

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGE

HELOISA CRISTINA ZIMMERMANN

ESTRUTURAÇÃO DE BACIA-ESCOLA URBANA NO MUNICÍPIO DE
JOINVILLE/SC

JOINVILLE

2025

HELOISA CRISTINA ZIMMERMANN

**ESTRUTURAÇÃO DE BACIA-ESCOLA URBANA NO MUNICÍPIO DE
JOINVILLE/SC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Leonardo Romero Monteiro
Coorientadora: Franciele Maria Vanelli

**JOINVILLE
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Zimmermann, Heloisa Cristina
Estruturação de bacia-escola urbana no município de
Joinville/SC / Heloisa Cristina Zimmermann. -- 2025.
149 p.

Orientador: Leonardo Romero Monteiro
Coorientadora: Franciele Maria Vanelli
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2025.

1. Socio-hidrologia. 2. Educação Ambiental. 3. Hidrologia. 4.
Ciência Cidadã. 5. Extensão Universitária . I. Monteiro, Leonardo
Romero . II. Vanelli, Franciele Maria. III. Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

HELOISA CRISTINA ZIMMERMANN

**ESTRUTURAÇÃO DE BACIA-ESCOLA URBANA NO MUNICÍPIO DE
JOINVILLE/SC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Leonardo Romero Monteiro

Coorientadora: Franciele Maria Vanelli

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Leonardo Romero Monteiro
Orientador - UDESC

Membros:

Profa. Dra. Aline de Almeida Mota
Membra Externa - UFFS

Profa. Dra. Amanara Potykytã de Sousa Dias Vieira
Membra Externa - UFSC

Joinville, 08 de julho de 2025

Aos pesquisadores e extensionistas que, como a
água, permeiam caminhos para além dos muros
da universidade.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado de muitas mãos. Nada do que está aqui teria sido possível sozinha, e por isso minha gratidão é imensa a cada pessoa que caminhou comigo nessa jornada.

À minha família, que foi nascente de amor e acolhimento desde sempre. Obrigada por sustentarem meu percurso com apoio incondicional e paciência, mesmo quando as margens se estreitavam.

Ao meu companheiro de todas as horas, Welerson. Obrigada por estar comigo, faça chuva ou faça sol, seja carregando brita, batendo concreto ou filosofando aleatoriedades. Obrigada por ser rocha firme e, ao mesmo tempo, correnteza leve. Este trabalho é, também, reflexo da nossa caminhada.

Ao meu orientador, por ter sido muito além de um guia acadêmico. Sua paciência, dedicação e confiança me ensinaram a não desistir e a acreditar no processo. Obrigada por ser farol quando eu só enxergava neblina, és inspiração e exemplo.

À minha coorientadora, pelo olhar sensível e pelos conselhos que fluíram para além da academia. Obrigada por ser exemplo e mostrar que a pesquisa também tem espaço de humanidade e cuidado.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Ciências das Águas, que tornaram essa caminhada mais leve e possível. Obrigada pelas longas jornadas de campo, pelo apoio no laboratório, pelas risadas que quebraram o cansaço e pela amizade que fez desta jornada algo muito maior do que uma pesquisa.

À minha banca, por toda a sensibilidade e pelas discussões pertinentes que enriqueceram este trabalho e me fizeram enxergar novas perspectivas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelos aprendizados que marcaram minha formação e pelo exemplo de compromisso com a ciência e com a sociedade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (Chamada Pública FAPESC Nº 48/2022, nº TR:2023TR000528) e ao Programa de Bolsas de Monitoria de Pós-graduação (PROMOP) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) pelo apoio financeiro concedido.

E, por fim, agradeço à água, metáfora e essência desta pesquisa. Por me lembrar que, como ela, precisamos fluir, contornar obstáculos, transbordar e a seguir mesmo quando represada. Que esta dissertação seja também uma gota que se junta a tantas outras, ajudando a formar correntes vivas de bacias-escola.

“A “conscientização” não tem como base uma consciência, de um lado, e um mundo, de outro; aliás, ela não busca tal separação. Pelo contrário, está baseada na relação consciência-mundo.”

Paulo Freire

RESUMO

Uma gestão hídrica adequada necessita de uma melhor compreensão da sociedade perante os processos hidrológicos, além de monitoramento para a obtenção de dados que representam os aspectos físicos e sociais. Apesar dos avanços científicos, a hidrologia continua sendo uma ciência com escassez de dados e que ainda é de desconhecimento de parte considerável da população. Conjuntamente, a compreensão dos sistemas acoplados físicos e sociais por meio da socio-hidrologia ainda requer o desenvolvimento transdisciplinar envolvendo ciências naturais, ciências sociais e a sociedade. A fim de contribuir com esse desenvolvimento, o objetivo do presente trabalho consiste em estruturar uma bacia-escola, relacionando socio-hidrologia e ciência cidadã, por meio da extensão universitária. Para isso, a pesquisa parte da discussão inicial sobre o conceito de bacia-escola e, então, são elaboradas duas etapas metodológicas: a aplicação de uma bacia experimental e a estruturação de uma bacia-escola. Assim, foram apresentados os resultados referentes à bacia experimental (com área total de $0,249 \text{ km}^2$), contemplando a caracterização da área de estudo, as etapas de monitoramento da bacia e a análise e processamento de dados hidrológicos; e à bacia-escola, que inclui a definição de locais de interesse, planejamento e demarcação de trilhas, caminhos e áreas de convivência, proposição de placas informativas e, por fim, a elaboração de atividades de ciência cidadã, voltadas à sensibilização do ambiente e engajamento do público. Ainda, sugeriu-se atividades que podem ser trabalhadas na bacia-escola, incentivando a interdisciplinaridade. Dessa forma, reforça-se o papel da universidade na produção e democratização do conhecimento, promovendo o engajamento social na gestão das águas e na segurança hídrica.

Palavras-chave: Socio-hidrologia. Educação Ambiental. Hidrologia. Ciência Cidadã. Extensão Universitária.

ABSTRACT

Effective water management requires a better societal understanding of hydrological processes, along with monitoring to collect data that represent both physical and social aspects. Despite scientific advances, hydrology remains a data-scarce science and is still not widely understood by the general public. Simultaneously, understanding coupled physical and social systems through socio-hydrology still demands transdisciplinary development involving the natural sciences, social sciences, and society at large. To contribute to this development, the objective of this study is to structure a school-watershed, linking socio-hydrology and citizen science through university extension activities. The research begins with an initial discussion of the school-watershed concept, followed by two methodological stages: the implementation of an experimental basin and the structuring of a school-watershed. Results related to the experimental basin (total area of 0,249 km^2) include the characterization of the study area, stages of basin monitoring, and the analysis and processing of hydrological data. The school-watershed component involves identifying points of interest, planning and marking trails, pathways, and communal areas, proposing informational signage, and developing citizen science activities aimed at promoting environmental awareness and public engagement. Additional interdisciplinary activities are proposed for implementation within the school-watershed. In this way, the study reinforces the role of the university in the production and democratization of knowledge, while promoting social engagement in water management and water security.

Keywords: Socio-hydrology. Environmental Education. Hydrology. Citizen Science. University Extension.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Décadas Científicas da IAHS.	27
Figura 2 – Ilustração esquemática do Ciclo da Água.	28
Figura 3 – Representação em diagrama do sistema hidrológico global.	29
Figura 4 – Ciclo urbano da água.	30
Figura 5 – Dados sistemáticos e não sistemáticos: exemplos de fontes de dados.	38
Figura 6 – Tipos de chuva de acordo com a origem do processo.	39
Figura 7 – Distância recomendada de obstáculos para a instalação do pluviômetro.	40
Figura 8 – Fluxograma do Projeto de Hidrologia Florestal com a utilização de bacia-escola.	47
Figura 9 – Mapa de localização da área de estudo.	54
Figura 10 – Fluxograma de bacia-escola como ferramenta na gestão participativa.	55
Figura 11 – Fluxograma para implementação da bacia experimental.	56
Figura 12 – Fluxograma para estruturação da bacia-escola.	64
Figura 13 – Mapa Topográfico da Área de Estudo.	67
Figura 14 – a) Identificação da localização das possíveis nascentes; b) Ponto 1; c) Ponto 2; d) Ponto 3; e) Ponto 4.	68
Figura 15 – Pontos de coleta de água para a análise da hidrologia isotópica.	69
Figura 16 – Mapa do Levantamento Hidrográfico da Área de Estudo.	71
Figura 17 – Áreas de Preservação Permanente e Faixa Não Edificável da área de estudo.	72
Figura 18 – Mapa da Delimitação da Bacia Hidrográfica. Em destaque, registro fotográfico do exutório em direção à jusante.	73
Figura 19 – Hierarquia fluvial da Bacia Hidrográfica de Estudo.	74
Figura 20 – Curva hipsométrica.	76
Figura 21 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica delimitada.	77
Figura 22 – Área de estudo com fotografias representativas de diversos pontos; a) Vegetação densa registrada próxima ao terreno da universidade; b) Demarcação do caminho da adutora com balizas amarelas; c) Deposição rochosa nas proximidades da nascente 1; d) Ventosa da adutora; e) Lago artificial e deposições antrópicas; f) Perfil de solo argiloso no canal principal; g) Região com vegetação densa e grande árvore registrada.	78
Figura 23 – Mapa do zoneamento urbano da bacia de estudo.	79
Figura 24 – Mapa do uso da terra da bacia de estudo.	80
Figura 25 – Mapa Pedológico da bacia de estudo.	81
Figura 26 – Mapa Geológico da bacia de estudo.	81
Figura 27 – Registros fotográficos da flora na área de estudo; a) Flores registradas na área de estudo; b) Figueira encontrada nas proximidades do lago; c) Vegetação registrada; d) Framboesas silvestres; e) Lírio-do-brejo; f) Registro dos frutos da figueira.	83

Figura 28 – Registros fotográficos da presença da fauna na área de estudo; a) Formigas fazendo o caminho até o formigueiro; b) Pegadas registradas no solo do caminho principal; c) Possível toca no caminho principal; d) Pegadas de ave registradas em disposição arenosa; e) Pegada registrada na margem esquerda do rio principal; f) Pegadas registradas no solo do caminho principal.	84
Figura 29 – Identificação dos Locais de Instalação das Estações de Monitoramento.	85
Figura 30 – Construção da base de concreto; a) Preparação do solo; b) Montagem da caixaria; c) Adensamento da primeira camada de concreto; d) Concretagem finalizada.	86
Figura 31 – Instalação da estação meteorológica; a) <i>Datalogger</i> da estação meteorológica instalado; b) Estação meteorológica devidamente instalada; c) Suporte da estação instalado previamente.	87
Figura 32 – Medição sendo conduzida com o aparelho <i>FlowTracker2</i> ; a) Medição sendo realizada vista da margem direita do canal; b) Medição sendo realizada vista da margem esquerda do canal	87
Figura 33 – Desenho ilustrativo da instalação da régua linimétrica e do sensor de nível no canal (Seção transversal).	88
Figura 34 – Instalação do sensor de nível e da régua linimétrica; a) Nivelamento da régua com nível de pedreiro; b) Instalação do sensor de nível na estrutura criada; c) Processo de configuração do sensor de nível; d) Vista para montante da seção transversal do canal com os equipamentos instalados.	89
Figura 35 – Precipitação acumulada do mês de fevereiro de 2025.	90
Figura 36 – Intensidade da precipitação no dia 04 de fevereiro de 2025.	91
Figura 37 – Precipitação e Nível por minuto dos dias 09 a 16 de maio de 2025.	92
Figura 38 – Precipitação e Nível por minuto dos dias 17 a 24 de maio de 2025.	92
Figura 39 – Precipitação e Nível por minuto dos dias 25 a 31 de maio de 2025.	93
Figura 40 – Medição dos parâmetros de qualidade da água com o aparelho Pro-DSS; a) Medição sendo realizada diretamente no corpo hídrico; b) Medição sendo realizada vista da margem esquerda do canal.	94
Figura 41 – Locais de interesse. a) Lago artificial; b) Exutório; c) Estação meteorológica; d) Estação fluviométrica e régua linimétrica; e) Nascente de afloramento; f) Curso hídrico proveniente de tubulação.	96
Figura 42 – Registros fotográficos do exutório.	98
Figura 43 – Planejamento das Trilhas e caminhos.	99
Figura 44 – Definição das trilhas e caminhos.	100
Figura 45 – Linhas de tempo.	101
Figura 46 – Desenho esquemático da instalação das britas no canal (Vista em planta). . .	102

Figura 47 – Processo de instalação das britas no canal; a) Registro da seção transversal do canal antes das intervenções; b) Instalação das britas 1; c) Registro da seção transversal do canal depois das intervenções; d) Instalação das britas 0.	102
Figura 48 – Observação do dia 05 de maio de 2025; a) Registro fotográfico do acúmulo de sedimentos sobre o experimento; b) Registro fotográfico do canal após cuidadosa remoção superficial do material sedimentado.	103
Figura 49 – a) Registro fotográfico do dia 15 de maio de 2025 do canal com o experimento sedimentado; b) Sedimento arenoso sobre o experimento; c) Dispersão de britas 0.	104
Figura 50 – Britas coletadas depois do deslocamento no canal.	104
Figura 51 – a) Proposição de quatro pontos instalados para o experimento com LSPIV; b) Utilização de tripé para filmagem.	106
Figura 52 – a) Rascunho e idealização da logo da bacia-escola; b) Digitalização da logo da bacia-escola.	107
Figura 53 – Esboço das Placas Informativas.	107
Figura A.1 – Registros fotográficos de estruturas abandonadas na área de estudo; a) Estrutura de alvenaria e madeira; b) Estrutura de madeira.	130
Figura B.1 – Preparação do protótipo de Vertedor triangular; a) Marcação na chapa de madeira para realizar o corte; b) Vertedor provisório pronto para a instalação.	131
Figura B.2 – Instalação do vertedor provisório; a) Primeira tentativa; b) Segunda tentativa; c) Terceira tentativa.	132
Figura C.1 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 08 de janeiro de 2025.	134
Figura C.2 – Precipitação por minuto dos dias 09 a 16 de janeiro de 2025.	134
Figura C.3 – Precipitação por minuto dos dias 17 a 24 de janeiro de 2025.	135
Figura C.4 – Precipitação por minuto dos dias 25 a 31 de janeiro de 2025.	135
Figura C.5 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 07 de fevereiro de 2025.	136
Figura C.6 – Precipitação por minuto dos dias 08 a 14 de fevereiro de 2025.	136
Figura C.7 – Precipitação por minuto dos dias 15 a 21 de fevereiro de 2025.	137
Figura C.8 – Precipitação por minuto dos dias 22 a 28 de fevereiro de 2025.	137
Figura C.9 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 08 de março de 2025.	138
Figura C.10 – Precipitação por minuto dos dias 09 a 16 de março de 2025.	138
Figura C.11 – Precipitação por minuto dos dias 17 a 24 de março de 2025.	139
Figura C.12 – Precipitação por minuto dos dias 25 a 31 de março de 2025.	139
Figura C.13 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 08 de abril de 2025.	140
Figura C.14 – Precipitação por minuto dos dias 09 a 16 de abril de 2025.	140
Figura C.15 – Precipitação por minuto dos dias 17 a 24 de abril de 2025.	141
Figura C.16 – Precipitação por minuto dos dias 25 a 31 de abril de 2025.	141
Figura C.17 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 08 de maio de 2025.	142
Figura C.18 – Precipitação por minuto dos dias 09 a 16 de maio de 2025.	142

Figura C.19–Precipitação por minuto dos dias 17 a 24 de maio de 2025.	143
Figura C.20–Precipitação por minuto dos dias 25 a 31 de maio de 2025.	143

