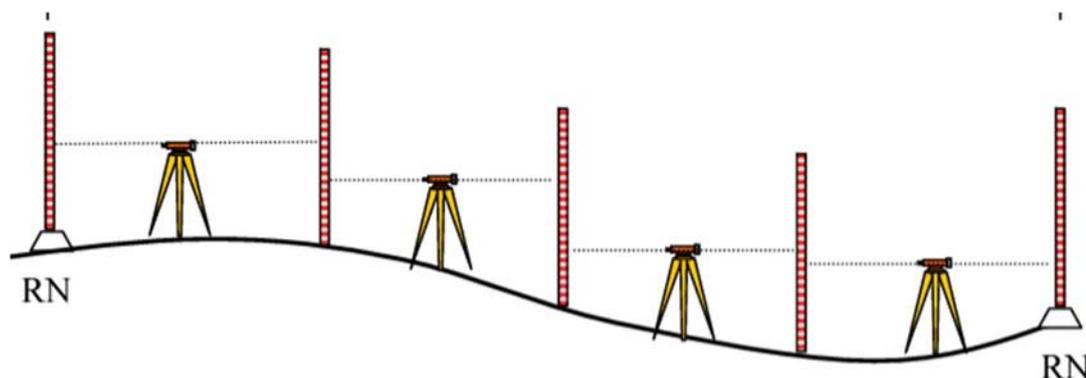


Figura 18 - Representação do método do nivelamento geométrico
Fonte: Veiga et al., 2007.



Figura 19 - Nível óptico KL-32 da marca Kolida utilizado para o levantamento geométrico.

Segundo a norma, para controlar a qualidade do nivelamento geométrico, o procedimento deve ser feito em duas etapas, nivelamento e contranivelamento, utilizando um nível de classe 1 para a finalidade de transporte de altitude ou cota, com visadas máximas recomendadas de 80 m. Dessa maneira é possível a conferência de

possíveis erros cometidos, permitindo analisar a necessidade de novo levantamento ou de correções a serem efetuadas

O rota do levantamento foi definida levando em consideração a visibilidade durante o trajeto, bem como a segurança dos colaboradores em trechos que se adequassem ao indicado pela NBR 13.133. Desse modo o percurso foi pré-definido utilizando a ferramenta Google Maps e indicados pontos intermediários de modo que as visadas de ré e vante fossem equidistantes e não fossem instalados equipamentos em vias, já que, por se localizar no centro urbano, possui grandes níveis de tráfego (Figura 20).

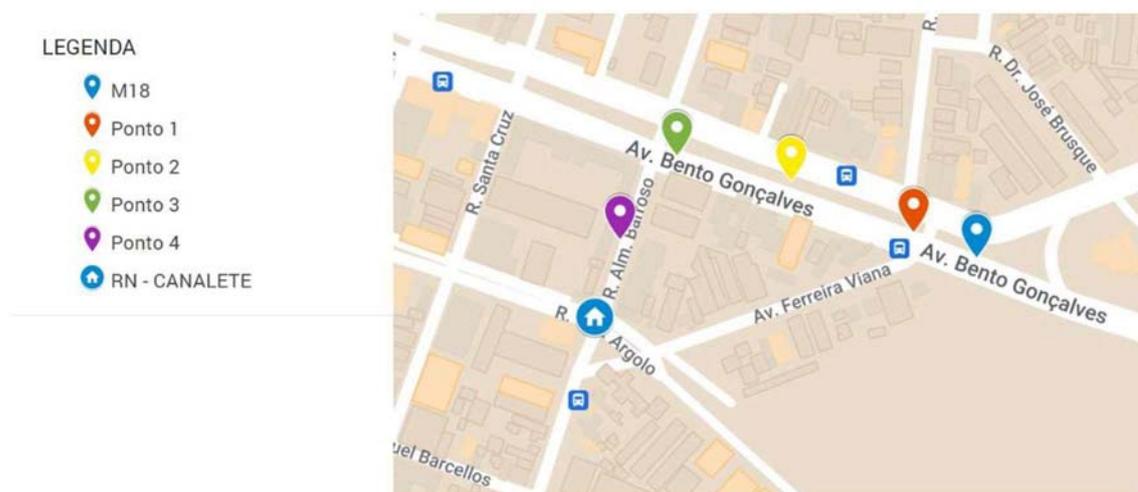


Figura 20 - Rota das estacionadas do equipamento

3.3.2 Perfil longitudinal e seções transversais

Para estudos relacionados a vazão de um canal se faz necessário o conhecimento da sua geometria, tornando possível calcular sua capacidade de armazenamento. A fim de investigar o comportamento da vazão do Canaleta da Argolo se fez necessária a obtenção da seção transversal e longitudinal do mesmo. Para tal finalidade foi realizado um nivelamento trigonométrico que de acordo com a Norma Brasileira (NBR) 13133 é o método que realiza a medição de altura entre os pontos de interesse no terreno, a partir da leitura do ângulo vertical gerado pela linha de visada ao alvo. Com isso a distância dos pontos deve ser calculada a partir das relações trigonométricas que dão nome a metodologia.

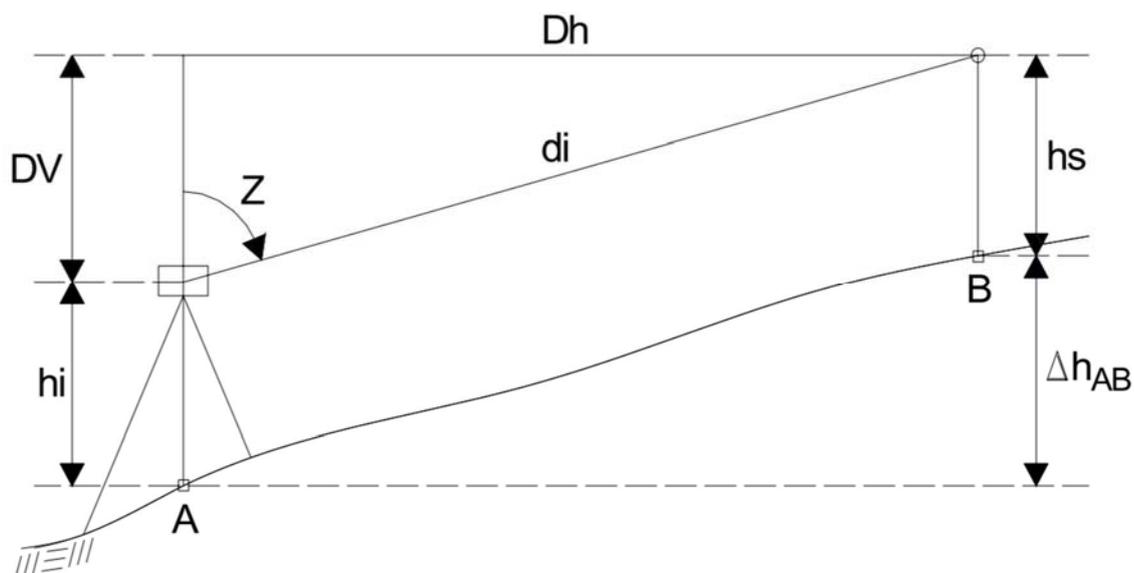


Figura 21- Representação do método do nivelamento trigonométrico
 Fonte: Veiga et al., 2007.

Para descrição transversal do canaleta foram selecionados sete pontos de interesse, definidos visualmente onde este mudava sua geometria (Figura 22 e Figura 23), um em cada uma das bordas (P1 e P7), quatro nas laterais onde ele alterava sua inclinação (P2, P3, P5 e P6) e um no fundo do canal (P4) com o objetivo de, também estudar sua inclinação longitudinal. Foram então coletadas em média três seções em cada quadra, para que se analisasse a área e o perímetro molhado do canaleta para o estudo da vazão.

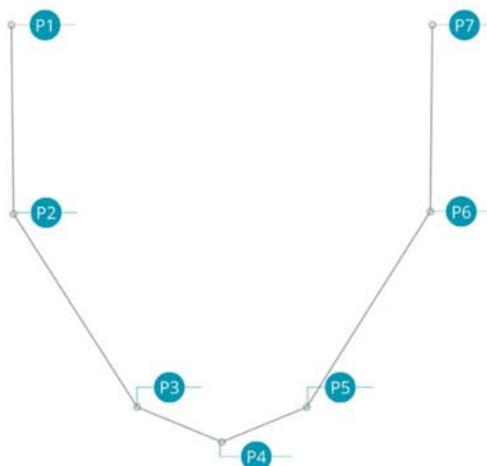


Figura 22 – Representação dos pontos de interesse na seção transversal do canaleta.



Figura 23 - Foto da seção do Canalete da Argolo.

O equipamento utilizado para o levantamento foi a Estação total RTS 102 da fabricante FOIF (Figura 24). A estação possui precisão angular de 2" e distância focal mínima de 1 metro. O levantamento foi realizado com o auxílio de dois bastões com prismas servindo como alvo que eram posicionados nos pontos de interesse (Figura 25).



Figura 24 - Estação total RTS 102 da fabricante FOIF utilizado para o levantamento da seção do Canalete da Argolo.
Fonte: Geocenter, [s.d.]



Figura 25 - Bastão e prisma sendo utilizados para levantamento do ponto de interesse.

3.4 Avaliação da microdrenagem da bacia

3.4.1 Levantamento cadastral dos dispositivos de captação

A área estudada se localiza em uma das áreas urbanas mais antigas da cidade, um espaço já consolidado do ponto de vista urbanístico. Por esta razão todas as vias possuem cobertura do sistema de drenagem pluvial.

A caracterização e o diagnóstico do sistema foram feitos a partir de visitas in loco em toda a área da bacia, a fim de obter registros fotográficos e a localização geográfica das estruturas de drenagem. Essas visitas se deram entre os meses de agosto de 2022 e abril de 2023.

A presença dos dispositivos de captação que contribuem para o Canaleta da Argolo foi um dos principais objetos do levantamento. Esses dispositivos de captação foram cadastrados por meio de uma tabela de atributos (Figura 26), que inclui informações sobre sua localização, classificação (simples, grelha ou combinadas) e

estado de conservação (boa, danificada e/ou obstruída). Além disso, foi registrado o horário de visita para possibilitar a correspondência entre o cadastro e as fotografias.

PPGRH - MESTRADO - BACIA URBANA EXPERIMENTAL - CARACTERIZAÇÃO DE MIDRODRENAGEM - BOCAS DE LOBO											
DATA DA VISITA :											
LOCALIZAÇÃO	TIPO DE BL				CONDIÇÃO ATUAL			DIMENSÕES		HORA DA VISITA	OBS
	COM DEPRESSÃO	COM GRELHA	SIMPLES	COMBINADA	BOA	DANIFICADA	OBSTRUIDA	BL	GRELHA		

Figura 26 - Cabeçalho da tabela de atributos utilizada para o levantamento dos dispositivos de captação.

Após a conclusão das visitas, procedeu-se à realização de uma análise estatística de natureza básica, com o objetivo de avaliar as características observadas.

3.4.2 Levantamento de posição dos dispositivos de captação

Em um contexto em que o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) se consolidou como uma ferramenta crucial para trabalhos de precisão geoespacial, este estudo concentra-se na aplicação do método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) para determinar com precisão as coordenadas dos dispositivos de captação. A crescente confiança na tecnologia GNSS para o mapeamento preciso do espaço urbano destaca a relevância desta pesquisa, especialmente no entendimento da drenagem na área de influência.

O receptor RTK GNSS utilizado é da marca Emlid, modelo Reach RS2+ (Figura 27), notável por sua banda quadrupla que suporta sinais dos sistemas GPS, GLONASS, BeiDou e Galileo. Para viabilizar a utilização do equipamento, foi necessário realizar o download do aplicativo Emlid Flow, utilizado para configurar o dispositivo e salvar os dados coletados. Apesar de ser considerado um RTK GNSS de custo acessível, o Emlid Reach RS2+ demonstrou um desempenho notável na coleta de pontos. De acordo com Valente et al. (2020), a acurácia do dispositivo pode atingir até 94%.



Figura 27 - RTK GNSS Emlid Reach RS2+ utilizado no levantamento de posição dos dispositivos de captação.

Fonte: "Emlid – RTK GNSS/GPS receivers with centimeter accuracy", [s.d.]

A técnica adotada para este estudo foi o Posicionamento em Tempo Real (RTK) com suporte NTRIP, onde apenas o receptor rover é necessário para conduzir o levantamento de campo. Neste método, as correções das observações GNSS são realizadas de forma remota, por meio da internet.

3.4.3 Levantamento cadastral das vias

Ainda com o objetivo de proceder a caracterização dos dispositivos que contribuem para a drenagem da BHUECA realizou-se também a identificação das características das vias que compõem a bacia através de visitas realizadas no mês de setembro de 2023.

Neste procedimento foi utilizado um medidor laser de distâncias digital da marca Bosch modelo GLM 120 C (Figura 28) para realizar o levantamento dos atributos de interesse, os quais incluem além da largura e a inclinação das vias, a inclinação e altura das sarjetas. O equipamento possui uma precisão típica de 1,5mm e 0,2°, considerado adequado para a finalidade do levantamento.



Figura 28 - Trena laser GLM 120 C Professional utilizada no levantamento das sarjetas.
Fonte: ("Bosch Professional", [s.d.]

A caracterização das vias urbanas desempenha um papel fundamental na compreensão e eficiência do sistema de drenagem urbana. Dentre as variáveis cruciais, o tipo de pavimentação viária, a inclinação das vias e a altura dos meios-fios emergem como elementos determinantes no escoamento superficial, impactando diretamente o volume de água a ser gerenciado e a demanda sobre as estruturas de recolhimento de vazões.

A escolha do tipo de pavimentação não apenas influencia a permeabilidade do solo, afetando a taxa de absorção da água, mas também modifica a rugosidade da superfície, impactando a velocidade e a direção do escoamento. Uma pavimentação mais permeável permite uma melhor infiltração, reduzindo o volume de água superficial.

A largura das vias desempenha um papel crucial na capacidade de escoamento de água, influenciando diretamente a quantidade que atinge as sarjetas. Vias mais amplas proporcionam uma maior área de captação de água pluvial, exigindo uma infraestrutura de drenagem robusta para lidar com volumes consideráveis de escoamento.

A inclinação das vias, por sua vez, desempenha um papel duplo. Vias mais inclinadas tendem a acelerar o escoamento superficial, aumentando o volume de água a ser gerenciado. No entanto, essa característica pode ser explorada estrategicamente ao dimensionar a capacidade das sarjetas e dispositivos de captação para garantir uma eficiente condução da água, evitando pontos de saturação. A caracterização precisa das vias, portanto, emerge como um pilar fundamental na gestão inteligente e sustentável dos recursos hídricos urbanos.

3.5 Sistema de Informação Geográfica

A coleta de dados geoespaciais através do receptor GNSS representa um avanço significativo no entendimento da drenagem urbana na região da BHUECA. Com o objetivo de consolidar essas informações, o desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizando o software ArcGIS Pro (ESRI, [s.d.]) como integrador. Este SIG permite a integração de camadas com dados coletados na caracterização dos dispositivos de captação e vias, juntamente com os elementos obtidos durante o levantamento de posicionamento.

Além disso, o software conta com o ArcGIS Hub, uma plataforma poderosa que permite o compartilhamento de dados geoespaciais, colaboração em projetos e envolvimento da comunidade em iniciativas de mapeamento e análise. Sua estrutura é projetada para facilitar a criação de sites personalizados, conhecidos como "hubs", onde os usuários podem acessar e interagir com informações geográficas de forma intuitiva. Ele oferece ferramentas de visualização avançadas, como mapas interativos e painéis informativos, que permitem uma compreensão mais profunda dos dados. Além disso, promove a colaboração ao permitir que diferentes partes interessadas compartilhem recursos, colaborem em projetos e forneçam feedback em tempo real. Com essa abordagem centrada na comunidade e na informação geoespacial, o ArcGIS Hub desempenha um papel fundamental na promoção da tomada de decisões informadas e na resolução de problemas complexos relacionados ao espaço geográfico (ESRI, [s.d.]).

O ArcGIS Hub é utilizado por órgãos governamentais, instituições educacionais e corporações para compartilhar dados abertos e promover iniciativas (ESRI, [s.d.]). Um exemplo notável é o portal de informações geográficas GeoPelotas ("GeoPelotas", [s.d.]), mantido pela Prefeitura Municipal de Pelotas. O GeoPelotas tem como objetivo principal compartilhar o acervo de mapas do município e informações geográficas com a comunidade e outros órgãos da administração municipal.

4 Resultados e discussão

4.1 Estabelecimento do monitoramento hidrológico

A instalação da estação hidrológica de monitoramento teve início em 5 de agosto de 2022, com a colocação das réguas limnimétricas na seção de controle (Figura 29). Os equipamentos automáticos foram posteriormente instalados em 12 de agosto do mesmo ano; contudo, enfrentaram diversos problemas técnicos, resultando em seu pleno funcionamento somente em maio de 2023, nove meses após a instalação inicial.

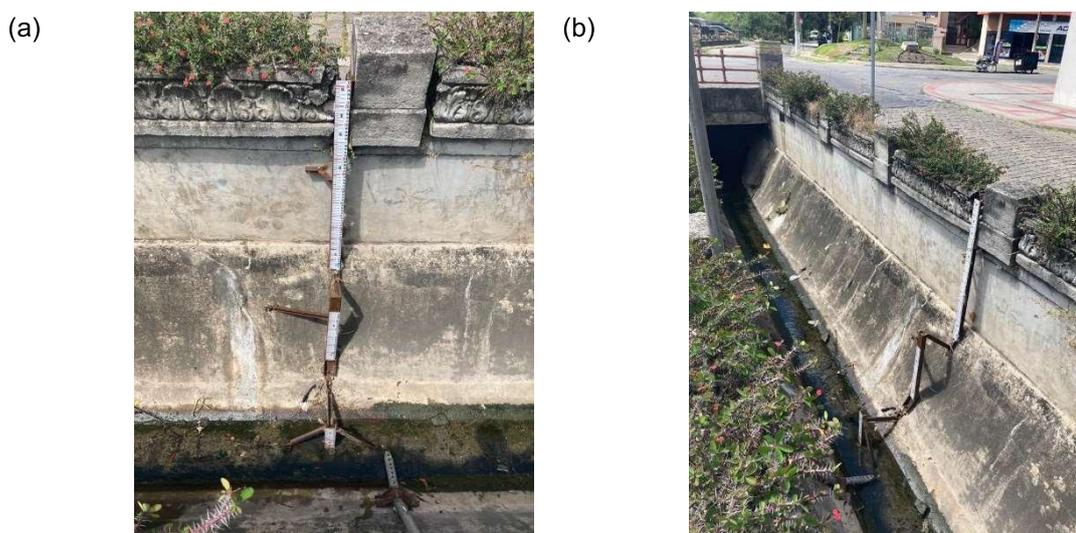


Figura 29 - Réguas limnimétricas da BHUECA instaladas na seção de controle (a) visão frontal (b) visão lateral da estrutura

A estação de monitoramento registra os dados de precipitação e nível do canaleta em intervalos de tempo determinados pelo usuário, no contexto da BHUECA foi estabelecida uma periodicidade de 5 minutos para o lançamento, que ocorre independente da ocorrência de eventos.

Os dados registrados durante o período de funcionamento da estação foram coletados a cada aproximadamente 15 dias, de acordo com a disponibilidade dos integrantes do grupo de trabalho.

4.1.1 Eventos hidrológicos analisados

Com o objetivo de descrever os diversos cenários das respostas hidrológicas na BHUECA, foram escolhidos seis eventos com diferentes intensidades e durações. Dentre esses eventos, dois contaram com dados de vazão coletados em campanhas hidrológicas, visando a correlação com os cálculos obtidos pela curva chave do canaleta. A Tabela 1 proporciona uma análise detalhada das características específicas de interesse para cada evento de chuva em relação à vazão.

Tabela 1 - Caracterização dos eventos empregados na análise de resposta da BHUECA, com destaque para a intensidade média (I_m), duração (D), precipitação total (P_{TOTAL}) e vazão calculada para o canaleta (Q_{calc}).

Evento	Início		Fim		P_{TOTAL} (mm)	D (min)	I_m (mm.h ⁻¹)	Nível (m)	Q_{calc} (m ³ .s ⁻¹)
	Data	Hora	Data	Hora					
1	12/07/2023	10:25	13/07/2023	18:20	116,82	1915	3,66	1,18	3,39
2	25/07/2023	19:10	26/07/2023	9:55	64,02	885	4,34	1,02	2,46
3	07/09/2023	2:45	07/09/2023	22:55	109,34	1210	5,42	1,17	3,33
4	11/09/2023	19:10	12/09/2023	17:35	32,34	1345	1,44	0,63	0,89
5	11/11/2023	04:45	11/11/2023	13:05	47,3	500	5,67	1,33	4,42

Destacam-se, nos eventos 1, 3 e 5, leituras elevadas registradas pelo linígrafo. Esses eventos causaram diversos transtornos para a população, sendo o primeiro associado à passagem de um ciclone extratropical pelo estado do Rio Grande do Sul, que além da precipitação, trouxe ventos fortes à cidade (Figura 30 e Figura 31). O evento 3, por sua vez, é notável por registrar uma precipitação de 8,58mm em apenas 5 minutos de chuva, onde também foram registrados muitos estragos na cidade de Pelotas (Figura 32 e Figura 33).

RIO GRANDE DO SUL 

Ciclone extratropical: cerca de 180 mil clientes ficam sem luz no RS

Cidades mais atingidas na área da CEEE Equatorial são Pelotas (60 mil clientes), Rio Grande (28 mil), São José do Norte (15 mil) e Jaguarão (10 mil). RGE diz que problema mais grave é na Região Norte do estado.