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplos de aparelhos para monitoramento hidrológico.	39
Quadro 2 – Variáveis hidrológicas medidas comumente, oportunidades e desafios identificados nas aplicações da ciência cidadã.	51
Quadro 3 – Relações e índices calculados para análise linear.	59
Quadro 4 – Relações e índices calculados na análise areal.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fórmulas de t_c recomendadas. Obs.: Erro Médio (EM), Erro Padrão (EP).	37
Tabela 2 – Fórmulas para cálculo da velocidade média na vertical. Nota-se que "S" representa a superfície livre da água e "F" representa o fundo do canal.	41
Tabela 3 – Distância recomendada entre verticais.	41
Tabela 4 – Parâmetros da hidrologia isotópica	69
Tabela 5 – Índices referentes à Análise Linear.	74
Tabela 6 – Índices referentes à Análise Areal.	75
Tabela 7 – Parâmetros físicos da Bacia Hidrográfica.	77
Tabela 8 – Cálculo de t_c da Bacia Hidrográfica.	78
Tabela 9 – Distribuição da precipitação por mês.	90
Tabela 10 – Dados hidrológicos	94
Tabela 11 – Dados de qualidade da água do curso hídrico principal	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
APPU	Área de Preservação Permanente Urbana
AUAC	Área Urbana de Adensamento Controlado
AUAP	Área Urbana de Adensamento Prioritário
AUAS	Área Urbana de Adensamento Secundário
AUC	Área Urbana Consolidada
AUPA	Área Urbana de Proteção Ambiental
BHRC	Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte
CCT	Centro de Ciências Tecnológicas
CE	Condutividade Elétrica
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CODISC	Companhia de Distritos Industriais de Santa Catarina
COMDEMA	Conselho Municipal do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEC	Departamento de Engenharia Civil
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DSMH	Diagnóstico Socioambiental por Microbacia Hidrográfica
EA	Educação Ambiental
<i>e. g.</i>	<i>exempli gratia</i> / por exemplo
EIV	Estudo de Impacto de Vizinhança
EM	Erro Médio
EP	Erro Padrão
ETA	Estação de Captação e Tratamento de Água
FNE	Faixa Não Edificável
HELPING	<i>Hydrology Engaging Local People in one Global world</i> / Hidrologia Envolvendo a População Local em um Mundo Global
IAHS	<i>International Association of Hydrological Sciences</i> / Associação Internacional de Ciências Hidrológicas

<i>i. e.</i>	<i>id est</i> / isto é
IEAR	Instituto de Educação de Angra dos Reis
IHD	<i>International Hydrological Decade</i> / Década Internacional da Hidrologia
IHP	<i>International Hydrological Programme</i> / Programa Internacional de Hidrologia
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IUGG	<i>International Union of Geodesy and Geophysics</i> / União Internacional de Geodésia e Geofísica
LaCiA	Laboratório de Ciências das Águas
LSPIV	<i>Large-Scale Particle Image Velocimetry</i> / Velocimetria de Imagens em Grande Escala
MDT	Modelo Digital de Terreno
OD	Oxigênio Dissolvido
PIV	<i>Particle Image Velocimetry</i> / Velocimetria de Imagem de Partículas
PMJ	Prefeitura Municipal de Joinville
PMMA	Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica
PNEA	Política Nacional de Educação Ambiental
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PUB	<i>Predictions in Ungauged Basins</i> / Previsões em Bacias Não Monitoradas
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água
SA-02	Setor de Adensamento prioritário 02
SC	Santa Catarina
SE-03	Setor Especial de Interesse Educacional
SE-06	Setor Especial de Interesse Industrial
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGSC	Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina
SIMGeo	Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UF	Unidade da Federação
UFF	Universidade Federal Fluminense

UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i> / Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNESP	Universidade Estadual Paulista
V-SMOW	<i>Vienna Standard Mean Ocean Water</i> / Padrão de Viena para a Água Média Oceânica

LISTA DE SÍMBOLOS

A_t	Número de massa de um átomo
A	Área
A_{imp}	Área impermeável
C	Carbono
C_v	Coefficiente de variação
C_m	Coefficiente de manutenção
δ	Delta
D_d	Densidade de drenagem
D_r	Densidade de rios
D_p	Desvio padrão
E_{ps}	Extensão do percurso superficial
E_v	Média do equivalente vetorial
F_s	Densidade de segmentos da bacia
G_c	Declividade média dos canais
H	Hidrogênio
H_m	Amplitude topográfica máxima
I_r	Índice de rugosidade
K_c	Coefficiente de compacidade
L	Comprimento do rio principal
L_b	Comprimento da bacia
L_m	Comprimento médio dos segmentos fluviais
L_t	Somatório do comprimento de todos os canais
L_u	Soma total dos comprimentos dos canais de cada ordem
n	Número de Nêutrons no Núcleo
n_i	Número de segmentos
N	Nitrogênio
N_u	Número de segmentos
O	Oxigênio
P	Perímetro
pH	Potencial Hidrogeniônico

$\%$	Porcento
‰	Por mil
R_a	Relação entre as áreas das bacias
R_b	Relação de bifurcação
R_{ev}	Relação do equivalente vetorial
R_{gc}	Relação entre os gradientes dos canais
R_{ib}	Relação entre o índice do comprimento médio e o de bifurcação
RL_m	Relação entre os comprimentos médios dos canais
R_r	Relação de relevo
S	Enxofre
S_o	Declividade média do canal principal (m/m)
T	Temperatura
t_c	Tempo de concentração
Z	Número Atômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	23
1.2	JUSTIFICATIVA	24
1.3	OBJETIVOS	25
1.3.1	Objetivo Geral	25
1.3.2	Objetivos Específicos	25
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	25
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1	HIDROLOGIA	26
2.1.1	Organização política e científica da hidrologia	26
2.1.2	Ciclo Hidrológico	28
2.1.3	Bacia Hidrográfica	31
2.1.4	Caracterização da Bacia Hidrográfica	31
2.1.4.1	<i>Delimitação da Bacia Hidrográfica</i>	31
2.1.4.2	<i>Hierarquia Fluvial</i>	32
2.1.4.3	<i>Análise Linear da Rede Hidrográfica</i>	32
2.1.4.4	<i>Análise Areal da Bacia Hidrográfica</i>	34
2.1.4.5	<i>Análise Hipsométrica</i>	36
2.1.4.6	<i>Tempo de Concentração</i>	37
2.1.5	Monitoramento Hidrológico	38
2.1.5.1	<i>Precipitação</i>	39
2.1.5.2	<i>Vazão</i>	40
2.1.5.3	<i>Qualidade da água</i>	42
2.1.5.4	<i>Isótopos</i>	44
2.2	BACIA EXPERIMENTAL	45
2.3	SOCIO-HIDROLOGIA	46
2.4	BACIA-ESCOLA	47
2.5	EDUCAÇÃO AMBIENTAL	49
2.6	CIÊNCIA CIDADÃ	50
3	MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.1	ÁREA DE ESTUDO	53
3.2	ELABORAÇÃO DA BACIA-ESCOLA	55
3.3	IMPLEMENTAÇÃO DA BACIA EXPERIMENTAL	56
3.3.1	Levantamento Topográfico	57
3.3.2	Levantamento Hidrográfico	57

3.3.3	Delimitação da Bacia Hidrográfica	58
3.3.4	Caracterização da Bacia Hidrográfica	58
3.3.4.1	<i>Hierarquia Fluvial</i>	58
3.3.4.2	<i>Análise Linear da Rede Hidrográfica</i>	58
3.3.4.3	<i>Análise Areal da Bacia Hidrográfica</i>	59
3.3.4.4	<i>Análise Hipsométrica</i>	60
3.3.4.5	<i>Tempo de Concentração</i>	60
3.3.4.6	<i>Uso e Ocupação do Solo</i>	60
3.3.4.7	<i>Caracterização Pedológica e Geológica</i>	62
3.3.4.8	<i>Caracterização de Fauna e Flora</i>	62
3.3.5	Monitoramento da Bacia Hidrográfica	62
3.3.5.1	<i>Estação Meteorológica</i>	62
3.3.5.2	<i>Fluviometria</i>	63
3.3.5.3	<i>Parâmetros de Qualidade da Água</i>	63
3.3.6	Processamento de Dados	63
3.4	ESTRUTURAÇÃO DA BACIA-ESCOLA	63
3.4.1	Definição de Locais de Interesse	64
3.4.2	Planejamento e Definição de Trilhas e Caminhos	64
3.4.3	Elaboração de Atividades de Ciência Cidadã	65
3.4.4	Placas Informativas	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1	ELABORAÇÃO DE BACIAS-ESCOLA URBANAS	66
4.2	IMPLEMENTAÇÃO DE BACIA EXPERIMENTAL URBANA	67
4.2.1	Levantamento Topográfico	67
4.2.2	Levantamento Hidrográfico	68
4.2.3	Delimitação da Bacia Hidrográfica	73
4.2.4	Caracterização da Bacia Hidrográfica	73
4.2.4.1	<i>Hierarquia Fluvial</i>	73
4.2.4.2	<i>Análise Linear e Areal da Bacia Hidrográfica</i>	74
4.2.4.3	<i>Análise Hipsométrica</i>	76
4.2.4.4	<i>Tempo de Concentração</i>	76
4.2.4.5	<i>Uso e Ocupação do Solo</i>	78
4.2.4.6	<i>Caracterização Pedológica e Geológica</i>	80
4.2.4.7	<i>Caracterização de Fauna e Flora</i>	82
4.2.5	Monitoramento da Bacia hidrográfica	84
4.2.5.1	<i>Estação Meteorológica</i>	85
4.2.5.2	<i>Fluviometria</i>	86

4.2.6	Processamento de Dados	89
<i>4.2.6.1</i>	<i>Estações de monitoramento</i>	89
<i>4.2.6.2</i>	<i>Campanha de medição</i>	93
4.3	ESTRUTURAÇÃO DA BACIA-ESCOLA	96
4.3.1	Definição de Locais de Interesse	96
4.3.2	Planejamento e Definição de Trilhas e Caminhos	98
4.3.3	Elaboração de Atividades de Ciência Cidadã	100
<i>4.3.3.1</i>	<i>Adequação de Leito e Fundo com Brita</i>	101
<i>4.3.3.2</i>	<i>Atividade com LSPIV</i>	105
4.3.4	Placas Informativas	106
4.3.5	Sugestão de Atividades para realizar na Bacia-Escola	110
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
	REFERÊNCIAS	116
	APÊNDICE A – HISTÓRICO RECENTE DA ÁREA DE ESTUDO . .	129
	APÊNDICE B – DESAFIOS E APRENDIZADOS DO TRABALHO	
	DE CAMPO	131
	APÊNDICE C – GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO POR MINUTO . .	134
	APÊNDICE D – ROTEIROS DAS ATIVIDADES DE CIÊNCIA CIDADÃ	144
D.1	ATIVIDADE — OBSERVAÇÃO DE LEITO DE CANAL COM BRITAS . .	144
D.2	ATIVIDADE — OBSERVANDO A VELOCIDADE DA ÁGUA COM VÍ-	
	DEOS (LSPIV)	146

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As inter-relações entre o ser humano e a água tendem a acelerar a crise hídrica, em que os impactos variam entre grupos sociais e países (Arheimer *et al.*, 2024). Segundo Getirana, Libonati e Cataldi (2021), a crise hídrica do Brasil acompanha uma crise mundial, e para sua mitigação, são necessários planos nacionais coordenados entre si e elaborados por pesquisadores, formuladores de políticas, indústria, setor público e sociedade civil. Uma melhor gestão das águas requer a compreensão dos processos hidrológicos, que englobam a distribuição espacial e temporal, necessitando de monitoramento para a obtenção destes dados (Stewart, 2015).

No contexto brasileiro, observa-se uma significativa carência de dados hidrológicos, especialmente em pequenas bacias hidrográficas (Goldenfum, 2016). O monitoramento dessas pequenas bacias é de grande relevância, pois contribui significativamente para a consolidação da rede nacional de informações hidrológicas e permite investigar, de forma mais detalhada, os processos físicos, químicos e biológicos que influenciam o ciclo da água (Goldenfum, 2016). Getirana, Libonati e Cataldi (2021) reforçam essa limitação ao apontarem que o monitoramento atual é escasso e insuficiente para compreender, com a devida abrangência, a variabilidade e a disponibilidade hídrica no território nacional. Além disso, os autores destacam a ausência de sistemas nacionais robustos capazes de acompanhar de forma integrada o uso da água no país.

Para lidar com a problemática da crise hídrica, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* – UNESCO) estabeleceu o Comitê de Zona Árida (UNESCO, 1958). A partir disso, ao decorrer das décadas, iniciativas de caráter internacional foram criadas para promover o avanço do estudo científico relacionado aos recursos hídricos. Como exemplos dessas iniciativas podem ser citados a Década Internacional da Hidrologia (*International Hydrological Decade* – IHD) (Nace, 1969), o Programa Internacional de Hidrologia (*International Hydrological Programme* – IHP) (UNESCO, 2022), ambos da UNESCO, e as Décadas Científicas promovidas pela Associação Internacional de Ciências Hidrológicas (*International Association of Hydrological Sciences* – IAHS) (Arheimer *et al.*, 2024). Ao longo do desenvolvimento destas iniciativas, evidenciou-se a necessidade do envolvimento interdisciplinar e da sociedade para o avanço da hidrologia (Gupta *et al.*, 2013; Montanari *et al.*, 2013).

A pesquisa sobre as interações mútuas entre o ser humano e a água não é um assunto novo, porém a conceituação da socio-hidrologia tem gerado um crescente interesse científico nessas interações desde 2012 (Madani; Shafiee-Jood, 2020; Herrera-Franco *et al.*, 2021; Vanelli; Kobiyama; de Brito, 2022). A socio-hidrologia procura ampliar os conhecimentos com base na interação entre a sociedade e a hidrologia, de forma interdisciplinar (Vanelli; Kobiyama, 2019), porém as parcerias entre diferentes áreas do conhecimento podem enfrentar obstáculos e dificuldades devido às divergências metodológicas, terminologias específicas, visões de mundo diversas e, principalmente, à falta de familiaridade dos pesquisadores fora de sua especialidade

(Rangecroft *et al.*, 2021). Contudo, é essa diversidade de perspectivas e multiplicidade de olhares que permite uma compreensão mais abrangente dos desafios reais e a busca por soluções eficazes (Rangecroft *et al.*, 2021). Apesar dos avanços científicos, a compreensão dos sistemas acoplados físicos e sociais por meio da socio-hidrologia ainda requer o desenvolvimento transdisciplinar, em que, além de conhecimentos das ciências naturais e sociais, tem-se o envolvimento da sociedade e o seu conhecimento local valorizado (Vanelli; Kobiyama; de Brito, 2022).

1.2 JUSTIFICATIVA

A hidrologia, de modo geral, continua sendo uma ciência com escassez de dados, apesar dos avanços tecnológicos (Nardi *et al.*, 2022). No entanto, a relação entre sociedade e ciência tem ganhado crescente relevância em diversas áreas do conhecimento, dando origem a terminologias como "ciência cidadã" e "monitoramento baseado na comunidade", nos quais a população pode assumir um papel ativo na produção e no acompanhamento de dados científicos (Newman *et al.*, 2011). Dessa forma, a ciência cidadã pode auxiliar a preencher essa lacuna de dados, fornecendo observações distribuídas e diversas (Nardi *et al.*, 2022; Starkey *et al.*, 2017; Buytaert *et al.*, 2014).