Por g1 RS

12/07/2023 22h35 · Atualizado há 6 meses

Figura 30 - Reportagem sobre o Evento 1
Fonte: (G1 RS, 2023)



Figura 31 - Reportagem sobre o Evento 1
Fonte: (DIÁRIO POPULAR, 2023a)



GZH GERAL

TRANSTORNOS NO SUL / NOTÍCIA

Chuva intensa causa alagamentos e bloqueios de vias na região de Pelotas e Rio Grande

Em alguns locais da região foram mais de 100mm de precipitação desde o começo da madrugada desta quinta-feira

07/09/2023 - 23h22min

COMPARTILHE: [f](#) [t](#) [e](#)

Figura 32 - Reportagem sobre o Evento 3
Fonte: GZH, 2023



DIÁRIO POPULAR ASSINE

GERAL ▾ ZONA SUL ▾ OPINIÃO ▾ POLÍTICA ▾ ECONOMIA ▾ SEGURANÇA ▾ ESPORTES ▾ CULTURA & ENTRETENIMENTO ▾ AGRONEGÓCIOS ▾ SAÚDE ▾ IMOBILIÁRIAS ▾ PUBLICIDADE EDITORIAL ▾

ATUALIZAÇÃO

Acumulado chega a 100 mm e ruas ficam obstruídas em Pelotas

Prefeitura avalia impacto das chuvas e mantém atendimento à população

Figura 33 - Reportagem sobre o Evento 3
Fonte: DIÁRIO POPULAR, 2023b

Apesar desses dados, é possível observar, pelos registros do linígrafo, que a estrutura do canaleta não extravasou, uma vez que a profundidade média do mesmo é de 1,90 m. Há registros do evento ocorrido em 19/02/2015, onde o canaleta ultrapassou sua cota máxima com um volume de chuva de 157,4mm em um período de 24 horas. Vale ressaltar que, de acordo com estudos como o de Gusmão et al.

(2015), precipitações superiores a 145,7mm em 24 horas são consideradas intensas para tempos de retorno de 100 anos no município de Pelotas.

Durante os episódios dos dias 07/09 e 12/09, foram conduzidas campanhas hidrológicas para medição de vazão, cujos resultados estão apresentados na

Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização das medições de vazão realizadas em campanhas hidrológicas utilizadas na análise de resposta da BHUECA. Onde Q_{calc} é a vazão calculada pela curva-chave e Q_{obs} a vazão observada.

Evento	Data	Hora	Profundidade de referência	Q_{calc}	Q_{obs}
3	07/09/2023	16:43	0,48	0,438	0,413
3	07/09/2023	16:56	0,4	0,322	0,355
3	07/09/2023	17:03	0,42	0,299	0,241
4	12/09/2023	10:19	0,32	0,162	0,154
4	12/09/2023	10:42	0,38	0,232	0,219
4	12/09/2023	10:48	0,41	0,301	0,282
4	12/09/2023	11:23	0,44	0,374	0,353

As diferenças entre as vazões calculadas e as observadas podem ser atribuídas à oscilação rápida do nível do canaleta. Identificou-se que em momentos de chuva mais intensa, essa resposta é mais evidente. Para minimizar os erros nas medições de vazão, foi desenvolvida uma metodologia que utiliza réguas limnimétricas instaladas no canaleta, considerando a seção do canaleta já caracterizada, denominada S1.

Foram descritos, conforme os níveis a serem lidos, os locais onde o molinete deve ser colocado e as alturas a serem aplicadas nessas posições. O material foi organizado em tabelas, impresso e plastificado para facilitar seu uso durante as campanhas de medição de vazão.

Entretanto, a seleção dos eventos enfrentou desafios devido à inconsistência dos dados na estação de monitoramento, desde problemas com cabos para download dos dados que causavam desorganização nos registros (Figura 34) até a necessidade de calibração do pluviógrafo (Figura 35). Essa calibração, realizada pelo técnico em hidrologia da Universidade Federal de Pelotas, revelou uma diferença de 0,02mm por basculada, resultando na alteração da taxa de conversão de 0,2 para 0,22mm.

MEDIDA	DATA	HORA	NÍVEL (m)	PRECIPITAÇÃO (mm de chuva)	ACUMULADO (mm de chuva)	FORA DE SEQUÊNCIA
1	24/06/00	10:32	0,00	1187,78	1187,78	
2	24/06/20	10:32	0,00	1187,78	2375,56	
3	24/06/40	14:16	0,00	1187,78	3563,34	
4	24/06/60	14:16	0,00	1187,78	4751,12	
5	24/06/80	10:32	0,00	1187,78	5938,90	
6	01/01/00	00:00	0,00	1187,78	7126,68	X
7	01/01/00	00:00	0,00	1187,78	8314,46	X
8	24/07/12	10:32	0,00	1187,78	9502,24	X
9	24/07/32	10:32	0,00	1187,78	10690,02	X
10	24/07/52	15:16	0,00	1187,78	11877,80	X
11	24/07/72	10:32	0,00	1187,78	13065,58	X
12	24/07/92	10:32	0,00	1187,78	14253,36	
13	24/08/00	14:48	0,00	1187,78	15441,14	X
14	24/08/20	10:32	0,00	1187,78	16628,92	X
15	24/08/40	10:32	0,00	1187,78	17816,70	X
16	24/08/60	14:32	0,00	1187,78	19004,48	X
17	24/08/80	10:32	0,00	1187,78	20192,26	X
18	01/01/00	00:00	0,00	1187,78	21380,04	X
19	01/01/00	00:00	0,00	1187,78	22567,82	X
20	24/09/12	10:32	0,00	1187,78	23755,60	X
21	24/09/32	10:32	0,00	1187,78	24943,38	X
22	24/09/52	10:32	0,00	1187,78	26131,16	X
23	24/09/72	10:32	0,00	1187,78	27318,94	X
24	24/09/92	10:32	0,00	1187,78	28506,72	
25	24/10/00	10:32	0,00	1187,78	29694,50	X
26	24/10/20	10:32	0,00	1187,78	30882,28	X
27	24/10/40	14:16	0,00	1187,78	32070,06	X
28	24/10/60	10:32	0,00	1187,78	33257,84	X
29	24/10/80	14:16	0,00	1187,78	34445,62	X
30	01/01/00	00:00	0,00	1187,78	35633,40	X

Figura 34 - Captura de tela dos problemas encontrados no download dos dados.



Figura 35 - Calibração da báscula do pluviógrafo

Além dos desafios operacionais, o furto das réguas no início do ano de 2024 (Figura 36) também representou um obstáculo, impedindo a realização de medições durante esse período. Essas questões técnicas, somadas às falhas na coleta de dados, comprometeram a análise do comportamento da BHUECA, tornando esse período de inatividade técnica um desafio significativo para a compreensão do seu comportamento hidrológico.



Figura 36 - Registro das réguas furtadas na seção de controle da BHUECA em janeiro de 2024.

4.2 Caracterização topográfica do canaleta

4.2.1 Estabelecimento do marco topográfico

O levantamento foi conduzido utilizando a caderneta de campo, a qual foi posteriormente transcrita para uma planilha digital. Isso permitiu a verificação das leituras realizadas e o cálculo da distância real entre as visadas, assim como a determinação da cota do ponto final desejado.

A Tabela 3 sintetiza as leituras de ré e de vante obtidas durante o nivelamento e contranivelamento, juntamente com as altitudes calculadas para os pontos de vante.

Onde observa-se um aumento na altitude no trajeto entre o M18 e o ponto 4, refletindo a elevação do terreno, onde a Avenida Bento Gonçalves tem um aclive na direção do centro do município. Deste mesmo modo, um declive é perceptível na Rua Almirante Barroso entre a Avenida Bento Gonçalves e a Rua General Argolo, nas altitudes calculadas essa diferença altimétrica se torna ainda mais acentuada visto que o RN foi instalado em uma cota inferior à da via, no interior do canaleta.

Tabela 3 - Síntese das leituras realizadas durante o nivelamento e contranivelamento e altitudes calculadas para os pontos do trajeto percorrido entre M18 e RN

Equipamento	Ré	Leitura na ré (m)	Plano de referência (m)	Vante	Leitura na vante (m)	Altitude na vante (m)
<i>NIVELAMENTO</i>						
1	M18	1,665	4,815	2	1,038	3,777
2	1	2,251	6,028	3	0,410	5,618
3	2	1,919	7,537	4	0,940	6,597
4	3	0,691	7,288	RN	3,615	3,673
<i>CONTRANIVELAMENTO</i>						
4	RN	3,615	7,288	5	0,696	6,592
5	4	0,970	7,562	6	1,951	5,611
6	5	0,429	6,04	7	2,303	3,737
7	6	1,077	4,814	M18	1,664	3,150

O resultado do levantamento expos que a altitude do RN calculada no nivelamento foi de 3,673m. Enquanto no contranivelamento a altitude do M18 calculada foi de 3,150m, demonstrando que não houve erro significativo cometido, tendo em vista o erro identificado foi de $4,4 \cdot 10^{-13}$ mm em uma distância total de 669,8 m. Não havendo, desta forma necessidade de avaliar o erro tolerável e desta maneira proceder com a correção de altitude do RN.

Este cenário ganha relevância sobretudo diante das condições climáticas adversas, caracterizadas por ventos intensos durante a execução do levantamento. E pode ser atribuído a diversos elementos, entre os quais destaca-se a natureza do equipamento, recém-adquirido no momento do levantamento tendo passado por um processo de calibração em 26/05/2022, apenas 15 dias antes da execução do levantamento, bem como a utilização de sapatas, recomendadas para levantamentos de precisão e devem ser destacados como influentes no êxito do transporte de altitude

e o engajamento e foco dos colaboradores na atividade que também desempenharam um papel significativo no resultado obtido.

4.2.2 Perfil longitudinal e seções transversais

Com base nos dados obtidos através do levantamento trigonométrico utilizando a estação total (Figura 37) foi possível modelar o perfil longitudinal e as seções transversais do canal de drenagem artificial.



Figura 37 - Fotografia da realização do levantamento do perfil longitudinal e das seções transversais do Canaleta da Argolo

Na Figura 38 é possível analisar o perfil longitudinal do canaleta que possui um desnível de 2,17 metros em 526,13 metros de extensão. O que resulta em uma inclinação média de 0,41% que sugere um canal com uma inclinação suave, podendo resultar em um fluxo mais lento da água, sendo a explicação para o acúmulo de sedimentos no fundo do canal e a manutenção de uma lâmina de água frequente. Segundo Loner, Gill e Magalhães (2017) essa foi uma questão levantada pela população desde a concepção do canaleta em 1917, Saturnino rebateu as críticas que afirmavam que galerias seriam mais convenientes, afirmando que as mesmas ocasionavam obstruções e que a inclinação do canaleta era suficiente para manter o

escoamento necessário. O que foi posteriormente comprovado, visto que, ainda segundo o documento, foram feitas medições durante os períodos de precipitação atestando a eficácia da drenagem.

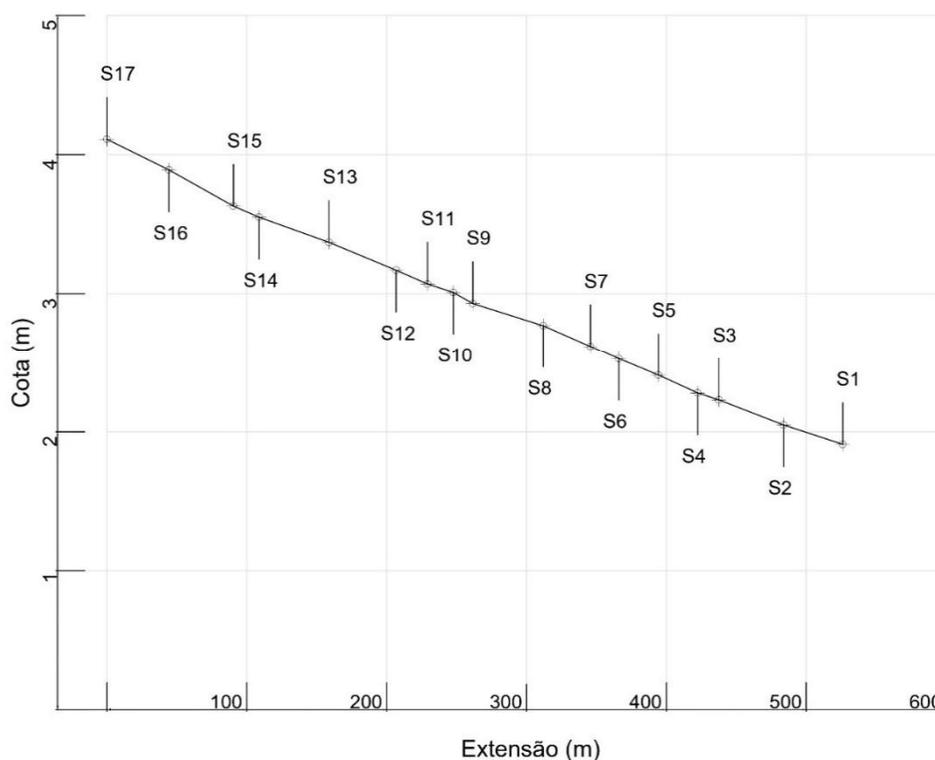


Figura 38 - Representação do perfil longitudinal do fundo do Canaleta da Argolo

Além disso, essa declividade tem sua explicação pela área do canaleta e o volume de água a ser escoado pelo mesmo, visto que uma declividade maior resultaria em uma velocidade ainda maior do fluxo, podendo causar danos a estrutura dele, bem como a sua jusante. Foram caracterizadas 17 seções transversais, onde pode-se constatar que a geometria do canaleta é constante, conforme demonstrado na Figura 39.

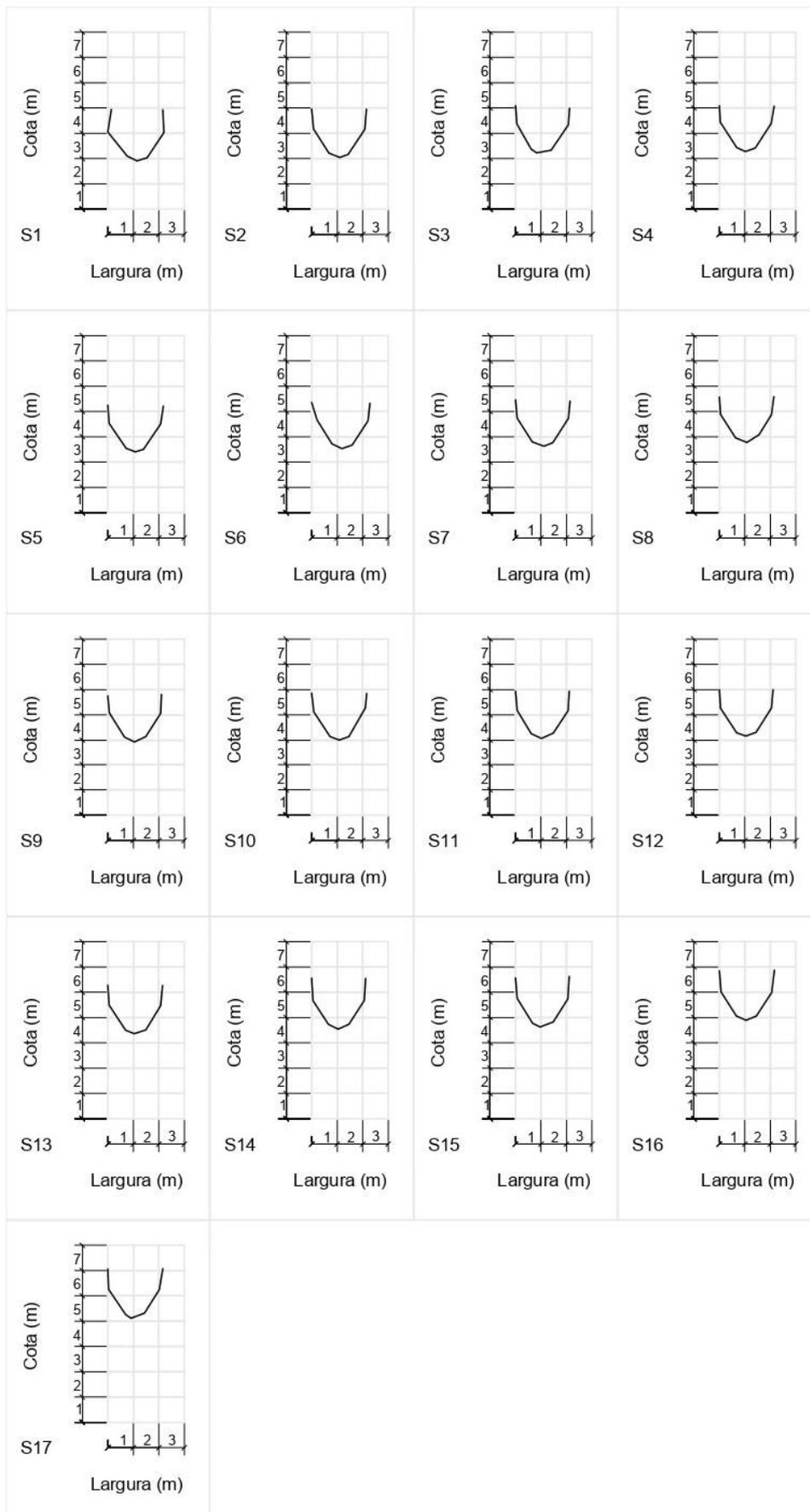


Figura 39 - Representação das seções levantadas no Canaleta da Argolo

Foi observada uma área média de $2,98\text{m}^2$, sendo a seção com a maior área a S1, localizada na esquina da rua Andrade Neves, enquanto a de menor área ($2,78\text{m}^2$) foi a seção S4, localizada na esquina da XV de Novembro. Essa variação a respeito das áreas pode ser explicada pelo posicionamento das balizas com prisma no momento do levantamento, porque alguns dos pontos de interesse determinados eram de difícil acessibilidade devido a algumas plantas com espinhos presentes nas floreiras (Figura 40) do Canaleta da Argolo, bem como danos a sua estrutura.



Figura 40 – Mosaico de fotos das floreiras do Canaleta da Argolo que possuem vegetação que impedem o acesso ao seu interior (a) esquina da rua Andrade Neves (b) esquina da rua Gonçalves Chaves (b) durante o levantamento topográfico na esquina da rua Santa Cruz (S3).

A profundidade do canaleta também possui flutuação, de 1,79, na seção S8 (localizada entre as ruas Gonçalves Chaves e Félix da Cunha), até 2,28m na seção S17, na esquina da rua Almirante Barroso. Além dos possíveis desvios ocorridos pelo levantamento é possível que essas divergências já fossem previstas em projeto por Saturnino de Brito, devido a alguma particularidade desses locais. Infelizmente não

foram encontrados os projetos originais do Canaleta em nenhum dos órgãos procurados.

4.3 Avaliação da microdrenagem da bacia

4.3.1 Levantamento cadastral dos dispositivos de captação

Durante o extenso levantamento cadastral realizado nas 17 ruas que compõem a BHUECA foram listados 295 dispositivos de captação, também conhecidos como bocas de lobo, em área de aproximadamente 1,5km². A classificação se tratando do gênero apresentou a predominância de estruturas do tipo simples, com 53%, enquanto 29% eram do tipo grelha, e 18% eram do tipo combinada. Esta diversidade tipológica representada na Figura 41 revela a complexidade da infraestrutura de drenagem na região e pode ser visto como reflexo das intervenções em diferentes épocas, onde a visão da drenagem urbana foi modificada.

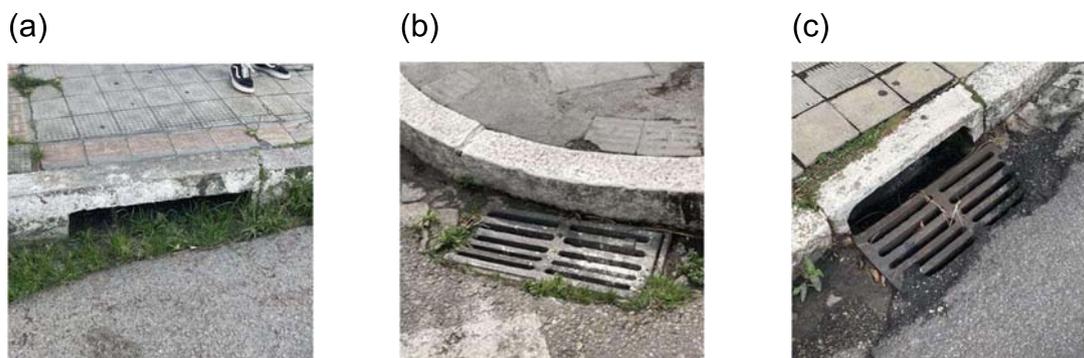


Figura 41 - Representação dos gêneros dos dispositivos de captação encontrados na BHUECA, sendo (a) simples, (b) grelha, (c) combinada.

Ao avaliar o estado de conservação, cujos exemplos podem ser visualizados na Figura 42, constatou-se que 171 dispositivos de captação estavam em bom estado, 58 apresentavam obstrução de resíduos sólidos ou vegetação, 39 tinham sua estrutura danificada e 27 estavam danificadas e obstruídas, indicando a necessidade de intervenções para preservação e eficiência.

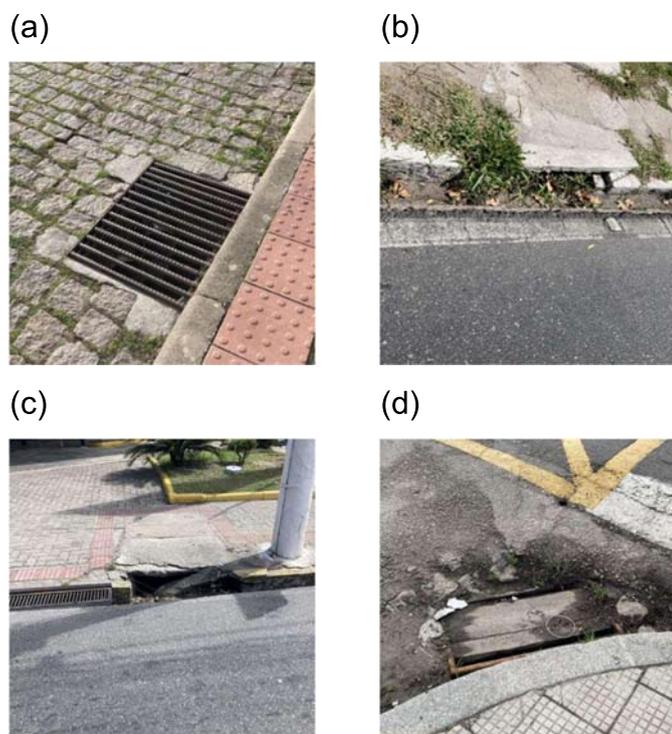


Figura 42 - Representação de dispositivos de captação encontrados na BHUECA sendo (a) em boas condições (b) obstruídas (c) danificada (d) danificada e obstruída.