A ciência cidadã tem funções potenciais, tanto como interface de dados com base científica, quanto como coprodução de conhecimento a partir do aprendizado mútuo (Albagli; Iwama, 2022; Buytaert *et al.*, 2014). Ainda, os dados coletados e compartilhados pelos cidadãos podem fornecer informações úteis aos cientistas e, ao mesmo tempo, capacitar os cidadãos a se envolverem em debates sobre questões de sustentabilidade local e global e o que precisa ser feito para resolvê-las (Wals *et al.*, 2014; Dunkley, 2017). Entretanto, apesar do avanço significativo de projetos de ciência cidadã em âmbito internacional nas últimas décadas, no Brasil tais iniciativas permanecem em fase inicial de consolidação, ainda que demonstrem um crescimento gradual (Albagli; Rocha, 2021).

O conceito de bacia-escola, no âmbito de ciência cidadã, não apenas promove o engajamento comunitário, mas também confere à população um papel central na produção do conhecimento científico, contribuindo significativamente para o avanço do desenvolvimento sustentável (Giacomel *et al.*, 2021), além de ser uma ferramenta muito útil no desenvolvimento da socio-hidrologia (Kobiyama *et al.*, 2020). O desenvolvimento de bacias-escola pode ser uma metodologia útil para promover a integração para diferentes disciplinas e a sociedade, viabilizando a coprodução de soluções integradas (Kobiyama *et al.*, 2024; Vanelli; Kobiyama, 2021). Além disso, a bacia-escola tem o potencial de contribuir para a coleta de dados hidrológicos e sociais, troca de conhecimentos entre cientistas e cidadãos, aumentar a conscientização da população sobre os serviços ecossistêmicos e melhorar a sua capacidade de lidar com eventos hidrometeorológicos extremos (Kobiyama *et al.*, 2020; Giacomel *et al.*, 2021; Vanelli; Kobiyama, 2021). Assim, pesquisas envolvendo bacia-escola, ciência cidadã e socio-hidrologia dialogam com o pilar extensionista das universidades, porém, até o momento, foram produzidas poucas

pesquisas acadêmicas no Brasil e no mundo sobre seu desenvolvimento e aplicação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em estruturar uma bacia-escola, buscando a relação entre socio-hidrologia e ciência cidadã, por meio da extensão universitária.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Implementar uma bacia experimental urbana;
- b) Desenvolver procedimentos para a estruturação de uma bacia-escola urbana;
- c) Fomentar a educação ambiental na bacia-escola, por meio da proposição de atividades de ciência cidadã e da extensão universitária.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos. Este primeiro capítulo de introdução está dividido em contextualização e justificativa do tema abordado, seguido pelos objetivos da pesquisa e de sua estruturação. O segundo capítulo refere-se à fundamentação teórica, que fornece o embasamento teórico de conceitos relacionados à pesquisa, partindo de hidrologia, se aprofundando nos temas medição de variáveis hidrológicas e bacia-escola, finalizando com educação ambiental e ciência cidadã.

O terceiro capítulo refere-se aos materiais e métodos, que incluem a apresentação da área de estudo e os procedimentos desenvolvidos para a realização da pesquisa, ou seja, a implementação da bacia experimental e a estruturação da bacia-escola. No quarto capítulo, são apresentados os resultados e discussão relacionados à estruturação da bacia-escola. E, por fim, o quinto e último capítulo demonstra as considerações finais, limitações e recomendações para futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo visa dar embasamento teórico ao desenvolvimento dos objetivos propostos no presente trabalho. Assim, serão abordados conceitos associados à hidrologia, bem como são apresentadas definições de bacia experimental, socio-hidrologia, bacia-escola, educação ambiental e ciência cidadã.

2.1 HIDROLOGIA

A definição da UNESCO (1964) de hidrologia é “a ciência que trata sobre a água, em termos de ocorrência, circulação e distribuição no planeta, suas propriedades físicas e químicas e suas interações com os ambientes físicos e biológicos, incluindo suas respostas às atividades humanas”. Considerando essa definição, Chow (1964) apresenta a hidrologia como uma ciência interdisciplinar, pois considera nas suas investigações o apoio da física, química, biologia, geologia, mecânica dos fluidos, matemática, estatística e pesquisa operacional. Além disso, o autor menciona que a hidrologia tem importante influência em diferentes áreas, como geografia, gestão de bacias hidrográficas, ciências políticas e sociologia.

2.1.1 Organização política e científica da hidrologia

Em 1964, reconhecendo a necessidade de aprimorar a gestão da água e seus usos, a UNESCO, em sua décima terceira Conferência Geral, propôs a Década Internacional da Hidrologia (*International Hydrological Decade* - IHD) (Nace, 1969). A IHD teve como principal objetivo o avanço do estudo científico dos recursos hídricos e regimes hídricos, a fim de aprimorar o uso, a gestão e a conservação da água, iniciando no ano seguinte à conferência da UNESCO, em janeiro de 1965 (Nace, 1969). Neste âmbito, a UNESCO iniciou o Programa Internacional de Hidrologia (*International Hydrological Programme* – IHP) em 1975, que se encontra na nona fase, no período de 2022 a 2029 (UNESCO, 2022).

Dentre as ciências hidrológicas, ressaltam-se as Décadas Científicas promovidas pela Associação Internacional de Ciências Hidrológicas (*International Association of Hydrological Sciences* – IAHS), a qual faz parte da União Internacional de Geodésia e Geofísica (*International Union of Geodesy and Geophysics* – IUGG) (Kobiyama *et al.*, 2020). A IAHS é uma organização dedicada à hidrologia e ciências correlatas, com o objetivo de avançar e promover coletivamente as ciências hidrológicas em todo o mundo, e assim, contribuir para a compreensão interdisciplinar dos processos do ciclo da água, uso sustentável dos recursos hídricos e mitigação de riscos (Arheimer *et al.*, 2024). A premissa defendida por essa organização dialoga com o conceito de segurança hídrica, que, segundo UN-Water (2013), é a capacidade de uma população (i) garantir o acesso em quantidade e qualidade adequadas de água, (ii) para sustentar os meios de subsistência, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, (iii) para garantir a proteção contra a poluição transmitida pela água e os desastres relacionados à água e (iv) para

preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política.

As Décadas Científicas da IAHS (Figura 1) buscam envolver a comunidade científica e formular programas científicos no avanço das ciências hidrológicas (van Hateren *et al.*, 2023). A primeira década científica da IAHS ocorreu no período entre 2003 e 2012 intitulada “*Predictions in Ungauged Basins - PUB*” em tradução livre “Previsões em bacias não monitoradas”, teve como principais objetivos: reduzir a incerteza nas previsões hidrológicas em bacias não monitoradas e desenvolver novos modelos que representem a variabilidade espaço-temporal dos processos hidrológicos para aumentar a confiança nas previsões em bacias sem monitoramento (Hrachowitz *et al.*, 2013). A partir dos resultados obtidos na PUB e considerando a demanda da sociedade, a IAHS definiu sua próxima Década Científica (2013-2022), denominada “*Panta Rhei – Everything Flows: Change in hydrology and Society*” em tradução livre “Tudo flui: Mudança na Hidrologia e Sociedade”, dedicou-se à pesquisa sobre mudanças na hidrologia e na sociedade (Montanari *et al.*, 2013). Diferentemente da década anterior, a segunda década científica demonstrou grande interesse nas relações com a sociedade, apresentando a “socio-hidrologia” (Kobiyama *et al.*, 2020) e incentivando pesquisas sobre as interações bidirecionais ser humano-água e fomentando pesquisas interdisciplinares (Montanari *et al.*, 2013).

Figura 1 – Décadas Científicas da IAHS.



Fonte: Adaptado de Arheimer *et al.* (2024).

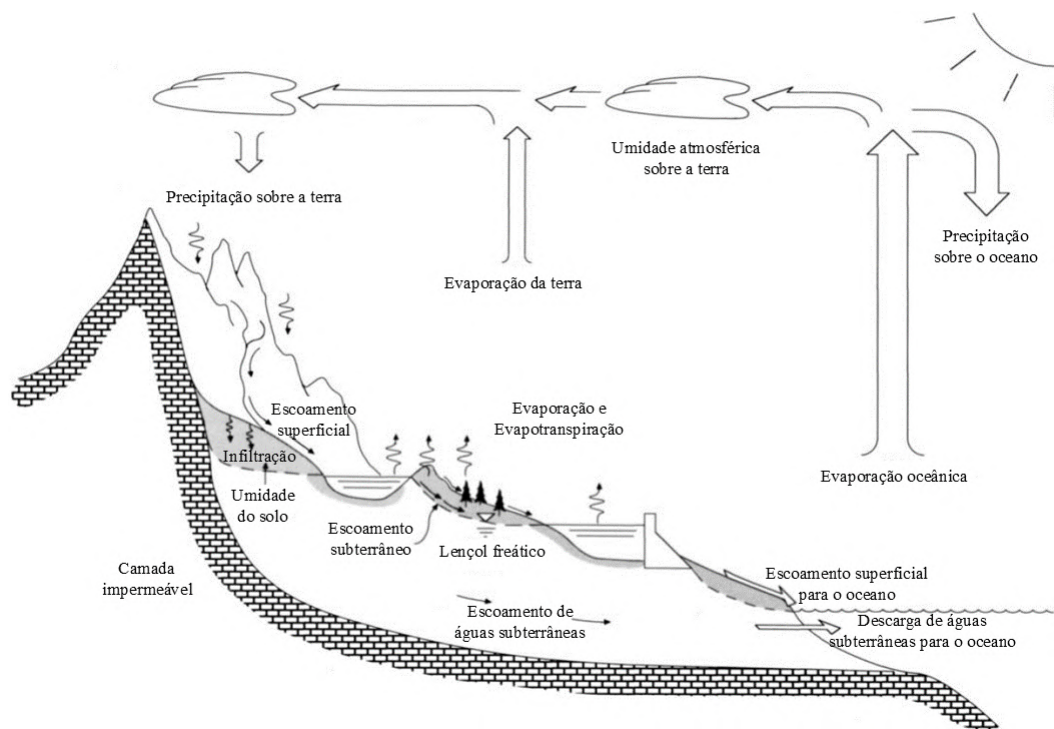
O tema da terceira e atual Década Científica 2023-2032: “*HELPING – Science for solutions*”, em tradução livre “Hidrologia Envolvendo a População Local em um Mundo Global - Ciência para soluções”, foi definido a partir de debates da comunidade da IAHS, na qual o enfoque é explorar soluções para as questões ambientais e sociais fundamentais (muitas das quais estão ligadas à água) por meio da cooperação entre hidrólogos, profissionais de diferentes áreas e a população local (Arheimer *et al.*, 2024). Como objetivo, a Década procura por evidências científicas para: (i) acelerar a compreensão das relações entre os processos hidrológicos em escalas local e global; (ii) promover a interação entre os pesquisadores e a sociedade para aplicar soluções de forma global baseadas nos aprendizados das experiências locais; e, (iii) sintetizar o entendimento hidrológico em todo o mundo a fim de embasar a gestão das crises atuais, encontrando soluções integradas para mitigar crises futuras (IAHS, 2023). Com isso, as Décadas Científicas da IAHS estão interligadas a partir da evolução do estudo científico, em que a primeira década PUB concentrou-se em aprimorar a compreensão das previsões para enfrentar

a falta de dados em bacias não monitoradas; a segunda, Panta Rhei, conduziu seus esforços na mudança com base nas demandas da sociedade, do ciclo hidrológico e da sua coevolução; e a atual década científica HELPING, busca por soluções relacionadas às crises hídricas locais e globais (Zimmermann; Vanelli; Monteiro, 2024).

2.1.2 Ciclo Hidrológico

O conceito central da hidrologia, segundo Collischonn e Dornelles (2015), é o ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico é a circulação contínua da água na Terra nas fases sólida, líquida e gasosa (entre a atmosfera, a terra e os oceanos), movida pela energia do sol (Yang; Jayawardena; Cong, 2017). Seus principais componentes são a precipitação, a evaporação, a infiltração, o escoamento e armazenamento subterrâneo e o escoamento superficial (Singh, 2017), demonstrados resumidamente na Figura 2.

Figura 2 – Ilustração esquemática do Ciclo da Água.



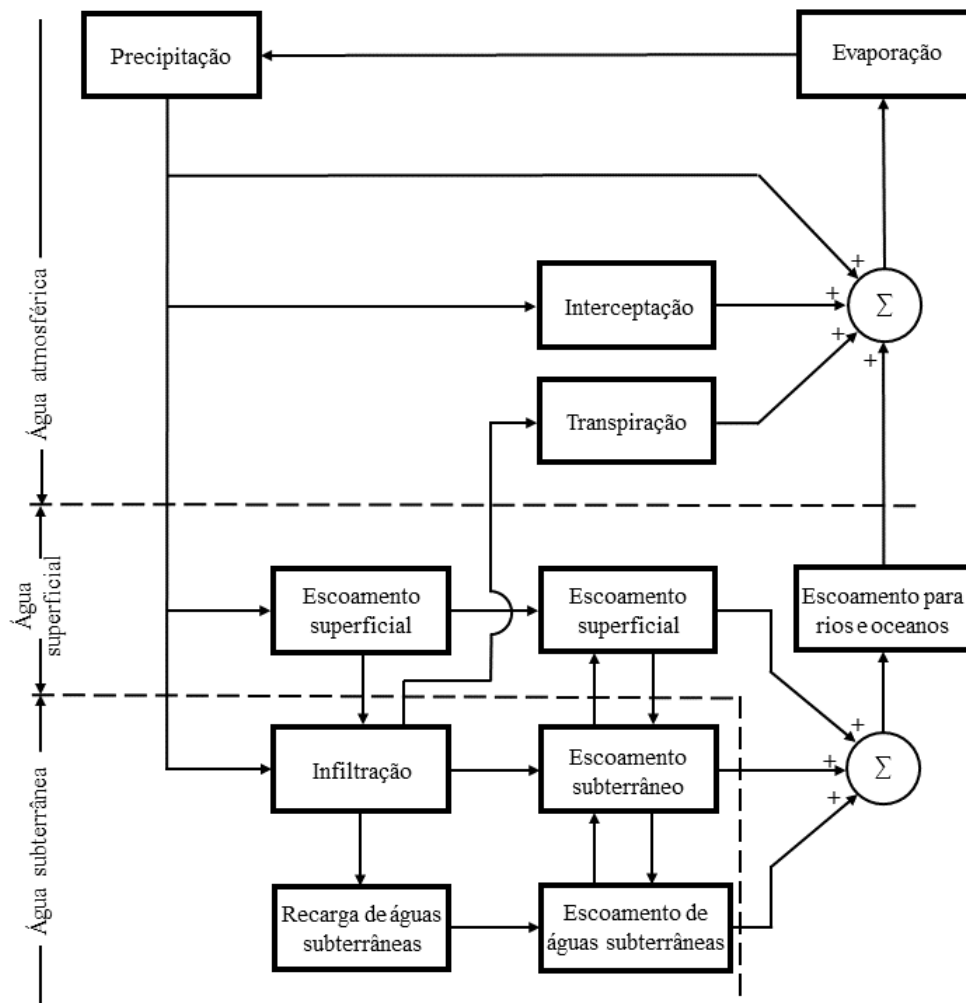
Fonte: Adaptado de Chow, Maidment e Mays (1988).

No ciclo hidrológico, a energia do sol aquece o ar, o solo e a água superficial, sendo responsável pela evaporação da água líquida e evapotranspiração da água do solo por meio das plantas (Collischonn; Dornelles, 2015). Dessa forma, o ar transporta o vapor de água e pode formar nuvens por meio da condensação, que em condições específicas, o vapor de água condensado nas nuvens em forma de precipitação pode retornar à superfície da Terra (Collischonn; Dornelles, 2015). Parte da água proveniente da precipitação preenche as depressões superficiais, formando pequenos lagos, em que parte da água se infiltra e parte evapora (Singh, 2017). A outra parte da precipitação se infiltra na superfície da terra; a água infiltrada pode

percolar mais profundamente para recarregar as águas subterrâneas, emergindo mais tarde em nascentes ou infiltrando-se em cursos de água para formar o escoamento superficial e, finalmente, fluindo para o mar ou evaporando-se para a atmosfera à medida que o ciclo hidrológico continua (Chow; Maidment; Mays, 1988).