Conforme evidenciado na análise percentual, ilustrada na Figura 43, constatou-se que 42% dos dispositivos de captação na BHUECA apresentam algum tipo de problema. Para solucionar essas questões, foi desenvolvida uma relação dessas estruturas com suas condições e localizações no formato do “Relatório diagnóstico da situação dos dispositivos de captação localizados na Bacia Hidrográfica Experimental Urbana – Canaleta da Argolo” (Figura 44), entregue ao SANEP, órgão responsável pela drenagem urbana do município, onde o mesmo, em cooperação iniciou a manutenção considerando diferentes prazos temporais para as intervenções necessárias.

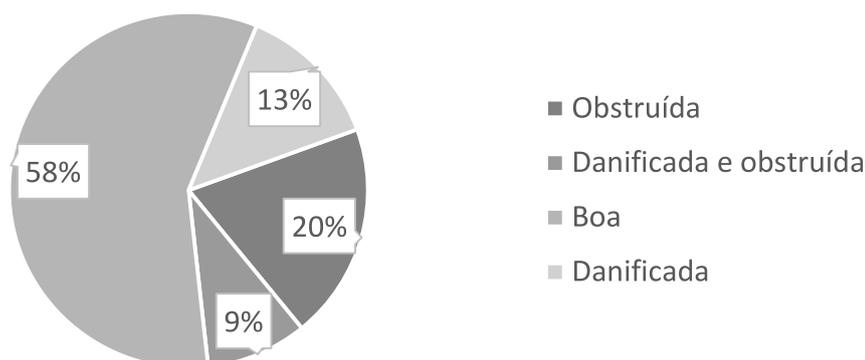


Figura 43 - Análise percentual das condições de preservação dos dispositivos de captação da BHUECA.



Figura 44 - Relatório diagnóstico da situação dos dispositivos de captação localizados na BHUECA entregue ao SANEP.

A análise de localização foi conduzida mediante a associação do levantamento cadastral com o levantamento de posição realizado por meio do RTK GNSS. Esse último revelou padrões notáveis, destacando uma concentração significativa de dispositivos de captação em áreas específicas, como a Avenida Bento Gonçalves e a Rua General Osório, ambas submetidas a requalificações no período compreendido entre os anos de 2015 e 2019 (FOLHA, 2016, 2017). Tais obras foram implementadas, em parte, com o intuito de aprimorar o sistema de drenagem pluvial na região.

4.3.2 Levantamento de posição dos dispositivos de captação

Além disso, o mapeamento georreferenciado revelou padrões distintos relacionados aos dispositivos de captação. Na Figura 45, é possível observar as

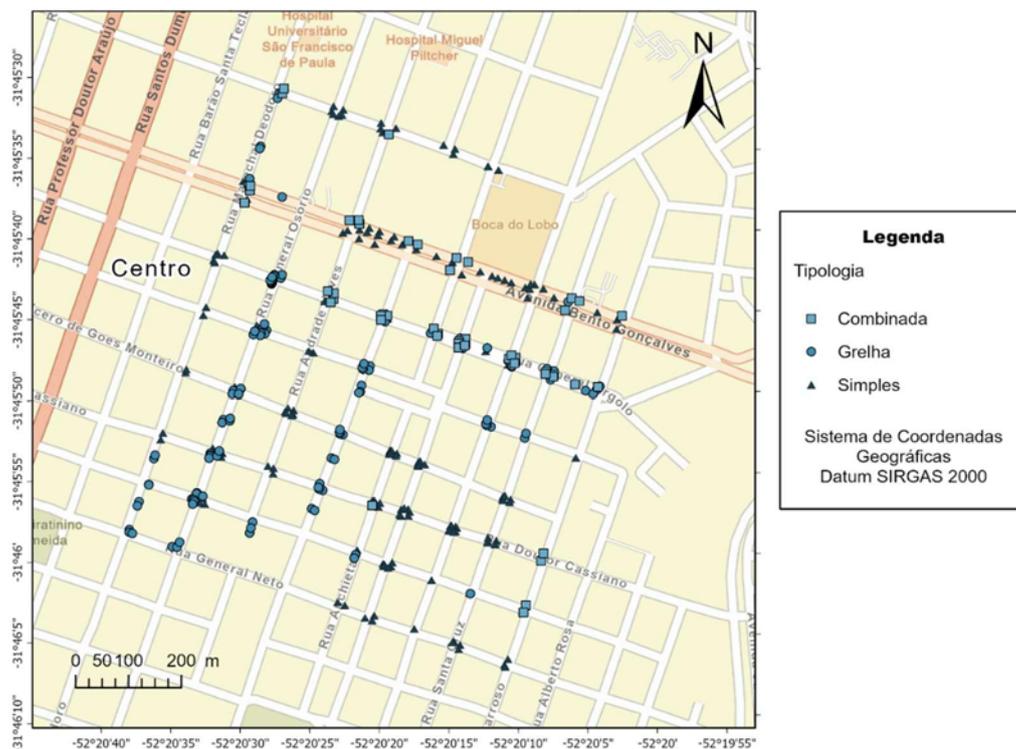


Figura 46 - Mapa representativo dos tipos de dispositivos de captação da BHUECA.

Em relação às demais vias, observou-se uma variedade tipológica significativa, que provavelmente decorre das alterações realizadas em diferentes épocas. Tais mudanças podem ter sido conduzidas por diferentes responsáveis técnicos, cada um com suas preferências individuais. É importante destacar que não é possível classificar essas variações como melhores ou piores, uma vez que refletem as necessidades específicas de cada contexto urbano e as práticas vigentes à época das intervenções.

A respeito do estado de conservação percebe-se um grande volume de dispositivos de captação danificados e obstruídos na Avenida Bento Gonçalves (Figura 47), essa averiguação pode ser explicada pela presença de árvores da espécie *Grevillea Robusta* que apresentam raízes avantajadas que geralmente se estendem lateralmente em vez de mergulhar profundamente no solo, em contextos urbanos danificando não apenas os dispositivos de captação como também calçadas, pavimentos e tubulações. Por esse motivo não são recomendadas para ruas como essa, que é uma importante via coletora do município (BARCELLOS et al., 2012; FARROUPILHA, 2019; JÚNIOR, [s.d.]).

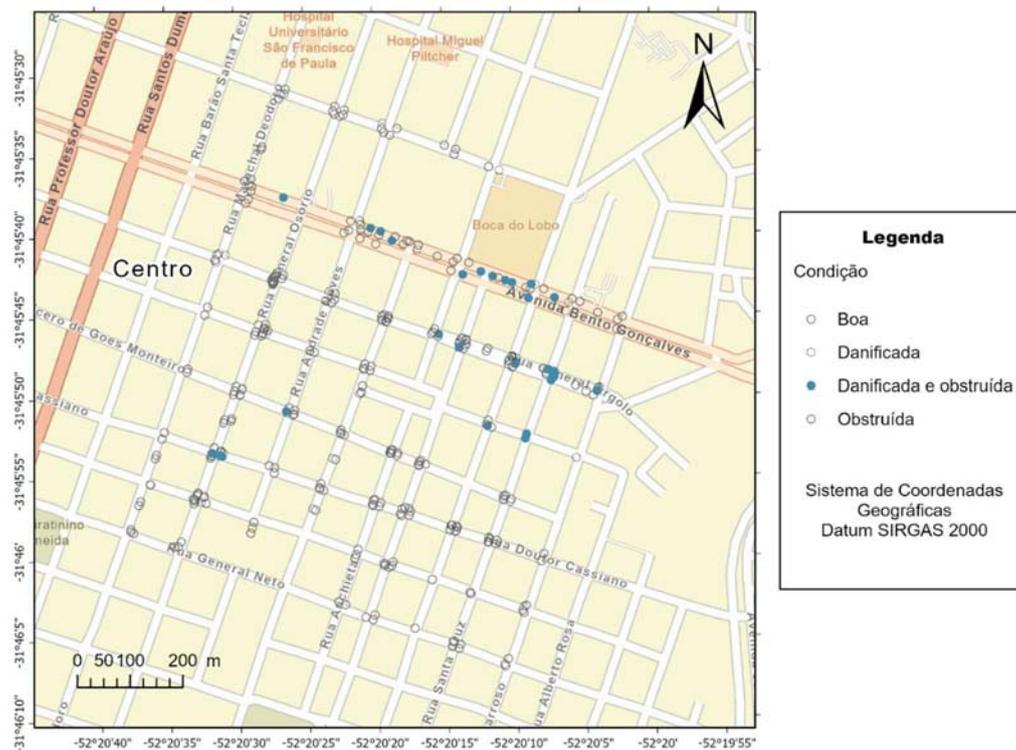


Figura 47 - Mapa representativo dos dispositivos de captação danificados e obstruídos na BHUECA.

Já os dispositivos de captação classificados como danificados não apresentaram um padrão de distribuição espacial, foram observados em vários locais como pode ser constatado na Figura 48. As bocas de lobo obstruídas também apresentam uma variação espacial, contudo se faz necessária uma análise de distinção entre as que apresentaram obstrução por resíduos sólidos e as que apresentam obstrução por vegetação, visto que esse estudo não caracterizou essa particularidade.

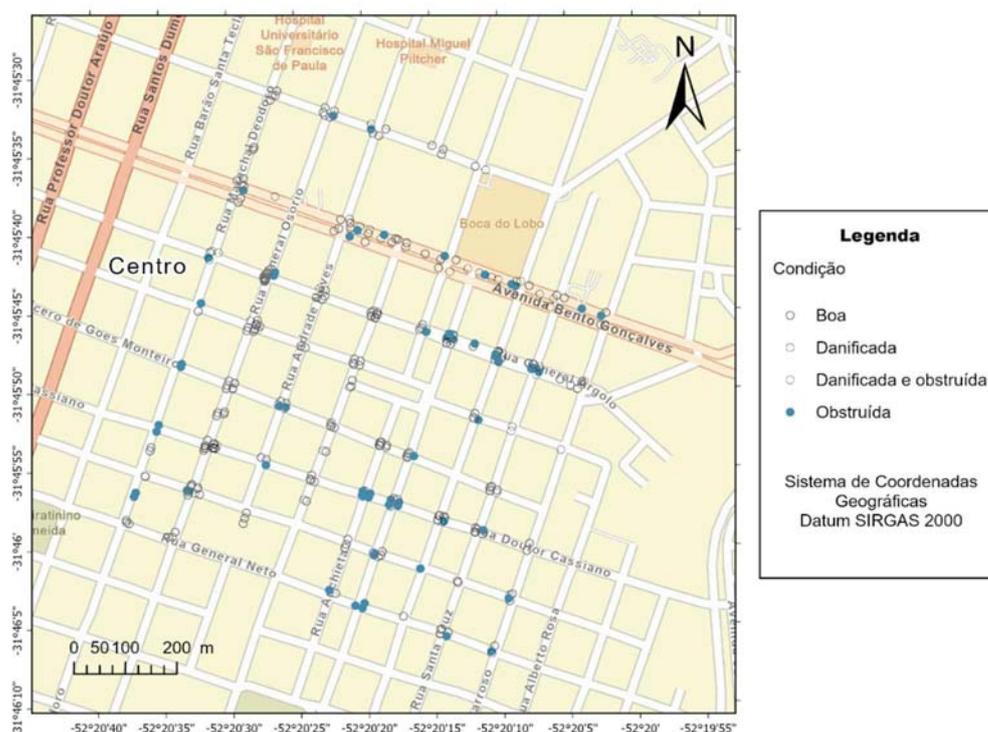


Figura 48 - Mapa representativo dos dispositivos de captação obstruídos na BHUECA.

Além disso é possível constatar uma grande relação, sendo a maior parte dos dispositivos de captação com problemas sendo do tipo simples, 71% da obstruídas, 59% da danificadas e 56% das danificadas e obstruídas. Essa observação destaca a importância de avaliar intervenções específicas nesse tipo de estrutura, visando prevenir potenciais problemas relacionados à drenagem pluvial no futuro.

4.3.3 Levantamento cadastral das vias

A região abrangida pela BHUECA foi uma das primeiras áreas urbanizadas na cidade de Pelotas, conforme apontado por Xavier (2010). O padrão de arruamento em forma de tabuleiro ao redor da atual Catedral São Francisco de Paula tornou-se distintivo no centro do município.

Apesar do planejamento inicial, as vias não seguem um padrão uniforme de largura. A análise revelou uma variação média de largura, indo de 5,24m (na rua Major Cícero) a 14,80m (rua Almirante Barroso). Das 18 vias examinadas (a Avenida Bento Gonçalves foi dividida em duas, lado sul e lado norte para fins de análise), totalizando mais de 11km, 61% apresentam pavimentação asfáltica, caracterizada por um coeficiente de escoamento de 0,95 (ARAÚJO; TUCCI; GOLDENFUM, 2000). Essa

pavimentação desempenha um papel significativo no escoamento superficial direcionado para o sistema de coleta de águas pluviais da BHUECA. Mesmo nas restantes 49% das vias, cujos pavimentos são predominantemente de paralelepípedos e blocos de pedra irregulares, os coeficientes de escoamento são de 0,60 e 0,50, respectivamente.

A altura das guias de calçada, conhecidas como meio-fio, também desempenha um papel crucial na prevenção de alagamentos, influenciando a área de escoamento das sarjetas e considerando a capacidade de descarga, bem como o conforto do pedestre. Na BHUECA, observa-se uma variação dessas alturas, variando de pontos com altura inferior a 3cm, onde as limitações da trena laser impossibilitaram a leitura, até pontos com meio-fio de 37cm. Na Figura 49 pode ser observada um mapa com as médias das alturas, onde fica evidente essa desigualdade.

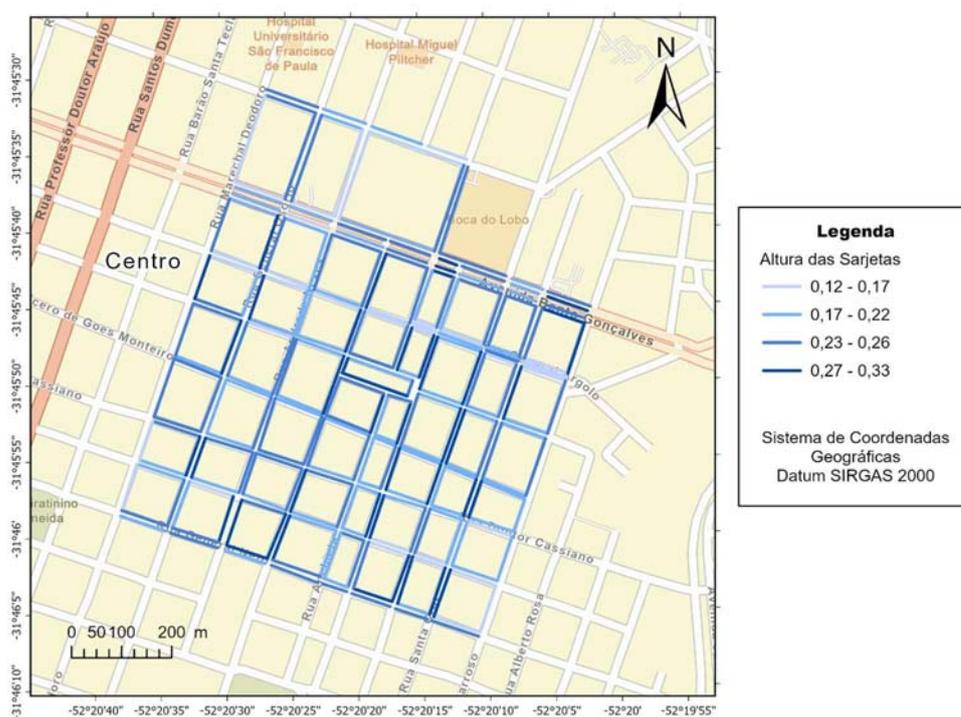


Figura 49 – Mapa representativo das alturas de sarjeta média da BHUECA.

A diversidade observada pode ser atribuída à história da área, uma vez que, na época da concepção das vias no século XIX, as carroças eram o principal meio de transporte, e as calçadas eram projetadas com uma altura avantajada visando a comodidade dos passageiros. No entanto, com a modernização e a crescente

demanda por pavimentação asfáltica, essa intervenção foi realizada sobre a estrutura já estabelecida, sem alterações nas alturas das guias. Como resultado, as alturas dos meios-fios foram gradualmente reduzidas em alguns pontos, contudo os meios-fios altos ainda fazem parte da arquitetura da cidade como é possível analisar na Figura 50.

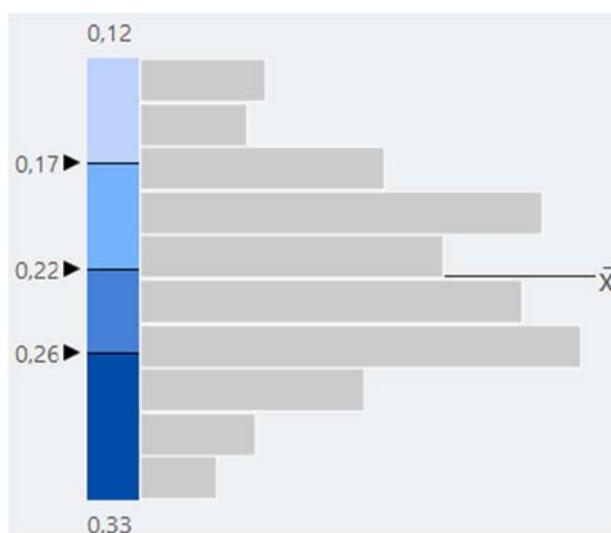


Figura 50 - Histograma das alturas de sarjeta

4.4 Sistema de Informação Geográfica

Todas as informações coletadas a respeito da caracterização da microdrenagem foram inseridas no software ArcGis Pro. Nesse ambiente foi possível observar a ocorrência espacial das características e analisar os pontos relevantes. Além disso, o software conta com uma plataforma de envolvimento da comunidade, ArcGIS Hub. Com a finalidade de publicar e compartilhar os dados foi desenvolvido um hub que promove a integração dos dados da microdrenagem e suas análises, para que dessa forma o acesso a essas informações seja facilitado (Figura 51).

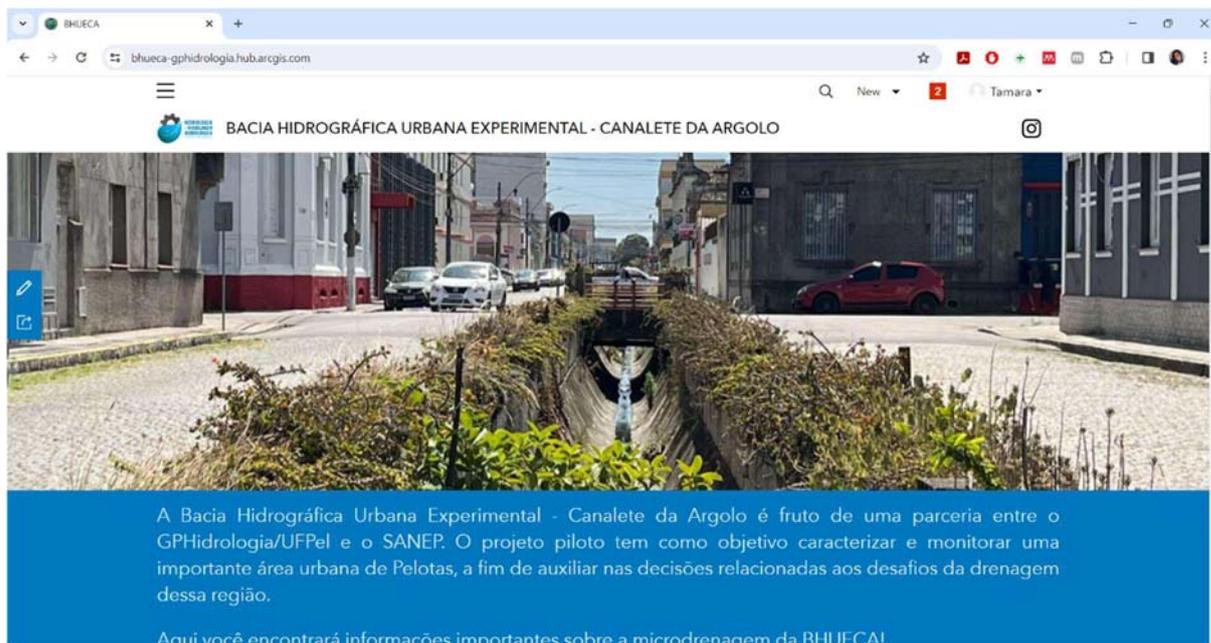


Figura 51 - Página inicial do Hub.

Nesse hub foi inserido um mapa (Figura 52), por meio de uma aplicação, onde o usuário pode ativar as camadas de acordo com o seu interesse, sendo elas categorizadas como “Altura das Sarjetas”, “Tipologia” e “Condição”, as duas últimas a respeito dos dispositivos de captação. Facilitando assim a análise da ocorrência de cada uma das características citadas.

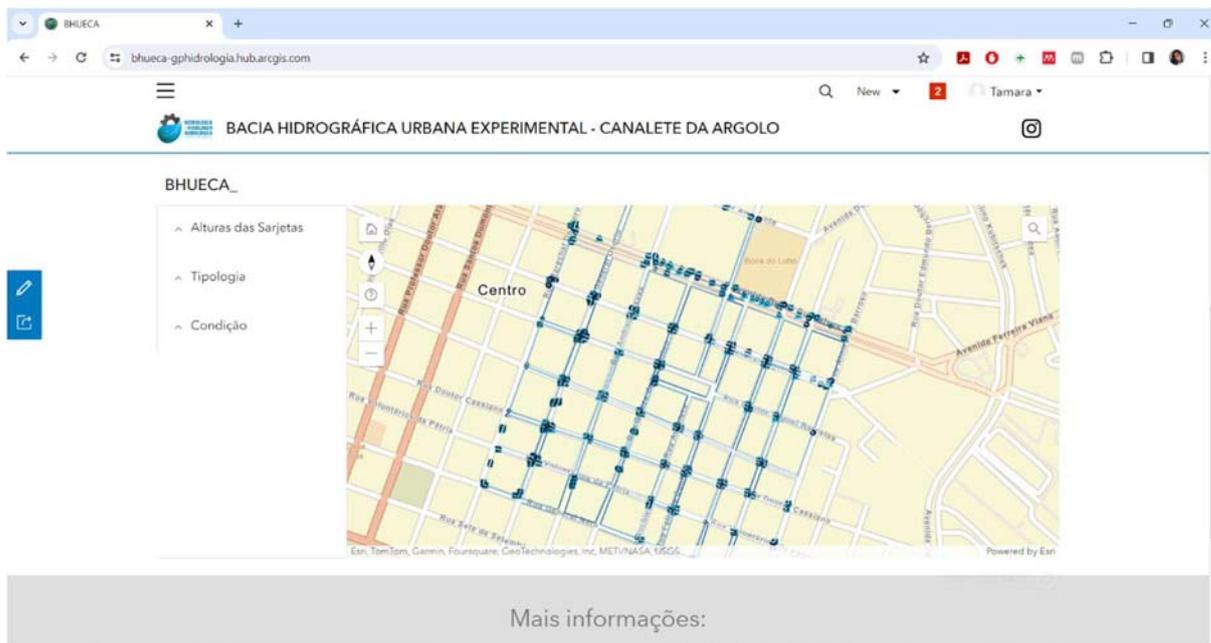


Figura 52 - Mapa no hub com todas as camadas ativas.