Em escala global, o ciclo hidrológico é considerado um sistema fechado, mas não necessariamente em escalas de análise menores (Singh, 2017). Em escala global, pode ser representado de acordo com a Figura 3, sendo que as linhas tracejadas o dividem em três subsistemas de água: atmosférica, superficial e subterrânea, contendo seus processos em cada um deles (Chow; Maidment; Mays, 1988). Porém, o ciclo fechado normalmente não é considerado para o planejamento e gestão de recursos hídricos (Singh, 2017). Dessa forma, referente às suas escalas, no topo da hierarquia está o ciclo hidrológico global, no próximo nível o ciclo hidrológico em escala regional ou continental, e no último nível se encontra o ciclo hidrológico em escala de bacia (Yang; Jayawardena; Cong, 2017). Segundo Collischonn e Dornelles (2015), em escalas menores podem existir subciclos, e assim por diante.

Figura 3 – Representação em diagrama do sistema hidrológico global.

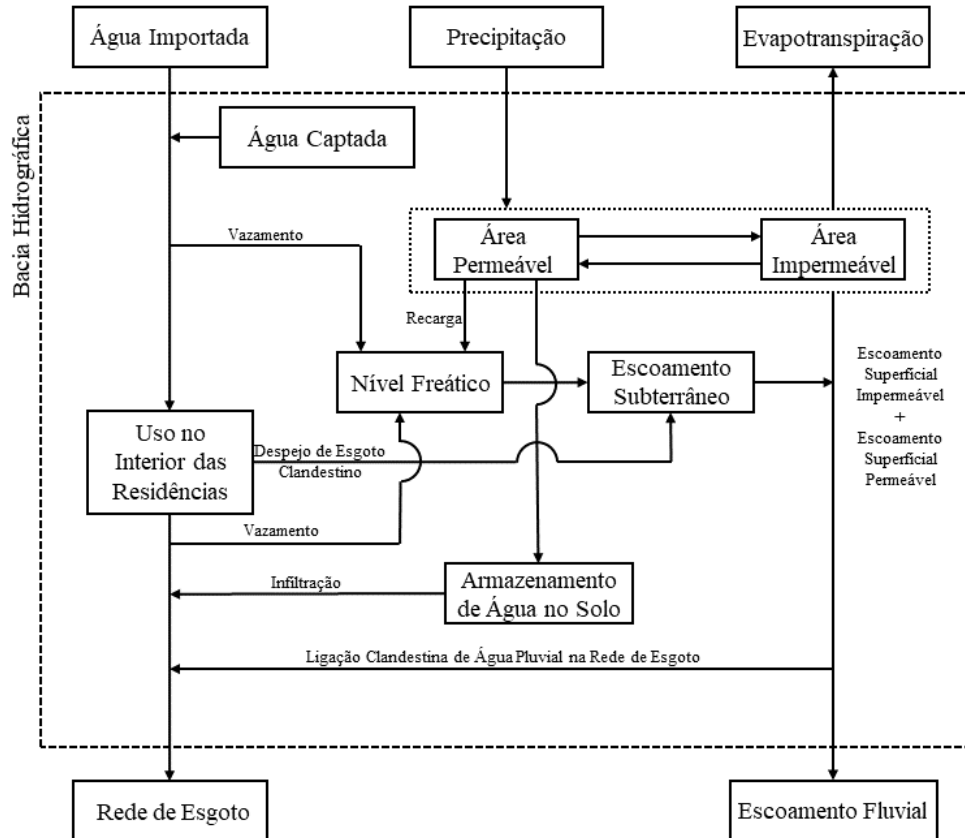


Fonte: Adaptado de Chow, Maidment e Mays (1988).

Os processos e as variáveis que podem estar presentes no ciclo hidrológico descritos pela USGS (2019), ignorando a influência humana, são: água nos oceanos, evaporação, evapotranspiração, sublimação, água na atmosfera, condensação, precipitação, armazenamento da água como gelo e neve, corrente de neve derretida para rios, corrente superficial, correntes dos rios, armazenamento de água doce, infiltração, armazenamento do lençol freático, descarga do lençol freático, fontes, e distribuição global da água. Assim, é utilizada a bacia hidrográfica como unidade de estudo desses processos e variáveis (Yang; Jayawardena; Cong, 2017), principalmente por meio de monitoramento hidrológico (McGlynn *et al.*, 2013).

O ciclo hidrológico apresenta nova configuração conforme elementos antrópicos vão sendo adicionados ao meio natural, como edificações, pavimentações, mudanças no relevo, retificação e canalização de rios (Carvalho, 2016). O ciclo urbano da água é complexo e dispõe de diferentes opções de entrada, permanência e saída de água do sistema, como observado na Figura 4, em que a distribuição de água e a rede de coleta de esgoto podem ter papel fundamental (Carvalho, 2016). Os sistemas adicionais presentes em ambientes urbanizados são a rede de coleta e escoamento de águas pluviais, a rede de abastecimento de água potável e a rede de coleta e transporte de esgoto (Mitchell, 2005).

Figura 4 – Ciclo urbano da água.



Fonte: Adaptado de Carvalho (2016).

2.1.3 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é a unidade básica para estudos dos processos hidrológicos (em escala de bacia), e trata-se de um sistema aberto em contraste com o ciclo hidrológico global (Yang; Jayawardena; Cong, 2017). De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), a partir de informações do relevo, a bacia hidrográfica pode ser definida como a área de captação natural dos fluxos de água, que convergem para um único ponto de saída denominado exutório. As bacias hidrográficas urbanas, diferentemente das naturais, apresentam diferentes complexidades por conta da sua alta variabilidade espacial das características fisiográficas e hidrológicas da paisagem, além da configuração do uso e ocupação do solo e das particularidades dos sistemas de abastecimento e drenagem, tornando esse ambiente bastante diversificado (Carvalho, 2016).

No Brasil, de acordo com a Lei Federal nº 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação dessa política e do sistema de gerenciamento (Brasil, 1997). Ainda, a Lei Federal nº 12.608, que implementa a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), adota a bacia hidrográfica como unidade de análise das ações de prevenção de desastres relacionados aos recursos hídricos (Brasil, 2012a). Portanto, a bacia hidrográfica é uma importante unidade territorial para o planejamento integrado dos recursos hídricos e para a prevenção de desastres relacionados à água.

2.1.4 Caracterização da Bacia Hidrográfica

A caracterização de uma bacia hidrográfica, normalmente, é focada na análise e quantificação dos aspectos físicos e estruturas ecológicas do local que influenciam no armazenamento, movimento e liberação da água para a evaporação e escoamento (McGlynn *et al.*, 2013). Dentre essas variáveis estão o tamanho da bacia, a topografia, características do solo, geologia, geometria da rede de canais e uso e ocupação do solo (McGlynn *et al.*, 2013). A topografia desempenha um papel importante no movimento da água nas bacias hidrográficas, como, por exemplo, bacias mais íngremes, em geral, apresentam um tempo de concentração menor, o que leva a uma resposta mais rápida às chuvas em relação a bacias mais planas (Yang; Jayawardena; Cong, 2017).

2.1.4.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica

No processo de delimitação da bacia hidrográfica, os divisores de água devem ser traçados separando a área em que o escoamento superficial flui para o exutório da bacia das áreas restantes do mapa (Collischonn; Dornelles, 2015), por isso, a obtenção de dados topográficos é necessária. A delimitação pode ser realizada manualmente ou automaticamente utilizando mapas de contorno topográfico ou por meio de Modelo Digital de Terreno (MDT), onde é fornecida uma representação de superfície do terreno (Yang; Jayawardena; Cong, 2017).

Na escala da bacia hidrográfica, a topografia pode ser quantificada por uma inclinação média do plano em que existe o escoamento superficial e uma inclinação média do fluxo principal (Yang; Jayawardena; Cong, 2017). Para fins de modelagem hidrológica, a delimitação de bacias muitas vezes é realizada de forma automática por meio de aplicativos computacionais de Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Cecílio *et al.*, 2013). A partir da geometria extraída por essas ferramentas, é possível calcular parâmetros morfométricos, os quais fornecem informações sobre a bacia hidrográfica. De acordo com Christofolletti (1980), os índices e parâmetros sugeridos para o estudo analítico das bacias hidrográficas referem-se à hierarquia fluvial, análise areal, análise linear e análise hipsométrica.

2.1.4.2 *Hierarquia Fluvial*

A bacia hidrográfica pode ser caracterizada pelas propriedades da rede de drenagem, sendo o ordenamento dos cursos d'água um dos critérios mais utilizados (Collischonn; Dornelles, 2015). A hierarquia fluvial refere-se à classificação de um curso hídrico, ou da área por ele drenada, em relação ao conjunto da bacia hidrográfica na qual está inserido (Christofolletti, 1980). A classificação proposta por Horton (1945), posteriormente aprimorada por Strahler (1957), é amplamente adotada e baseia-se na hierarquização dos cursos d'água a partir de sua nascente (Collischonn; Dornelles, 2015).

Nesse sistema aprimorado por Strahler (1957), os trechos que se originam diretamente das nascentes são considerados de primeira ordem. Quando dois cursos de mesma ordem se encontram, formam um curso de ordem imediatamente superior. Caso um curso de ordem superior se encontre com um de ordem inferior, sua classificação não se altera. Dessa forma, a ordem de uma bacia hidrográfica é definida pelo maior valor de ordem de drenagem presente em sua rede, sendo que bacias de primeira ordem são aquelas cujo curso principal não apresenta afluentes identificáveis (Collischonn; Dornelles, 2015).

Esse tipo de classificação de hierarquia fluvial é sensível à escala cartográfica utilizada e, portanto, a definição da ordem dos cursos d'água deve considerar a resolução da base cartográfica utilizada na análise (Collischonn; Dornelles, 2015). A ordenação dos canais fluviais, com o intuito de estabelecer tal hierarquia, constitui a etapa inicial da análise morfométrica das bacias hidrográficas (Christofolletti, 1980). A partir dessa análise, são processadas informações referentes aos aspectos lineares, areais e hipsométricos das bacias (Christofolletti, 1980).

2.1.4.3 *Análise Linear da Rede Hidrográfica*

A análise linear da rede hidrográfica, conforme exposto por Christofolletti (1980), contempla índices e relações que descrevem as características estruturais da rede hidrográfica, com base em medições realizadas ao longo das linhas de escoamento. A seguir, apresentam-se os principais parâmetros utilizados nessa abordagem de acordo com o autor, incluindo relações que contribuem para a compreensão da organização e do comportamento hidrológico da bacia:

- **Relação de bifurcação:** Definida por Horton (1945) e utilizando o sistema de ordenação de Strahler (1957), a expressão utilizada para cálculo é representada por:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}, \quad (1)$$

na qual R_b é a relação de bifurcação, N_u é o número de segmentos de determinada ordem e N_{u+1} é o número de segmentos da ordem superior;

- **Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem:** Para obtenção dessa relação, primeiramente, calcula-se o comprimento médio dos segmentos fluviais (Lm em m) por:

$$Lm = \frac{L_u}{N_u}, \quad (2)$$

onde L_u (m) refere-se à soma total dos comprimentos dos canais de cada ordem e N_u é o número de segmentos encontrados na respectiva ordem. A partir disso, a relação entre os comprimentos médios (RLm) proposta por Horton (1945) pode ser obtida por:

$$RL_m = \frac{Lm_u}{Lm_{u-1}}, \quad (3)$$

em que Lm_u (m) é o comprimento médio dos canais de determinada ordem e Lm_{u-1} (m) é o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior;

- **Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação:** Também estabelecida por Horton (1945), em que a fórmula utilizada para calculá-la é expressa por:

$$R_{ib} = \frac{RL_m}{R_b}, \quad (4)$$

na qual R_{ib} refere-se à relação entre o índice do comprimento médio e o de bifurcação, RLm é o índice do comprimento médio entre duas ordens subsequentes e R_b é a relação de bifurcação entre as mesmas duas ordens subsequentes. Quando o índice do comprimento médio e a razão de bifurcação apresentam valores equivalentes, isso indica que o comprimento médio dos canais aumenta ou diminui proporcionalmente entre as ordens analisadas;

- **Comprimento do rio principal:** Refere-se à distância percorrida do curso hídrico de sua respectiva nascente até o exutório. Para a definição de qual rio é o principal, pode-se utilizar os seguintes critérios: o estabelecido por Horton (1945), em que o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal (pela hierarquização hortoniana); e a de curso de água mais longo, apresentada por Shreve (1974);

- **Extensão do percurso superficial:** É a distância média percorrida pelo escoamento superficial entre o interflúvio e o canal permanente, sendo calculada por:

$$Eps = \frac{1}{2Dd}, \quad (5)$$

em que Eps (km) é a extensão do percurso superficial e Dd (km/km²) é o valor da densidade de drenagem (Christofolletti, 1980);

- **Relação do equivalente vetorial:** O equivalente vetorial representa o comprimento de cada segmento fluvial de determinada ordem, da sua nascente até o término do canal em linha reta (Christofolletti, 1980). Para a obtenção da relação utiliza-se a fórmula:

$$Rev = \frac{Ev_u}{Ev_{u-1}}, \quad (6)$$

onde Rev (m/m) refere-se à relação do equivalente vetorial, Ev_u (m) é a grandeza média do equivalente vetorial de determinada ordem e Ev_{u-1} (m) é a grandeza do equivalente vetorial média dos equivalentes vetoriais referentes à ordem imediatamente inferior. A interpretação dessa relação é importante, pois sua comparação com os índices de comprimento e declividade média permite identificar características geomorfológicas dos canais, como trechos retinizados e íngremes, nos quais o valor do equivalente vetorial tende a se aproximar do comprimento do curso d'água;

- **Gradiente dos canais:** Refere-se à relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término do curso hídrico com seu respectivo comprimento. O cálculo da relação entre os gradientes dos canais (Rgc) pode ser realizado por meio de:

$$Rgc = \frac{Gc_u}{Gc_{u+1}}, \quad (7)$$

em que Gc_u é a declividade média dos canais de determinada ordem e Gc_{u+1} refere-se à declividade média dos canais de ordem imediatamente superior.

2.1.4.4 Análise Areal da Bacia Hidrográfica

A análise areal das bacias hidrográficas, segundo Christofolletti (1980), contempla índices dos quais são necessárias medições planimétricas e lineares. Para isso, o autor apresenta os meios de obtenção desses índices, descritos a seguir:

- **Área da bacia:** Refere-se a toda a área drenada pelo sistema fluvial, projetada em plano horizontal;
- **Comprimento da bacia:** Podem ser obtidos diferentes comprimentos da bacia a depender da definição a ser usada. Entre as definições pode ser considerada: a maior distância medida em linha reta, entre o exutório e determinado ponto do perímetro da bacia

hidrográfica; maior distância em linha reta entre o exutório e determinado ponto mais alto situado no perímetro; e a distância em linha reta acompanhando paralelamente o rio principal;

- **Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia:** A relação é calculada de acordo com a expressão proposta por Hack (1957):

$$L = 1,5A^{0,6}, \quad (8)$$

em que L (km) refere-se ao comprimento do rio principal e A (km²) é a área da bacia;

- **Forma da bacia:** A forma da bacia hidrográfica pode ser caracterizada por meio de diferentes índices geométricos, os quais indicam o grau de aproximação da bacia a determinadas figuras ideais, como o círculo, o retângulo ou o triângulo, independentemente da escala adotada. Para esta definição, pode-se trabalhar com o Índice de Gravelius ou Coeficiente de Compacidade:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}, \quad (9)$$

em que K_c é o coeficiente de compacidade, P (km) é o perímetro da delimitação da bacia hidrográfica (Villela; Mattos, 1975). A geometria da bacia exerce influência direta na sua resposta hidrológica, podendo afetar o tempo de concentração, o padrão de escoamento e a distribuição espacial da vazão;

- **Densidade de rios:** Índice, proposto por Horton (1945), pode ser calculado por:

$$Dr = \frac{N}{A}, \quad (10)$$

onde Dr (km⁻²) é a densidade de rios e N é o número total de cursos d'água. Se utilizada a ordenação de Strahler, o número de canais refere-se à quantidade de rios de primeira ordem. Esse cálculo reflete na representação do comportamento hidrográfico de determinada área, indicando a capacidade de gerar novos cursos hídricos;

- **Densidade de drenagem:** Calculada de acordo com a definição de Horton (1945), pela equação:

$$Dd = \frac{L_t}{A}, \quad (11)$$

na qual Dd (km/km²) refere-se à densidade da drenagem e L_t (km) é o somatório do comprimento de todos os canais;

- **Densidade de segmentos da bacia:** Esse índice é calculado a partir do sistema de ordenamento de Strahler (1957), utilizando-se da fórmula:

$$F_s = \frac{\sum n_i}{A}, \quad (12)$$

em que F_s (km^{-1}) significa a densidade de segmentos da bacia e n_i é o número de segmentos de determinada ordem;

- **Relação entre as áreas das bacias:** Calculada de acordo com Schumm (1956), sendo a fórmula correspondente:

$$Ra = \frac{A_u}{A_{u-1}}, \quad (13)$$

onde Ra é a relação entre as áreas das bacias, A_u é a área média das bacias de determinada ordem e A_{u-1} a área média das bacias de ordem imediatamente inferior;

- **Coefficiente de manutenção:** Calculado de acordo com Schumm (1956), utilizando a expressão:

$$Cm = \frac{1}{Dd}, \quad (14)$$

na qual Cm (km) refere-se ao coeficiente de manutenção.

2.1.4.5 Análise Hipsométrica

Uma forma comum de representar a distribuição de altitude de uma bacia é por meio da curva hipsométrica (Paz, 2024). A análise hipsométrica busca compreender as inter-relações espaciais dentro de uma unidade horizontal, considerando a distribuição das altitudes e a proporção que diferentes faixas de altitude ocupam em relação à superfície total da área estudada, a partir de uma curva de nível de referência (Christofolletti, 1980). De modo geral, essa curva expressa graficamente a proporção da área da região situada acima (ou abaixo) de distintos níveis altimétricos, além da possibilidade de identificar diretamente o ponto que corresponde à elevação mediana (Paz, 2024).

De acordo com Strahler (1957), a forma da curva hipsométrica está diretamente associada ao estágio de desenvolvimento geomorfológico da bacia hidrográfica. Assim, Strahler (1957) definiu as curvas características considerando-se o ciclo erosivo. A partir desse conceito, Paz (2024) esclarece que curvas predominantemente convexas indicam que a região se encontra com desenvolvimento mais recente (jovem), com maior potencial erosivo em relação às curvas côncavas, que representam região mais antiga (fase de Monadnock). Já o formato em S da curva hipsométrica sugere uma fase intermediária entre os dois estágios, indicando estágio geológico de maturidade para a região (Paz, 2024).

Em relação à análise hipsométrica, a amplitude máxima da bacia hidrográfica pode ser obtida por meio da diferença entre a maior e a menor cota presente na bacia (Christofolletti, 1980). Partindo da amplitude máxima, pode-se obter a relação de relevo e o índice de rugosidade. A relação de relevo (Rr), inicialmente apresentada por Schumm (1956), pode ser calculada de acordo com:

$$Rr = \frac{Hm}{Lb}, \quad (15)$$

em que Hm é a amplitude topográfica máxima e Lb é o comprimento da bacia, porém por conta de sua variação na obtenção, é aconselhável utilizar o comprimento do principal curso de água (Christofolletti, 1980). Para o cálculo do índice de rugosidade (Ir), inicialmente proposto por Melton (1957), utiliza-se a expressão Christofolletti (1980):

$$Ir = Dd Hm . \quad (16)$$

2.1.4.6 Tempo de Concentração

O tempo de concentração (t_c) é uma variável hidrológica que se baseia na suposição de que a bacia hidrográfica age como um sistema linear quando se trata do escoamento superficial direto (Silveira, 2005). Fórmulas empíricas e teóricas para cálculo de t_c foram desenvolvidas, sendo possível utilizá-las para estimar esse valor (Mota *et al.*, 2017). Uma das aplicações do tempo de concentração é a definição do intervalo de monitoramento hidrológico (Mota, 2012).

Para realizar a estimativa do t_c , são consideradas variáveis físicas da bacia como o comprimento do canal principal, área e desnível, a depender da fórmula empírica escolhida. Alguns exemplos são as fórmulas de Kirpich (1940), de Loukas e Quick (1996), de Simas e Hawkins (1996) (Mota *et al.*, 2017). A fim de facilitar a seleção da fórmula adequada, Silveira (2005) realizou um estudo comparativo de 23 fórmulas de tempo de concentração e, como resultado, recomendou a utilização de sete destas fórmulas, e sua utilização depende das características da bacia hidrográfica em questão (Tabela 1).

Tabela 1 – Fórmulas de t_c recomendadas. Obs.: Erro Médio (EM), Erro Padrão (EP).

Fórmula	Ordem ¹	Bacias Rurais			Bacias Urbanas		
		Áreas (km ²)	EM (%)	EP (%)	Áreas (km ²)	EM (%)	EP (%)
Corps of Engineers ²	1R	< 12000	9	21			
Ven Te Chow ³	2R	< 12000	-7	19			
Onda Cinemática ⁴	3R	< 12000	2	20			
Kirpich ⁵	4R, 3U	< 12000	-9	19	< 27	1	39
Carter ⁶	1U				< 11	1	40
Schaake ⁷	2U				< 0,62	-9	30
Desbordes ⁸	4U				< 51	11	49

¹ Preferência de utilização pela ordem indicada no número que antecede a letra R (bacias rurais) ou U (bacias urbanas).

² Linsley, Kohler e Paulhus (1967).

³ Chow (1962).

⁴ Kibler (1982).

⁵ Kirpich (1940).

⁶ McCuen, Wong e Rawls (1984).

⁷ Schaake, Geyer e Knapp (1967).

⁸ Desbordes (1974).

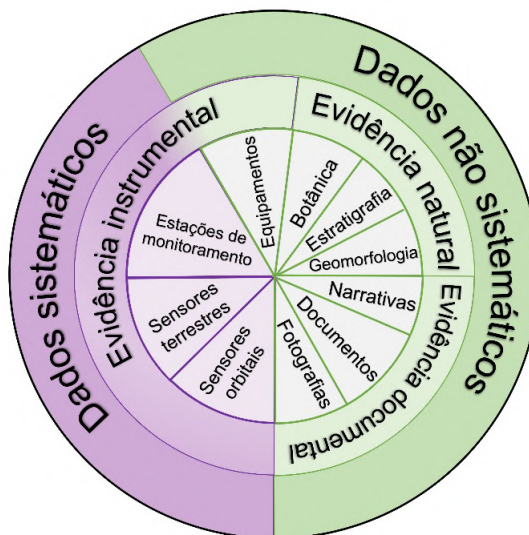
Fonte: Adaptado de Silveira (2005).

2.1.5 Monitoramento Hidrológico

O monitoramento hidrológico desempenha um papel fundamental na compreensão das variáveis que compõem o ciclo hidrológico e as suas influências nesta dinâmica. As atividades de monitoramento e modelagem dos processos hidrológicos são fundamentais para o adequado gerenciamento dos recursos hídricos, que é essencial para garantir sua disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas ao desenvolvimento sustentável da sociedade (Mota, 2017). A coleta de dados hidrometeorológicos pode ser realizada por diferentes métodos, incluindo o uso de radares, sensores *in situ*, satélites e observações diretas feitas por humanos (Harjo, 2017).

No âmbito da hidrologia, a denominação de dados sistemáticos e não sistemáticos foi adotada por pesquisadores como Frances, Salas e Boes (1994) e Brázdil e Kundzewicz (2006). Segundo Vanelli, Fan e Kobiyama (2020), em geral, os dados sistemáticos são aqueles referentes aos dados das estações de monitoramento que fornecem séries históricas (mais usuais na hidrologia moderna). Já os não sistemáticos abrangem as evidências encontradas no ambiente, assim como informações obtidas de registros históricos ou observações humanas, que são localizadas em termos de tempo e/ou espaço (Vanelli; Fan; Kobiyama, 2020). Os autores ainda sugeriram a classificação das fontes de dados de acordo com a sua origem: evidência instrumental, evidência natural e evidência documental (Figura 5). Estes autores sugeriram, ainda, que uma melhor compreensão da realidade pode se dar pela utilização integrada de dados sistemáticos e não sistemáticos, aplicando o método de triangulação de dados.

Figura 5 – Dados sistemáticos e não sistemáticos: exemplos de fontes de dados.



Fonte: Vanelli, Fan e Kobiyama (2020).

O monitoramento das bacias por dados sistemáticos pode ocorrer por diferentes aparelhos (Quadro 1). A partir de dados sistemáticos, quando se tem interesse em representar uma série histórica, o intervalo de monitoramento sempre deve ser menor que o tempo de concentração da bacia estudada e ser pertinente com os objetivos da pesquisa (Mota *et al.*, 2017). Para a infiltração de água no solo, pode-se mensurar a infiltrabilidade deste utilizando o método dos cilindros

concêntricos, que consiste na observação da taxa de infiltração de uma lâmina de água represada nos cilindros cravados no solo, ou ainda, o método do cilindro único (Pereira; Mota, 2011). Sondas de temperatura, umidade do solo e anemômetros são frequentemente utilizados para caracterizar as condições meteorológicas da bacia hidrográfica, e combinando-os pode-se obter variáveis como a evapotranspiração (WMO, 2008). Além disso, parâmetros de qualidade da água podem ser medidos por sensores *in situ*, considerando pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e alguns íons (von Sperling, 2007), ou ainda, por meio da coleta de amostras para análises laboratoriais, que possibilitam a determinação de variáveis como Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), presença de metais pesados, entre outros.

Quadro 1 – Exemplos de aparelhos para monitoramento hidrológico.

Variável Hidrológica	Aparelho
Nível	Régua linimétrica, Linígrafo, Radar
Precipitação	Pluviômetro, Pluviógrafo, Satélite, Radar
Vazão	Molinete hidrométrico, Aparelhos <i>Doppler</i>
Infiltração	Cilindros concêntricos, Cilindro único
Qualidade da água	Sonda multiparâmetro e equipamentos diversos

Fonte: Elaborado pela autora.

2.1.5.1 Precipitação

A precipitação é uma das principais variáveis hidrológicas e meteorológicas (Santos *et al.*, 2001), e consiste na queda de água da atmosfera para a superfície terrestre, em diferentes formas como chuva, granizo, neve e neblina (Collischonn; Dornelles, 2015). Ela ocorre quando os hidrometeoros (partículas de água presentes na atmosfera) atingem tamanho e peso suficientes para vencer as correntes de ar ascendentes nas nuvens (Harjo, 2017). A distinção entre os principais tipos de precipitação na forma de chuva: convectiva, frontal e orográfica; baseia-se na maneira de ascensão do ar úmido (Figura 6) (Collischonn; Dornelles, 2015).

Figura 6 – Tipos de chuva de acordo com a origem do processo.



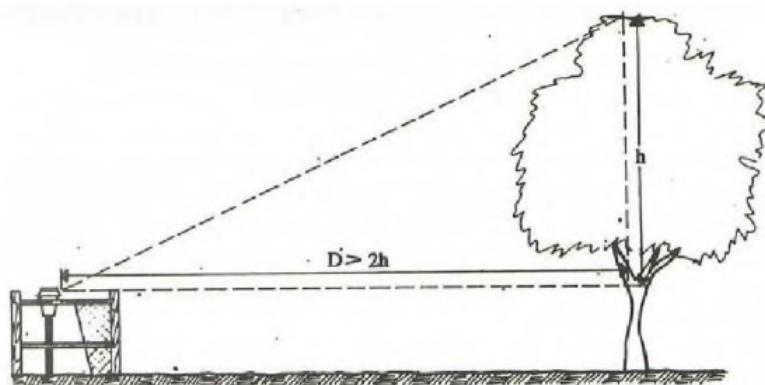
Fonte: Collischonn e Dornelles (2015).

Normalmente, a chuva é registrada utilizando uma unidade de comprimento; assim, em linguagem técnica, sua medida é expressa em milímetros (*mm*), o que representa a altura da lâmina de água acumulada sobre uma superfície horizontal de 1 m^2 equivalendo a 1 litro

(Kobiyama *et al.*, 2006). Além disso, a chuva também pode ser interpretada de acordo com a sua intensidade, em mm/h . A variável precipitação pode ser medida diretamente (Santos *et al.*, 2001), em aparelhos utilizados para a medição *in situ*, *i. e.* pluviômetros e pluviógrafos, a partir dos quais se obtêm os valores precipitados para compreender parte da entrada de água em uma bacia hidrográfica (WMO, 2008). Também podem ser adotados meios alternativos, como garrafas, baldes ou funis, desde que se conheça a área de captação e se meça o volume acumulado de 24 horas, possibilitando assim o cálculo da precipitação referente a um dia (Kobiyama *et al.*, 2006).

Para a adequada aquisição dos dados pluviométricos, o pluviômetro deve ser instalado em terreno plano, relativamente protegido e livre de obstáculos, como árvores, edificações e muros (Santos *et al.*, 2001). Recomenda-se uma distância mínima equivalente ao dobro da altura do obstáculo mais próximo, que excede a altura de instalação do pluviômetro (Figura 7), evitando interferências à precipitação num raio de 5 metros (Santos *et al.*, 2001). Essa distância de instalação também é recomendada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2016).

Figura 7 – Distância recomendada de obstáculos para a instalação do pluviômetro.



Fonte: Santos *et al.* (2001).

2.1.5.2 Vazão

Um dos processos hidrológicos mais importantes que ocorrem em uma bacia hidrográfica é o escoamento nos rios, expresso pela vazão (Mota, 2017). Para uma melhor compreensão do escoamento em rios, pode-se dividir a vazão em diferentes componentes, conforme os caminhos percorridos pela água até alcançar o curso do rio (Mota, 2017). De acordo com Kulandaiswamy e Seetharaman (1969), esses componentes da vazão são classificados como: escoamento superficial, escoamento subsuperficial e escoamento subterrâneo (escoamento de base).

A vazão pode ser mensurada por aparelhos como molinetes, micromolinetes e os Velocímetros Acústicos por Doppler, aparelhos que medem a velocidade do escoamento. A partir de um número de pontos medidos (Tabela 2) e distâncias recomendadas para determinado canal (Tabela 3) obtém-se a vazão do escoamento (Grison; Kobiyama, 2011). Equipamentos mais sofisticados, como o Perfilador de Correntes Acústico Doppler (*Acoustic Doppler Current Profiler*)

também podem ser utilizados para a medição de vazão, em que obtém-se a discretização da seção transversal do canal em pequenas áreas automaticamente, e não se tem a necessidade de medições pontuais de velocidade (Holmes, 2017).

Tabela 2 – Fórmulas para cálculo da velocidade média na vertical. Nota-se que "S" representa a superfície livre da água e "F" representa o fundo do canal.