Além disso, ao clicar nos objetos é aberto um pop-up, contendo informações como a descrição da localização, dimensões, tipologia e condição dos dispositivos de captação, elevação, bem como uma foto feita no dia da visita.

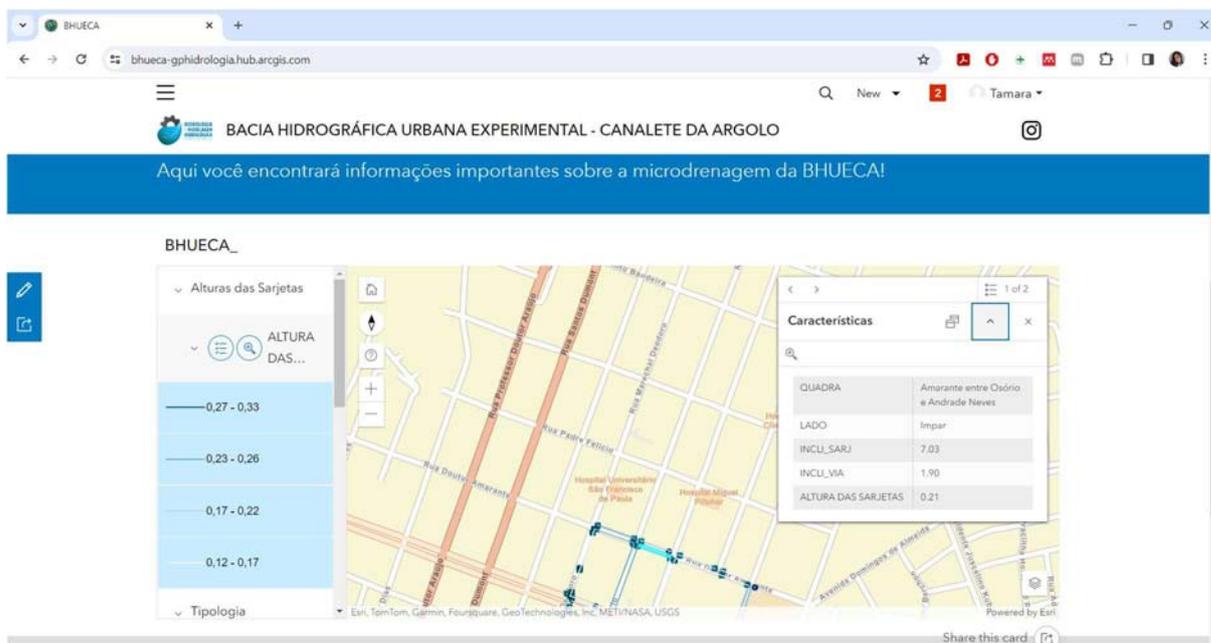


Figura 53 - Mapa no hub com tabela de atributos

Além dos órgãos gestores, essas informações estão disponíveis para a sociedade em geral, permitindo o acesso a dados essenciais sobre a drenagem local. Isso não só possibilita que as pessoas obtenham referências ou informações necessárias, como a prevenção de obstruções nas saídas de garagem de empreendimentos em locais com dispositivos de captação, mas também auxilia na manutenção desses dispositivos. Além disso, esses dados de alta confiabilidade podem ser utilizados para determinar o posicionamento de elementos em obras, garantindo uma melhor eficiência na execução dos projetos.

5 Considerações Finais

Refletir sobre os resultados obtidos na caracterização BHUECA revela não apenas um panorama detalhado do sistema de recolhimento de águas pluviais, mas também destaca a importância de abordagens abrangentes no entendimento e na gestão dos recursos hídricos urbanos.

O estabelecimento do monitoramento hidrológico e a análise de eventos proporcionaram uma visão dinâmica e contextualizada dos padrões de fluxo de água na região e demonstraram que o sistema está dimensionado de maneira adequada para precipitações como as demonstradas, visto que o sistema não colapsou e o canaleta não ultrapassou sua cota máxima, embora haja histórico de transbordamento.

Apesar dos problemas com a estação de monitoramento hidrológico foi possível traçar um padrão de comportamento da BHUECA diante de alguns eventos de chuva, bem como compreender que os dispositivos de drenagem que compõem o sistema tiveram um dimensionamento adequado.

A caracterização topográfica do canaleta, ofereceu uma base sólida para a compreensão das suas características, os perfis longitudinais e seções transversais do canaleta adicionaram profundidade à compreensão da dinâmica do curso d'água e associado as medições de vazão e controle de precipitações, auxilia a promoção de previsões de extravasamento e proposição de melhorias.

A avaliação da microdrenagem, através do levantamento cadastral e de posição dos dispositivos de captação, bem como o levantamento cadastral das vias, não apenas identificou pontos críticos, mas também forneceu informações importantes para futuros aprimoramentos na eficiência do sistema de drenagem, podendo orientar posteriores intervenções no planejamento urbano.

Desta forma, fica evidente que a aplicação de SIG desempenhou um papel fundamental na interpretação dos resultados obtidos nas caracterizações. A integração da ferramenta não apenas enriqueceu a análise, mas também ressaltou a importância crescente da tecnologia na gestão inteligente dos recursos hídricos urbanos.

Cabe destacar que os resultados obtidos possuem algumas limitações que podem ser relevantes. A impossibilidade de analisar o projeto original do Canaleta da

Argolo não permite analisar os parâmetros e metodologias de projeto utilizados para a concepção das estruturas, assim como comparar os artifícios disponíveis atualmente procurando identificar as singularidades.

A impossibilidade de identificação de áreas verdes, visto que a sua maioria se encontra em áreas particulares, bem como a dificuldade de analisar o interior das caixas de drenagem e suas tubulações fazem com que o estudo possa continuar nessa linha.

Por fim, espera-se que os resultados deste estudo subsidiem pesquisas relacionadas à modelagem hidrológica, visando simular o efeito de intervenções na bacia. Isso inclui possíveis aumentos nas áreas impermeabilizadas devido à mudança na pavimentação das vias com cobertura de pedra e medidas estruturais destinadas a reduzir o escoamento na bacia, diminuindo, como consequência, a frequência de falhas nos dispositivos de drenagem. Dessa forma, almeja-se também viabilizar a implantação de um sistema de previsão hidrológica capaz de antecipar o extravasamento do canal e a necessidade de medidas preventivas, contribuindo assim para a prevenção de desastres.

Referências Bibliográficas

ABREU, A. A. DE; DE PAULA, C. J.; ARAÚJO, J. G. DE. **Dicionário da política republicana do Rio de Janeiro**. [s.l: s.n.].

Acumulado da chuva chega a 165 milímetros no Arroio Moreira, em Pelotas.

Disponível em:

<https://diariopopular.com.br/geral/doze_familias_estao_desalojadas_por_causa_da_chuva_em_pelotas.542051>. Acesso em: 28 jan. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sobre o SNIRH — Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Disponível em:

<<https://www.snirh.gov.br/portal/snirh-1/o-que-e>>. Acesso em: 5 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **RESOLUÇÃO CONJUNTA Nº 3, DE 10 DE AGOSTO DE 2010**.

Brasil, 3 ago. 2010.

ANDRADE, R.; SANTOS, M. ANÁLISE DOS PROBLEMAS DE DRENAGEM URBANA NOS BAIRROS VILA OPERÁRIA E AEROPORTO, TERESINA-PI. 2010.

ANTIGA PELOTAS. **Canalete da Deodoro**.

ARAÚJO, P. R. DE; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA REDUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, p. 21–29, 2000.

ARRIADA, E. **Pelotas - Gênese E Desenvolvimento Urbano**. [s.l: s.n.].

BARBOZA, E. N. et al. Caracterização hidrológica de uma microbacia por sistema de informações geográficas (sig) objetivando identificar parâmetros pluviométricos.

Research, Society and Development, v. 11, n. 2, p. e39411225490, 29 jan. 2022.

BARCELLOS, A. et al. **MANUAL PARA ELABORAÇÃO DO PLANO MUNICIPAL DE ARBORIZAÇÃO URBANA**. Comitê de Trabalho Interinstitucional para Análise

dos Planos Municipais de Arborização Urbana no Estado do Paraná Paraná , 2012.

BLAINSKI, É.; GARBOSSA, L. H. P.; ANTUNES, E. N. **Estações hidrometeorológicas automáticas: recomendações técnicas para instalação**.

Florianópolis: [s.n.]. Disponível em: <www.epagri.sc.gov.br>.

Bosch Professional. Disponível em: <<https://www.bosch-professional.com/br/pt/products/glm-120-c-0601072FG0>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva : engenharia das águas pluviais nas cidades**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

BRASIL. LEI Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007. . 2007.

BRITO, S. R. DE. **Saneamento de Pelotas (relatório apresentado ao Governo do Estado)**. Pelotas: [s.n.].

BURGER, J. B. DE A. **A paisagem nos planos de saneamento de Saturnino de Brito: entre Santos e Recife (1905-1917)**. Dissertação (Mestrado)—Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

CANALETE DA ARGOLO. Disponível em: <<https://preteritaurbe.blogspot.com/2015/04/canalete-da-argolo.html>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

CARDOSO, C. DE S.; QUADRO, M. F. L. DE; BONETTI, C. Persistência e Abrangência dos Eventos Extremos de Precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade Espacial e Padrões Atmosféricos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 219–231, jun. 2020.

CARDOSO NETO, A. Sistemas Urbanos de Drenagem. Em: [s.l: s.n.].

Chuva alaga ruas e invade residências em Pelotas. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2015/02/chuva-alaga-ruas-e-invade-residencias-em-pelotas-cj5vve3dq0x15xbj0x8bbr4qa.html>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

Chuva forte provoca alagamentos em Pelotas, diz Defesa Civil. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2015/02/chuva-forte-provoca-alagamentos-em-pelotas-diz-defesa-civil.html>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

Chuva intensa causa alagamentos e bloqueios de vias no sul do Rio Grande do Sul | GZH. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2023/09/chuva-intensa-causa-alagamentos-e-bloqueios-de-vias-na-regiao-de-pelotas-e-rio-grande-clm9wrxfw002a0136takbslti.html>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo a Hidrologia**. Porto Alegre: IPH UFRGS, 2010.