Nº de pontos	Posição na vertical em relação a profundidade (p)	Cálculo da velocidade média (Vm) na vertical	Profundidade (m)
1	0,6 p	$V_m = V_{0,6}$	0,15 – 0,6
2	0,2 e 0,8 p	$V_m = \frac{(V_{0,2} + V_{0,8})}{2}$	0,6 – 1,2
3	0,2; 0,6 e 0,8 p	$V_m = \frac{(V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8})}{4}$	1,2 – 2,0
4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 p	$V_m = \frac{(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8})}{6}$	2,0 – 4,0
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F	$V_m = \frac{[V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f]}{10}$	>4,0

Fonte: ANA (2014).

Tabela 3 – Distância recomendada entre verticais.

Largura do rio (m)	Distância entre verticais (m)
$\leq 3,0$	0,30
3,0 - 6,0	0,50
6,0 - 15,0	1,00
15,0 - 30,0	2,00
30,0 - 50,0	3,00
50,0 - 80,0	4,00
80,0 - 150,0	6,00
150,0 - 250,0	8,00
$\geq 250,0$	12,00

Fonte: DNAEE, 1967 *apud* Santos *et al.* (2001).

O monitoramento da vazão também pode ser feito pela medição de nível da água quando existe uma curva-chave ou uma seção controlada, como o vertedor de uma barragem ou uma calha Parshall. Essa medição pode ser realizada por equipamentos como linímetro, linígrafo, sondas de nível ou de pressão. Além disso, ferramentas baseadas em imagens de vídeo podem ser utilizadas para mensurar a vazão, estimando as velocidades da superfície usando métodos de velocimetria de partículas por imagem (WMO, 2008), como o *Particle Image Velocimetry* (PIV) (Adrian, 2005) e o *Large-Scale Particle Image Velocimetry* (LSPIV) (Patalano; García; Rodríguez, 2017).

2.1.5.3 *Qualidade da água*

A qualidade da água resulta tanto de fenômenos naturais quanto de interferências antrópicas, e pode ser descrita por meio de diferentes parâmetros, que descrevem suas principais características físicas, químicas e biológicas (von Sperling, 2014). A composição física, química e biológica das águas naturais é moldada por processos hidrológicos na bacia hidrográfica, sendo diretamente influenciada pelo uso do solo, atividades humanas e dinâmicas de transporte de contaminantes via escoamento superficial e subterrâneo (Libânio, 2010). De acordo com von Sperling (2014) os parâmetros físicos são traduzidos por cor, turbidez, sabor e odor, temperatura; os parâmetros químicos por meio de pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro e manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes inorgânicos, micropoluentes orgânicos; e os parâmetros biológicos estão relacionados a microrganismos. Além disso, a qualidade existente em um corpo hídrico distingue-se da qualidade desejável, sendo esta última definida em função dos usos previamente estabelecidos (von Sperling, 2014).

A definição da qualidade das águas em mananciais requer sua categorização em classes específicas, considerando seus usos (von Sperling, 2014). No contexto regulatório brasileiro, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 (Brasil, 2005), alterada pela Resolução CONAMA 410/2009 (Brasil, 2009) e pela 430/2011 (Brasil, 2011), define os corpos hídricos, estabelecendo: águas doces (salinidade inferior a 0,5%), salobras (salinidade entre 0,5% e 30%) e salinas (salinidade superior a 30%), determinando os usos potenciais admitidos para o corpo hídrico em sua totalidade ou em parte dele. A resolução ainda apresenta os parâmetros referentes às classes de qualidade da água (classe especial, classe 1, classe 2, classe 3, classe 4), considerando parâmetros como pH, oxigênio dissolvido (OD), turbidez, entre outros.

As principais fontes de dados de monitoramento de qualidade da água no Brasil são a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) com foco em monitoramento quantitativo, além da coleta de parâmetros básicos de qualidade, como pH, temperatura, OD, turbidez e condutividade elétrica; e a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água (RNQA) que, por sua vez, monitora parâmetros adicionais que exigem coleta e análises laboratoriais, sendo operacionalizada pelo Programa Qualiágua, coordenado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e executado pelas Unidades da Federação (UFs) (ANA, 2024).

De acordo com a CETESB (2021) o significado ambiental e sanitário dos parâmetros básicos de qualidade das águas são:

- **Potencial Hidrogeniônico (pH):** O pH é um parâmetro importante em muitos estudos de saneamento ambiental, pois interfere em diversos equilíbrios químicos presentes tanto em ambientes naturais quanto em etapas específicas do tratamento de água. Nos ecossistemas aquáticos, sua influência ocorre de forma direta, ao afetar a fisiologia dos organismos, e também de maneira indireta, ao favorecer, em determinadas faixas, a precipitação de elementos potencialmente tóxicos, como os metais pesados, ou ao

modificar a solubilidade de nutrientes. Em função desses efeitos, a legislação federal estabelece intervalos aceitáveis de pH para as diferentes classes de águas naturais, sendo que, para a proteção da vida aquática, recomenda-se que os valores permaneçam entre 6 e 9.

- **Temperatura (T) ($^{\circ}\text{C}$):** A temperatura da água em corpos hídricos naturais varia de acordo com o regime climático, apresentando oscilações sazonais, diurnas e também variação vertical em função da profundidade. Fatores como latitude, altitude, estação do ano, horário do dia, velocidade do fluxo e profundidade influenciam diretamente a temperatura superficial da água. Elevações térmicas significativas geralmente resultam do lançamento de efluentes aquecidos, especialmente por indústrias como as canaveiras e por usinas termoelétricas. A temperatura exerce papel fundamental no ambiente aquático, uma vez que afeta diversas propriedades físico-químicas da água. À medida que a temperatura aumenta na faixa de 0 a 30°C , observa-se a redução de características como viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização, enquanto propriedades como condutividade térmica e pressão de vapor tendem a aumentar. Além disso, os organismos aquáticos possuem faixas de tolerância térmica específicas, com limites superiores e inferiores, bem como intervalos ótimos para crescimento, reprodução, migração e incubação dos ovos, o que torna a temperatura um fator determinante para o equilíbrio ecológico desses sistemas.
- **Oxigênio Dissolvido (OD) (mg/L):** O oxigênio atmosférico dissolve-se em corpos d'água naturais devido à diferença de pressão parcial entre o ar e a água, sendo sua taxa de incorporação influenciada pelas condições hidráulicas do ambiente. Essa transferência é mais eficiente em trechos com maior turbulência, como em cascatas, comparada a rios de fluxo moderado ou a ambientes mais lentos, como represas. Além da troca com a atmosfera, a fotossíntese realizada por algas também representa uma fonte relevante de oxigênio dissolvido, embora essa contribuição seja limitada em áreas degradadas por poluição, onde a elevada turbidez e coloração impedem a penetração da luz solar e restringem o desenvolvimento da biota fotossintetizante. Em ambientes eutrofizados, o excesso de algas pode ocultar o real estado de poluição ao elevar artificialmente os níveis de oxigênio dissolvido. De modo geral, águas com baixa concentração de oxigênio indicam altos níveis de poluição orgânica, enquanto águas limpas tendem a apresentar concentrações próximas ao nível de saturação. A presença adequada de oxigênio dissolvido é essencial tanto para a autodepuração dos corpos hídricos quanto para o funcionamento eficiente de sistemas de tratamento de esgotos, sendo também um indicador da capacidade do ambiente aquático de sustentar a vida.
- **Turbidez (NTU):** A turbidez da água refere-se à sua opacidade, resultante da presença de partículas em suspensão que dificultam a passagem da luz por absorção e espalhamento,

já que essas partículas *i. e.* argila, silte, areia, algas, bactérias e outros materiais orgânicos e inorgânicos, são maiores que o comprimento de onda da luz visível. Entre os fatores que contribuem para o aumento da turbidez está a erosão das margens dos rios em períodos chuvosos, agravada pelo uso inadequado do solo. Além disso, despejos de esgoto e efluentes industriais, também elevam significativamente os níveis de turbidez, podendo formar bancos de sedimentos e comprometer o equilíbrio do ecossistema aquático. Valores elevados de turbidez reduzem a penetração de luz, afetando a fotossíntese de plantas aquáticas e algas, o que impacta negativamente a produtividade de organismos como os peixes, além de prejudicar os usos doméstico, industrial e recreacional da água.

- **Condutividade Elétrica (CE) ($\mu S/cm$):** A condutividade elétrica da água expressa sua capacidade de conduzir corrente elétrica, estando diretamente relacionada à concentração de íons dissolvidos e à temperatura. Por se tratar de uma medida que reflete a presença de sais na coluna d'água, é amplamente utilizada como um indicador indireto da concentração de poluentes, sendo que valores superiores a $100 \mu S/cm$ costumam sugerir ambientes sob influência antrópica. Além disso, a condutividade permite identificar alterações na composição da água, especialmente no que se refere à sua mineralização, embora não possibilite a distinção entre os diferentes íons presentes. De modo geral, esse parâmetro tende a aumentar com o acréscimo de sólidos dissolvidos e, quando apresenta valores elevados, pode estar associado a características corrosivas da água.

2.1.5.4 Isótopos

Isótopos são elementos que possuem o mesmo número atômico (Z), mas diferem no número de nêutrons (n), resultando em distintos números de massa ($A_t = Z + n$) e se classificam em duas categorias: isótopos estáveis e radioativos, ambos utilizáveis como traçadores (Barros, 2005). Na hidrologia isotópica, considera-se que os isótopos de oxigênio e hidrogênio na molécula de água atuam como traçadores conservativos, distinguindo "água antiga" (pré-existente) de "água nova" (precipitação recente) (Kendall; Doctor; Young, 2014). Dessa forma, a diferença no número de massa é fundamental para aplicações ambientais, especialmente em elementos leves como Hidrogênio (H), Carbono (C), Nitrogênio (N), Oxigênio (O) e Enxofre (S), que apresentam múltiplos isótopos estáveis com abundâncias variáveis na natureza (Barros, 2005). Essa variabilidade decorre de taxas distintas de reação em processos termodinâmicos entre diferentes espécies moleculares, permitindo seu uso como marcadores naturais em estudos ambientais (Barros, 2005).

Já na biogeoquímica isotópica, isótopos de solutos (como C, N e S) revelam origens de contaminantes, reações água-rocha e ciclos de nutrientes, embora sejam mais suscetíveis a alterações químicas (Kendall; Doctor; Young, 2014). Essas abordagens complementares integram informações sobre movimentação da água e transformações químicas em sistemas naturais (Kendall; Doctor; Young, 2014). Dessa forma, os isótopos ambientais, tais como ^{16}O , ^{18}O , 2H e

^3H , são características valiosas na hidrologia e na biogeoquímica, permitindo rastrear fontes de água, caminhos de fluxo e processos biogeoquímicos (Hu *et al.*, 2009; Kendall; Doctor; Young, 2014). Dessa forma, como traçadores naturais, os isótopos ambientais permitem acompanhar o processo de transporte da água no ciclo hidrológico e as variações em seus valores isotópicos fornecem informações sobre a transferência da água no solo (Hu *et al.*, 2009). Os traçadores isotópicos são extremamente úteis para fornecer novas perspectivas sobre processos hidrológicos, pois integram a variabilidade em pequena escala, oferecendo uma indicação efetiva dos processos em escala de bacia hidrográfica (Kendall; Doctor; Young, 2014).

2.2 BACIA EXPERIMENTAL

Para monitorar os processos hidrológicos, é fundamental analisar a escala espacial e temporal em que estes ocorrem (Mota, 2017). Dessa forma, na hidrologia, uma escala de monitoramento que foi amplamente aplicada é a de pequena bacia experimental (Mota, 2017). Toebe e Ouryvaev (1970) afirmam que as bacias experimentais são ferramentas ideais para a pesquisa hidrológica fundamental, e, por meio da instrumentação disponível nas bacias, têm o potencial para o treinamento da equipe de estudo.

Uma bacia experimental, ou bacia hidrográfica experimental¹, é aquela onde foi ou está sendo realizado um pré-experimento planejado e os resultados analisados partem de observações contínuas de vazão, precipitação e outras variáveis hidrológicas (Hewlett; Lull; Reinhart, 1969). Essas bacias apresentam características físicas uniformes e são relativamente homogêneas quanto ao solo e à vegetação (Toebe; Ouryvaev, 1970). Porém, nem toda pequena bacia hidrográfica com medições por um período e que, posteriormente, seus dados foram analisados qualifica-se como bacia experimental (Hewlett; Lull; Reinhart, 1969).

Segundo Mota (2017), bacias experimentais são utilizadas para a realização de estudos detalhados do ciclo hidrológico. Pequenas bacias, devido às suas características de homogeneidade, muitas vezes são utilizadas em pesquisas que buscam um melhor entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos que influenciam no ciclo hidrológico (Goldenfum, 2016). Assim, devido à necessidade desses estudos detalhados, o tamanho de bacias experimentais, normalmente, é restrito a uma área máxima de 4 km² (Toebe; Ouryvaev, 1970). Toebe e Ouryvaev (1970) demonstraram que os dados monitorados podem ser coletados de acordo com a finalidade das observações, sendo, no mínimo: dados de precipitação e vazão.

¹ Um experimento é definido como um teste, ou uma série de execuções, em que são feitas alterações propositalmente nas variáveis de entrada de um processo (ou sistema) para que seja possível observar e identificar os motivos das alterações observadas na resposta de saída, além de possuir validação interna (Montgomery, 2013). Desta forma, apesar de seu nome "bacia experimental", esta não se trata de um experimento puro, pois as variáveis hidrológicas não podem ser controladas, podendo ser identificadas como um pré-experimento (Sampieri; Collado; Lucio, 2013).

2.3 SOCIO-HIDROLOGIA

Sivapalan, Savenije e Blöschl (2012) apresentam a socio-hidrologia como a ciência que estuda a relação bidirecional entre a sociedade e a água, reconhecendo as pessoas como parte intrínseca do ciclo hidrológico e a água como elemento essencial para o desenvolvimento humano. Segundo os autores, essa interação pode se manifestar de diversas formas, como no consumo de água para alimentação, produção de energia e abastecimento de água potável, poluição dos recursos de água doce e, finalmente, por meio de políticas, mercados e tecnologia. Complementando essa perspectiva, Vanelli e Kobiyama (2019) expõem que a socio-hidrologia busca ampliar o entendimento das dinâmicas entre sociedade e hidrologia, não como uma ciência que substitui abordagens tradicionais, mas como um campo complementar que aprofunda a compreensão da água ao considerar sua interação contínua com os seres humanos.

Segundo Kobiyama *et al.* (2019), a socio-hidrologia, além de investigar as interações entre as atividades sociais e os processos hidrológicos, também busca promover o engajamento das comunidades locais em iniciativas científicas voltadas à hidrologia. Essa aproximação entre ciência e sociedade contribui diretamente para a mitigação de desastres naturais (Kobiyama *et al.*, 2019). Nesse contexto, Vanelli e Kobiyama (2021) propõem a adoção de uma abordagem integrativa, que combine dados quantitativos e qualitativos, aliada a métodos que explorem tanto as interações internas entre a hidrologia e as ciências sociais quanto as interações externas entre a comunidade científica e a sociedade. Essa proposta reforça a bidirecionalidade como elemento central nas pesquisas em socio-hidrologia, ampliando sua capacidade de resposta a riscos hidrológicos complexos (Vanelli; Kobiyama, 2021).

Para compreender de forma mais aprofundada os contextos socioeconômicos, políticos e culturais em diferentes territórios, as pesquisas científicas em geral têm buscado integrar abordagens qualitativas e quantitativas (Di Baldassarre *et al.*, 2019). Dessa forma, de acordo com Di Baldassarre *et al.* (2019), a socio-hidrologia desempenha o papel catalisador na articulação desses diferentes tipos de dados, mas esse esforço envolve grandes desafios científicos. Nesse sentido, Vanelli, Kobiyama e de Brito (2022) apresentam a necessidade de fomentar colaborações entre e por meio das disciplinas e das partes interessadas, sugerindo mais grupos de estudo interdisciplinares e o envolvimento genuíno das partes interessadas e atores locais em todas as etapas de estudo.

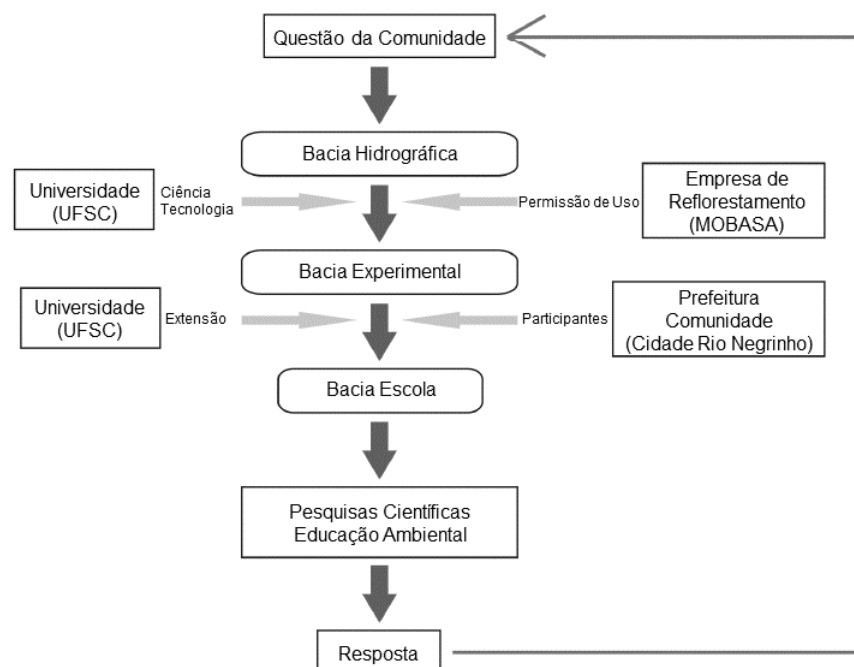
Rangecroft *et al.* (2021) destacam que as colaborações interdisciplinares enfrentam desafios significativos, relacionados às diferenças metodológicas, terminológicas, filosóficas e, sobretudo, à falta de familiaridade dos pesquisadores com outras áreas do conhecimento. No entanto, os autores argumentam que essas distinções de perspectiva e a complexidade envolvida são justamente os elementos necessários para compreender os problemas do mundo real e propor possíveis soluções. Nesse mesmo sentido, Vanelli, Kobiyama e de Brito (2022) reforçam que a integração de diferentes tipos de conhecimento é essencial em diversos campos da socio-hidrologia, especialmente no contexto da redução de riscos de desastres. Com isso, adotar abordagens inte-

gratias não implica na homogeneização dos saberes, mas sim no reconhecimento da relevância e das limitações de cada perspectiva envolvida (Vanelli *et al.*, 2022). Complementando essa discussão, Kobiyama *et al.* (2020) apresentam que a bacia-escola se mostra como uma ferramenta promissora para o avanço da socio-hidrologia.

2.4 BACIA-ESCOLA

O termo "bacia-escola" foi originado cientificamente na década de 1960, na região nordeste do Brasil, e adotado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na década de 1970 (Kobiyama *et al.*, 2024). Uma bacia-escola pode ser definida como uma bacia experimental que desenvolve atividades de educação ambiental e pesquisas científicas (Kobiyama *et al.*, 2007). Estes autores, em 2007, apresentaram um projeto piloto denominado Projeto de Hidrologia Florestal, que desenvolveu bacias-escola, que tinha a proposta de contribuir com a gestão de recursos hídricos no município de Rio Negrinho, no estado de Santa Catarina, seguindo uma metodologia inovadora (Figura 8). A palavra "escola" já era utilizada pelos gregos, no vocábulo *skholê*, "ês" se referia a repouso, tempo livre, estudo, pessoa livre do trabalho servil, e quando passou para a língua latina, *schòla*, *scholae* significou como ocupação literária, assunto, aula, divertimento (Martins, 2005). Neste contexto, o conceito de bacia-escola pode abranger além da obtenção de conhecimento.

Figura 8 – Fluxograma do Projeto de Hidrologia Florestal com a utilização de bacia-escola.



Fonte: Adaptado de Kobiyama *et al.* (2007).

O conceito de bacia-escola foi redefinido por Kobiyama *et al.* (2020) como região geográfica que possui instrumentos de medição e que pode ser utilizada para atividades de ensino, promovendo o aprendizado em ciências, educação e outras formas de desenvolvimento

intelectual acessível a todos os cidadãos, além de poder ser utilizada para pesquisas científicas. Posteriormente, em 2024, o conceito foi redefinido por Kobiyama *et al.* (2024) como uma bacia hidrográfica à qual possui monitoramento e/ou diagnóstico em campo, destinada a pesquisas científicas e atividades educativas que incentivam o aprendizado em ciências, educação ambiental e desenvolvimento intelectual para todos os cidadãos. Outra definição do termo bacia-escola também foi discutida em parceria do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e o Instituto de Educação de Angra dos Reis (IEAR) da Universidade Federal Fluminense (UFF), em que bacia-escola é conceituada como “uma tecnologia social² que adota uma bacia ou sistema hidrográfico em busca da sustentabilidade e resiliência a desastres por meio da gestão ambiental participativa integrando ciência cidadã, educação ambiental e hidro-solidariedade” (Sato, 2022).

A aplicação e trabalho com uma bacia-escola, além de possibilitar que a comunidade local registre dados hidrológicos, permite que os moradores ensinem e aprendam a partir de suas experiências com a bacia-escola e suas interações com fenômenos naturais (Vanelli; Kobiyama, 2021). Vanelli e Kobiyama (2021) apontaram que a comunidade local tem o potencial de (i) fornecer dados socio-hidrológicos a partir de abordagens interdisciplinares; (ii) adquirir maior consciência sobre os serviços ecossistêmicos; e (iii) ser capaz de atuar na sua proteção individual e coletiva durante eventos extremos. Com isso, por meio da educação ambiental, a comunidade é motivada a fazer parte das atividades de coleta de dados e pode adquirir conhecimento sobre as ciências hidrológicas, dessa forma, fornecendo mais informações sobre a bacia hidrográfica local (Kobiyama *et al.*, 2020). Por fim, as bacias-escola podem incentivar a comunidade a se conectar com a bacia hidrográfica, permitindo que experimentem e observem o ambiente, participem de atividades recreativas e assim por diante (Vanelli; Kobiyama, 2021).

Em estudo exploratório, Giacomel *et al.* (2021) investigaram práticas de bacias-escola e concluíram que projetos piloto de bacia-escola foram implementados em cerca de 26 locais no Brasil. A maior parte das bacias-escola brasileiras apresentou objetivos variados dependendo dos problemas existentes em cada região e é desenvolvida por universidades federais e estaduais por meio de atividades de extensão (Giacomel *et al.*, 2021). Um exemplo de bacia-escola, como tecnologia social, que envolve cidadãos locais em discussões sobre soluções para problemas existentes visando ações para conservar o meio ambiente, é a "Bacia Escola do Retiro", no município de Angra dos Reis (Estado do Rio de Janeiro) (Sato *et al.*, 2022).

Desta forma, para fortalecer a gestão, a bacia-escola oferece a possibilidade de fornecer informações locais aos seus moradores sobre desastres naturais, proporcionando ainda com que identifiquem esses desastres com antecedência, ou seja, adquirindo consciência do risco (Kobiyama *et al.*, 2020). Além disso, comunidades que possuem conhecimentos sobre auto-proteção podem compartilhar a responsabilidade com as autoridades públicas, e assim, cada

² Uma tecnologia social é um conjunto de técnicas e metodologias inovadoras, criadas e/ou utilizadas em colaboração com a população e que são adotadas por ela, representando soluções para promover a inclusão social e melhorar a qualidade de vida (ITS, 2004)

cidadão dispõe tanto de direitos quanto deveres no que diz respeito ao gerenciamento de riscos de desastres (Vanelli; Kobiyama, 2021). Essas responsabilidades concordam com o que é definido na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Brasil, 2012a).

2.5 EDUCAÇÃO AMBIENTAL

A Educação Ambiental (EA) é parte integrante do processo educacional, e tem como objetivo construir um senso de valores, contribuir para o bem-estar público e preocupar-se com a sobrevivência da espécie humana, e ainda, deve ser centrada em problemas práticos e ter caráter interdisciplinar (UNESCO, 1978). Ela se concentra em resultados em várias escalas, incluindo no nível individual (como atitudes ou comportamento ambiental de um indivíduo), nível social (capacitação da comunidade) e nível do ecossistema (por exemplo, o número de uma espécie ameaçada) (Ardoín; Bowers; Gaillard, 2020). Esses conceitos são ratificados na Lei Federal nº 9.795 de 1999, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), em que EA se refere aos processos em que o indivíduo e a coletividade desenvolvem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências focadas na preservação do meio ambiente (Brasil, 1999).

Como elemento fundamental e permanente da educação nacional, a EA deve estar incorporada em todos os níveis e modalidades do processo educativo, de forma articulada, no ensino formal e não formal (Brasil, 1999). De acordo com Eshach (2007), o ensino formal é estruturado, geralmente ocorre na escola de forma sequencial e mediada, em que a aprendizagem é avaliada e de caráter obrigatório. Ainda, conforme este autor, a educação não formal acontece de forma planejada, como a formal, porém é altamente adaptável, em instituições, organizações e situações além da sala de aula, podendo ser mediada, mas a motivação para a aprendizagem pode ser totalmente intrínseca ao aprendiz. Por fim, este autor comenta que, além da educação formal e não formal, existe a educação informal, que ocorre espontaneamente nas situações do cotidiano, como dentro do círculo familiar ou na vizinhança. Assim, o resultado do conhecimento ambiental pode ser atingido de diversas maneiras, como, por exemplo, a conscientização dos alunos sobre as mudanças climáticas, seu conhecimento sobre como reciclar os resíduos sólidos ou sua compreensão de tópicos, como o ciclo hidrológico (van de Wetering *et al.*, 2022).

O desenvolvimento da EA pode ser considerado um campo de ação ideal para a cooperação regional e internacional, uma vez que a unidade de propósito de todos os povos e de todos os governos se faz necessária para prevenir e resolver os problemas ambientais (UNESCO, 1978). No Brasil, a Lei Federal nº 9.795 de 1999 (Brasil, 1999) em seu Artigo 4º, apresenta que os princípios básicos da EA são:

- possuir uma abordagem educacional humanista, holística, democrática e participativa, levando em consideração a totalidade do meio ambiente e sua interdependência entre os aspectos natural, socioeconômico e cultural sob a perspectiva da sustentabilidade;

- promover o pluralismo de ideias e concepções pedagógicas através da inter, multi e transdisciplinaridade;
- garantir a conexão entre ética, educação, trabalho e práticas sociais;
- assegurar a continuidade e permanência do processo educativo;
- manter uma avaliação crítica constante do processo;
- articular as questões ambientais em níveis local, regional, nacional e global; e
- reconhecer e respeitar a pluralidade e diversidade individual e cultural.

2.6 CIÊNCIA CIDADÃ

A participação do público em geral (não cientistas) na geração de novo conhecimento científico é chamada de ciência cidadã (Buytaert *et al.*, 2014), ainda que existam múltiplas e diferentes definições para ciência cidadã, bem como diferentes níveis de engajamento em suas ações (Haklay *et al.*, 2021). As pesquisas científicas envolvendo ciência cidadã ganharam atenção na última década (Kullenberg; Kasperowski, 2016), em várias ciências, inclusive nas ciências hidrológicas (Nardi *et al.*, 2022; Starkey *et al.*, 2017), embora suas práticas sejam muito mais antigas. A ciência cidadã tem funções potenciais tanto como interface de dados com base científica quanto como coprodução de conhecimento a partir do aprendizado mútuo (Albagli; Iwama, 2022; Buytaert *et al.*, 2014). Além disso, os dados coletados e compartilhados pelos cidadãos podem fornecer informações úteis aos cientistas ambientais e, ao mesmo tempo, capacitar os cidadãos a se envolverem em debates sobre questões de sustentabilidade local e global e o que precisa ser feito para resolvê-las (Dunkley, 2017; Wals *et al.*, 2014). Esse envolvimento entre os pesquisadores e a sociedade, em busca de soluções globais, baseado nas experiências locais corrobora com um dos objetivos da Década científica atual - HELPING, o que evidencia a importância do conhecimento local (Arheimer *et al.*, 2024).

A ciência cidadã é um campo interdisciplinar, reunindo especialistas de distintas áreas do conhecimento (como ciências naturais e sociais), e essa configuração plural, ainda que associada a divergências epistemológicas, favorece a triangulação metodológica e a validação de achados consensuais (Conrad; Hilchey, 2011). Dessa forma, essa abordagem oferece oportunidades significativas para complementar a pesquisa hidrológica tradicional, gerar novos conhecimentos e contribuir para a gestão sustentável de recursos hídricos (Buytaert *et al.*, 2014), oferecendo aos hidrólogos a oportunidade na integração de processos científicos, sociais, econômicos, culturais, políticos e administrativos (Nardi *et al.*, 2022). Segundo Buytaert *et al.* (2014), os avanços tecnológicos também abrem novas possibilidades para o monitoramento hidrológico por meio da ciência cidadã, como suas oportunidades e desafios descritos no Quadro 2. Além disso, as observações da comunidade podem ser utilizadas para a modelagem e caracterização de bacias hidrográficas (Starkey *et al.*, 2017).

Quadro 2 – Variáveis hidrológicas medidas comumente, oportunidades e desafios identificados nas aplicações da ciência cidadã.

Variável	Oportunidades	Desafios
Precipitação	Equipamentos de menor custo (pluviômetros de garrafa PET). Análise agregada de influências ambientais. Integração com sensoriamento remoto.	Instalação e manutenção adequadas. Documentação das condições ambientais. Coleta de dados em longo prazo.
Vazão	Medições robustas e econômicas de nível d'água. Coleta de dados para calibração. Técnicas emergentes de análise de imagem (LSPIV).	Instalação e manutenção adequadas. Controle de qualidade. Suporte técnico necessário.
Qualidade da água	Kits de análise de baixo custo. Medição automática de parâmetros indiretos. Identificação de macroinvertebrados. Análise visual e olfativa.	Custo elevado para alguns parâmetros. Documentação do contexto observacional. Estratégia de amostragem complexa. Possibilidade de contaminação do cidadão.
Umidade do solo	Medições automáticas mais acessíveis.	Correlação com outros atributos pedológicos. Variabilidade espacial significativa.
Dinâmica da vegetação	Técnicas de baixo custo (GPS, fotografia). Identificação remota. Utilização de aplicativo de reconhecimento de vegetação.	Sistematização dos dados. Processamento de informações. Integração com sensoriamento remoto.
Uso da água	Sensores eletrônicos disponíveis. Comunicação de dados via internet. Caminhadas com observação de possíveis usos	Interpretação e extrapolação de dados. Potencial interferência humana.

Fonte: Modificado de Buytaert *et al.* (2014).