CONCEIÇÃO, J. Á. DA et al. **ESPAÇO E TEMPO NA FORMAÇÃO URBANA DE PELOTAS, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**. 12º ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA . **Anais...**Montevideo: 2009.

COSTA, R. N. P.; PINHEIRO, E. M. O CENÁRIO DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL. **Educação ambiental em ação.**, v. XXI, n. 66, 2018.

DA SILVA, M. E. S. et al. **APLICABILIDADE DO HEC-DSSVue PARA O GERENCIAMENTO DE REDE DE MONITORAMENTO HIDROLÓGICO**. 9ª SIIPE - XXXII CIC. **Anais...**Pelotas: 2023.

DE MORAES, G. F.; SILVA, A. R. DE C. B. Metodologia de diagnóstico do sistema de drenagem pluvial aplicado a microbacia do córrego Quarta-Feira em Cuiabá-MT. **E&S Engineering and Science**, v. 8, n. 1, p. 79–94, 9 abr. 2019.

DIARIO POPULAR. **Ciclone causa mais estragos na madrugada desta quinta em Pelotas e Rio Grande**. Disponível em: <https://diariopopular.com.br/geral/ciclone_causa_mais_estragos_na_madrugada_d_esta_quinta_em_pelotas_e_rio_grande.529373>. Acesso em: 24 jan. 2024a.

DIARIO POPULAR. **Acumulado chega a 100 mm e ruas ficam obstruídas em Pelotas**. Disponível em: <https://diariopopular.com.br/geral/acumulado_chega_a_100mm_e_ruas_ficam_obstruidas_em_pelotas.542008>. Acesso em: 24 jan. 2024b.

DO NASCIMENTO, D. A. et al. **ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS COM PLUVIÔMETRO E PLUVIÓGRAFO DE BÁSCULA**. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Florianópolis/SC: 2017.

DOMENEGHETTI, A. et al. Evolution of flood risk over large areas: Quantitative assessment for the Po river. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 809–823, 1 ago. 2015. **Emlid – RTK GNSS/GPS receivers with centimeter accuracy**. Disponível em: <<https://emlid.com/>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

ESRI. **ArcGIS Pro**. , [s.d.].

ESRI. **ArcGIS Hub**. Disponível em: <<https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/arcgis-hub/overview#benef%C3%ADcios-de-um-sistema-completo>>. Acesso em: 15 jan. 2024b.

Estação total RTS100, RTS102, RTS105, taqueômetro. Disponível em: <<https://www.geocenter.com.br/estacao-rts100r>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

EUROPEAN COMMISSION et al. **Atlas of the human planet 2017 : global exposure to natural hazards**. Publications Office ed. [s.l: s.n.].

FARROUPILHA. LEI MUNICIPAL Nº 4.566, DE 13 DE DEZEMBRO DE 2019. . 13 dez. 2019.

FOLHA, J. Requalificação da Bento Gonçalves está quase concluída. **Diário Popular**, 2016.

FOLHA, J. General Osório entra em nova fase de obras. **Diário Popular**, 2017.

FREIRE, A. L. **Enciclopédia jurídica da PUC-SP**. Disponível em: <<https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/325/edicao-1/saneamento-basico:-conceito-juridico-e-servicos-publicos>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

G1 RS. **Ciclone extratropical: cerca de 180 mil clientes ficam sem luz no RS | Rio Grande do Sul | G1**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2023/07/12/ciclone-extratropical-cerca-de-180-mil-clientes-ficam-sem-luz-no-rs.ghtml>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

GeoPelotas. Disponível em: <<https://geopelotas-pmpel.hub.arcgis.com/>>. Acesso em: 15 fev. 2024.

GUERRIERO, L. et al. Flood hazard mapping incorporating multiple probability models. **Journal of Hydrology**, v. 587, p. 125020, 1 ago. 2020.

GZH. **Chuva intensa causa alagamentos e bloqueios de vias no sul do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2023/09/chuva-intensa-causa-alagamentos-e-bloqueios-de-vias-na-regiao-de-pelotas-e-rio-grande-clm9wrxfw002a0136takbslti.html>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

HENKES, S. L. **Histórico legal e institucional dos recursos hídricos no Brasil**. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/4146/historico-legal-e-institucional-dos-recursos-hidricos-no-brasil>>. Acesso em: 5 nov. 2023.

Hidrologia – JCTM. Disponível em: <<https://jctm-hidromet.com/hidrologia/>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

JATOBÁ, S. U. S. **URBANIZAÇÃO, MEIO AMBIENTE E VULNERABILIDADE SOCIAL***. Boletim regional, urbano e ambiental . **Anais...IPEA**, jun. 2011.

JÚNIOR, L. S. **A importância e necessidade de arborização urbana correta**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/>>.

JUUTI, P.; KATKO, T.; VUORINEN, H. **Environmental History of Water - Global views on community water supply and sanitation**. [s.l: s.n.]. v. 6

LONER, B. A.; GILL, L. A.; MAGALHÃES, M. O. **Dicionário de História de Pelotas**. 3ª ed. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2017.

LOPES, A. L. B. **“SANEAR, PREVER E EMBELEZAR”: O ENGENHEIRO SATURNINO DE BRITO, O URBANISMO SANITARISTA E O NOVO PROJETO URBANO DO PRR PARA O RIO GRANDE DO SUL (1908-1929)**. Tese—Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), 2013.

- MAGALHÃES, M. O. **Opulência e cultura na Província de São Pedro do Rio Grande do Sul : um estudo sobre a história de Pelotas (1860-1890)**. Dissertação—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1993.
- MARTINS PEREIRA, G.; MARIANO DE SOUSA JUNIOR, A.; HENRIQUE VIEIRA, A. Marco Legal da Urbanização no Brasil: reflexos na função social da propriedade. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 11, p. 77–94, 2022.
- MELO, H. DE A. et al. **MODELOS HIDROLÓGICOS E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG): integração possível**. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. **Anais...Salvador/BA: 2008.** Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/265885707>>
- MENDES FILHO, W. M.; VENDRAME, I. F.; CARVALHO, R. G. DE. **Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos – SP**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...Florianópolis: 2007.**
- MOREIRA, M. M. DA S. **Manifestações do Movimento Higienista em Caetanópolis (MG) no início do século XX**. Anais do XIX Encontro Regional de História. **Anais...Juiz de Fora: ANPUHMG, 2014.**
- MOTA, W. N. et al. NOTA TÉCNICA: CONSTRUÇÃO DE UM LINÍGRAFO DE BAIXO CUSTO COM A PLATAFORMA ARDUINO. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG**, v. 24, n. 6, p. 523–530, 17 mar. 2017.
- NEOSOLAR. **Painel Solar Fotovoltaico | NeoSolar**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico>>. Acesso em: 14 fev. 2023.
- NUNES, L. DOS R.; DIAZ, R. R. L. Evolução do saneamento básico na história e o debate de sua privatização no Brasil. **Revista de Direito da Faculdade Guanambi**, v. 7, n. 02, p. e292, 17 dez. 2020.
- PEREIRA, F. D. DE S. **OS DESAFIOS ENTRE A DRENAGEM URBANA E OS RESÍDUOS SÓLIDOS: o caso de Aracaju/SE**. Dissertação—São Cristóvão: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, 2015.
- PEREIRA, M. A. F.; BARBIEIRO, B. L.; QUEVEDO, D. M. DE. Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 308–320, 6 maio 2020.
- PEREZ FILHO, A. et al. Monitoramento e gerenciamento de bacias urbanas associados a inundações: diagnose da bacia do Ribeirão Quilombo na região

metropolitana de Campinas utilizando geotecnologias. **Geography Department, University of Sao Paulo**, p. 44–54, 2006.

PINHEIRO, L. C. M. **Breve História de Pelotas (Uma coletânea de dados esparsos)**. Disponível em: <<https://pelotascronicasurbanas.wordpress.com/historia-4/>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

PRODUTO | hidromech. Disponível em: <<https://www.hidromechc.com.br/produtos>>. Acesso em: 24 jan. 2024.

ROIZEMBERG BAHIANA, J. et al. Análise qualitativa de soluções vegetativas em projetos de requalificação fluvial com o suporte SIG. **Revista de Morfologia Urbana**, v. 11, n. 1, 3 abr. 2023.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. **ENTRE-LUGAR**, v. 11, n. 22, p. 57–85, 5 dez. 2020.

RÜCKERT, F. Q. Saturnino de Brito e a modernização do abastecimento de água no Rio Grande do Sul da Primeira República. **ESTUDIOS HISTÓRICOS**, n. 18, 2017.

SANTOS, A. R. DE V. et al. **DESAFIOS DA REGULAÇÃO DA DRENAGEM E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS NO BRASIL**. ANAIS DO XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS. **Anais...** BELO HORIZONTE - MG: 2021. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/356727493>>

SANTOS, I. DOS et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SANTOS, S. et al. Os sistemas de informação geográfica na modelação hidrológica. **El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas, 2006**, ISBN 84-338-3944-6, págs. 465-479, p. 465–479, 2006.

SILVA, E. R. **O CURSO DA ÁGUA NA HISTÓRIA: SIMBOLOGIA, MORALIDADE E A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**. Tese—Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, set. 1998.

SILVA, L. Monitoramento hidrometeorológico no Brasil: uma análise sob a ótica da coordenação de políticas públicas. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, n. 1, p. 3– 0, 22 mar. 2021.

SILVA, O. V. AS GRANDES REVOLUÇÕES DO SÉCULO XVIII E O ILUMINISMO. **REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DA PEDAGOGIA**, 2018.

SOARES, P. R. R. **Del proyecto urbano a la producción del espacio: morfología urbana de la ciudad de Pelotas (1812-2000)**. Tese (Doutorado)—Barcelona: Universitat de Barcelona, 2002.

- SOUZA, V. C. B. DE; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. DÉFICIT NA DRENAGEM URBANA: buscando o entendimento e contribuindo para a definição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 162–175, 2013.
- SOUZA, F. C. B. **Sistema de apoio à decisão em ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas para disposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre**. Tese—[s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- SOUZA, P. K. **Recursos Hídricos Prospecção Tecnológica**. [s.l.: s.n.].
- TUCCI, C. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 1, n. 1, p. 59–73, 2004.
- TUCCI, C. E. M. PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA: PRINCÍPIOS E CONCEPÇÃO. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5–12, 1997.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades Global Water Partnership, , 2005.
- TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.
- TUCCI, C. E. M. Gestão da Drenagem Urbana. Em: **Textos para discussão CEPAL - IPEA**. Brasília: [s.n.].
- TUCCI, C. E. M. **Gestão da Drenagem Urbana**. CEPAL - IPEA Brasília, 2012b.
- VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFIA**. [s.l.: s.n.].
- WHO, W. H. O. **Global progress report on water, sanitation and hygiene in health care facilities: fundamentals first**. Geneva, 2020.
- WREGG, M. S. et al. **ATLAS CLIMÁTICO DA REGIÃO SUL DO BRASIL**. Brasília, DF: [s.n.]. Disponível em: <www.embrapa.br/liv>.
- XAVIER, J. S. **SANEAMENTO DE PELOTAS (1871-1915): o patrimônio sob o signo de modernidade e progresso**. Dissertação—Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, abr. 2010.
- ZHOU, Q. et al. Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. **Science of the Total Environment**, v. 658, p. 24–33, 25 mar. 2019.