Apesar dos avanços tecnológicos, a hidrologia continua sendo uma ciência com escassez de dados (Nardi *et al.*, 2022) e a ciência cidadã pode auxiliar a preencher essa lacuna de dados, fornecendo observações distribuídas e diversas (Buytaert *et al.*, 2014; Nardi *et al.*, 2022; Starkey *et al.*, 2017). No entanto, desafios relacionados à qualidade dos dados, sua interpretação, integração com dados tradicionais e modelos hidrológicos, bem como questões de legitimidade e governança, precisam ser analisados (Buytaert *et al.*, 2014). Os procedimentos para incorporar efetivamente o conhecimento dos cidadãos na política e na tomada de decisões são deficientes e não existem estruturas conceituais gerais para apoiar a adoção generalizada da ciência cidadã na governança da água participativa e intersetorial (Nardi *et al.*, 2022). Dessa forma, estudos de caso em diferentes contextos geográficos ilustram o potencial e os desafios da implementação da ciência cidadã na hidrologia e na gestão de recursos hídricos, destacando a importância de abordagens contextualmente relevantes e da colaboração entre cientistas e comunidades locais (Buytaert *et al.*, 2014). Ainda, de acordo com Buytaert *et al.* (2014), o envolvimento a longo prazo dos cidadãos requer: a criação de mecanismos contínuos e significativos de retorno mútuo entre

pesquisadores e comunidade, que possibilitem o compartilhamento constante de informações, resultados e ajustes do processo; a integração da ciência cidadã em estruturas institucionais existentes; e o reconhecimento da legitimidade de diferentes sistemas de conhecimento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa iniciou com uma abordagem exploratória por meio da discussão dos conceitos de bacia-escola. A partir disso, duas etapas metodológicas interconectadas foram desenvolvidas, isto é, a aplicação de uma bacia experimental e a estruturação de uma bacia-escola. Estes temas foram abordados visando proporcionar o envolvimento da comunidade geral e acadêmica com a ciência hidrológica, por meio da extensão universitária e atividades de ciência cidadã. Para isso, métodos quantitativos e qualitativos serão utilizados, com o apoio da socio-hidrologia e da ciência cidadã.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A universidade, por meio de seu pilar extensionista, configura-se como instituição propícia à intermediação entre o meio acadêmico e a comunidade. Diante desse contexto, optou-se por desenvolver uma bacia-escola nas dependências da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no Centro de Ciências Tecnológicas (CCT), sediada no município de Joinville/SC. Assim, a área de estudo, situada na Zona Industrial Norte do município, foi utilizada para a implementação de uma bacia experimental, com subsequente estruturação de uma bacia-escola, alinhando-se às diretrizes extensionistas de interação universidade-sociedade.

O município de Joinville está localizado na região norte do Estado de Santa Catarina, possui área de $1.127,947 \text{ km}^2$ e apresenta a maior população do estado, 616.317 habitantes (IBGE, 2022). A oeste, o município é cercado por uma cadeia montanhosa (Serra do Quiriri, Serra Queimada e Serra do Mar) com mais de mil metros de altitude (Mello; Koehntopp; Oliveira, 2015; Silveira *et al.*, 2009) e, ao leste, está localizada a Baía da Babitonga. Observa-se elevada precipitação anual média ($2.130,1 \text{ mm}$) devido às características orográficas de Joinville e, conseqüentemente, possui alto potencial para fenômenos hidrológicos extremos, como deslizamentos de terra e inundações (Mello; Oliveira, 2016). Além disso, o município é conhecido por sua vocação industrial, tendo seu principal desenvolvimento após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), abrigando indústrias de renome nacional e internacional (Rocha, 1997).

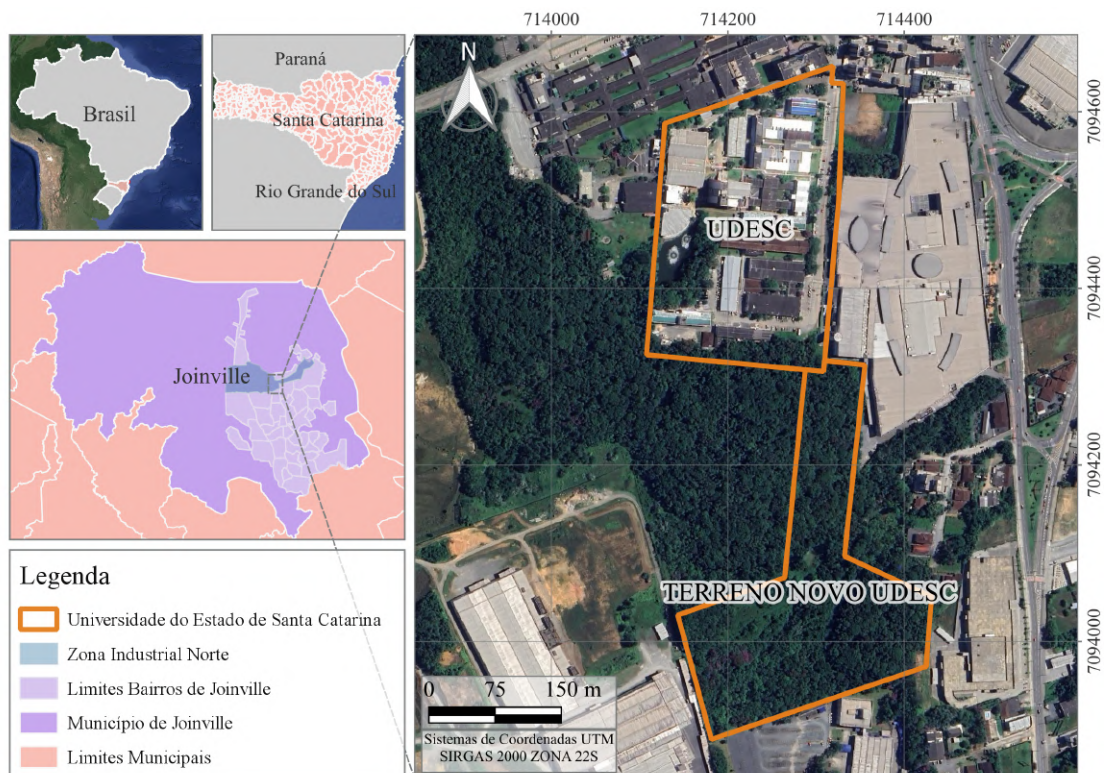
A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte (BHRC), que possui área total de 492 km^2 e canal principal com 88 km de extensão, com sua nascente localizada na Serra Queimada e seu exutório no estuário da Baía da Babitonga (Silveira *et al.*, 2009). A bacia em questão situa-se em dois municípios: 80% da sua área total em Joinville e 20% em Garuva (Gonçalves; Zanotelli; Oliveira, 2006). Além disso, a BHRC é considerada uma das principais bacias hidrográficas da região nordeste de Santa Catarina, sendo a principal fonte de contribuição hídrica para o complexo estuarino da Baía da Babitonga (Gonçalves; Zanotelli; Oliveira, 2006). Na bacia, está localizada a Estação de Captação e Tratamento de Água (ETA) Cubatão, responsável por 77% do abastecimento urbano do município (Campioli; Vieira, 2019). Segundo Gonçalves, Zanotelli e Oliveira (2006), o baixo curso da BHRC passou por significativa

transformação cultural, devido à instalação do Distrito Industrial de Joinville (Zona Industrial Norte), alterando a ocupação da área rural para a industrial.

A Zona Industrial Norte foi concebida pela Lei nº 1.262, que se refere ao Plano Diretor de Urbanismo em 1973 (Joinville, 1973), e instituída em 1975, pela Lei nº 1.411 do Plano Diretor da Zona Industrial de Joinville (Joinville, 1975). Ainda, a Zona Industrial Norte de Joinville foi consolidada como sendo o Distrito Industrial de Joinville em 1979, a partir de convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de Joinville (PMJ) e a Companhia de Distritos Industriais de Santa Catarina (CODISC), e teve como seu principal objetivo o desenvolvimento industrial afastado da malha urbana (SEPUD, 2017). O Plano Diretor da Zona Industrial de Joinville foi reestruturado em 1981 pela Lei nº 1.839, em vigor (Joinville, 1981). Neste contexto, o local de estudo está alocado em uma região industrial, e faz divisa com uma grande indústria têxtil, caracterizando então que o ambiente do entorno já teve alterações antrópicas, como a presença de aterros e áreas planejadas, e isso se torna relevante para o entendimento de que o local já foi alterado.

Na região está sediada a UDESC - CCT, na qual se encontra a área de estudo (Figura 9). O novo terreno foi doado pela Prefeitura Municipal de Joinville (Apêndice A) para a universidade com a prerrogativa de desenvolvimento sustentável (UDESC, 2015). A área doada corresponde a 44.200,47 m², adjacente ao campus consolidado da UDESC (Joinville, 2015). Além das atividades que foram desenvolvidas na área de estudo por meio deste trabalho, o terreno também é utilizado para a realização de outras atividades de extensão ligadas à universidade.

Figura 9 – Mapa de localização da área de estudo.



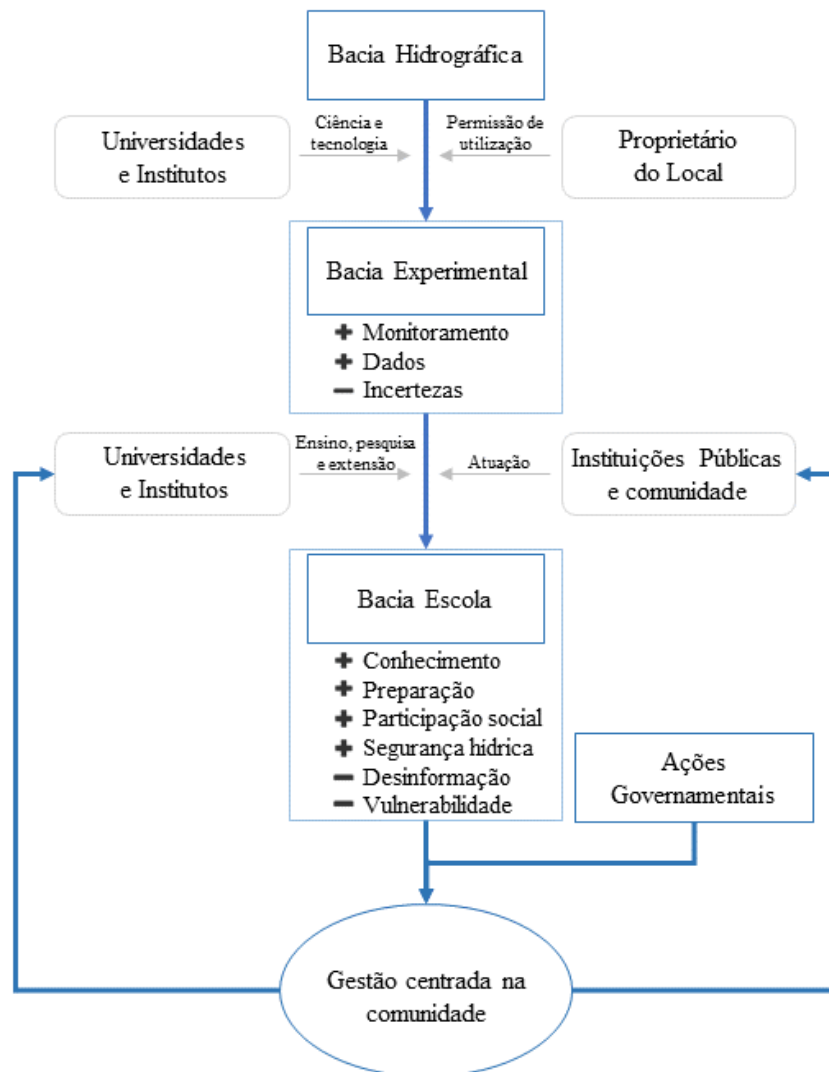
Fonte: Elaborado pela autora.

3.2 ELABORAÇÃO DA BACIA-ESCOLA

A análise da revisão bibliográfica referente aos conceitos de bacia-escola possibilitou observar que este é um conceito ainda em desenvolvimento. Dentre as diferentes definições, algumas similaridades são percebidas, como a relação com uma região geográfica e o desenvolvimento de educação ambiental. A partir disso, a presente pesquisa utilizou o conceito definido por Sato (2022) como norteadora da discussão. A escolha do conceito se deu por conta de sua definição mais ampla ao considerar sistemas hidrográficos, além de bacias hidrográficas.

A utilização da bacia-escola pode reforçar a gestão participativa dos recursos hídricos por meio do conhecimento da bacia hidrográfica local, do envolvimento da comunidade e da cooperação ativa entre as partes envolvidas. A partir da análise dos estudos realizados por Kobiyama *et al.* (2007), Kobiyama *et al.* (2020), Sato (2022), foi proposta uma mudança na metodologia de bacia-escola, tendo por base a Figura 8, de Kobiyama *et al.* (2007) (Figura 10).

Figura 10 – Fluxograma de bacia-escola como ferramenta na gestão participativa.



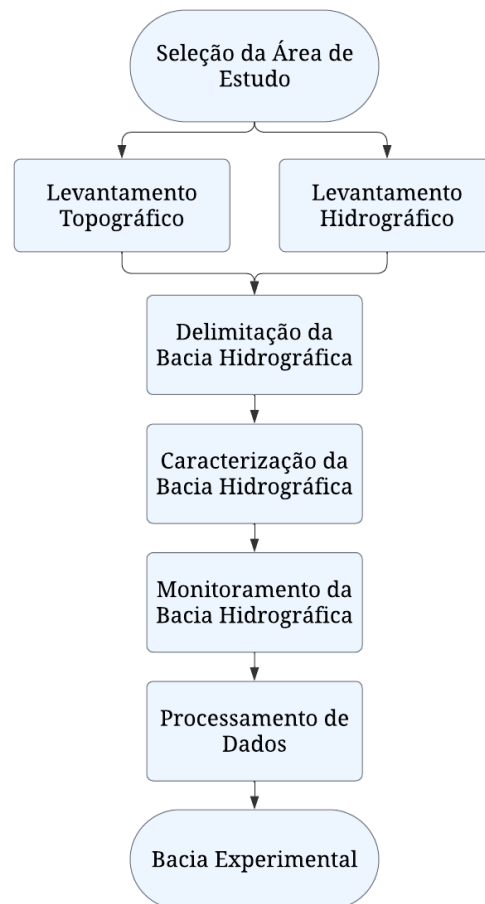
Fonte: Modificado de Kobiyama *et al.* (2007).

Assim, partindo-se da implementação de uma bacia experimental, mais dados hidrológicos são obtidos por meio do monitoramento, reduzindo as incertezas. Em seguida, com a implementação da bacia-escola, espera-se promover o aumento de conhecimento, preparação e participação social em assuntos relacionados a recursos hídricos, como a segurança hídrica, reduzindo a desinformação e a vulnerabilidade da comunidade. Ainda, foi-se observado o público-alvo da bacia-escola.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DA BACIA EXPERIMENTAL

Para nortear a efetivação de uma bacia experimental, foi desenvolvido um fluxograma (Figura 11) com seus principais processos. A delimitação da área de estudo foi efetuada por programa de geoprocessamento, considerando as dependências da universidade. A partir disso, na área de estudo, foram realizados o levantamento topográfico e hidrográfico, delimitação da bacia hidrográfica de estudo, caracterização da bacia hidrográfica e, finalmente, instalados instrumentos de monitoramento hidrológico, com posterior análise e processamento de dados, assim implementando uma bacia experimental.

Figura 11 – Fluxograma para implementação da bacia experimental.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.1 Levantamento Topográfico

O levantamento topográfico foi realizado a partir dos dados topográficos fornecidos pelo Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC) (SDS/SC, 2016). Essa fonte fornece o Modelo Digital de Terreno (MDT) do estado de Santa Catarina (SC), com resolução espacial de 1,00 metro e precisão altimétrica de 1,00 metro. A partir desse dado em formato *raster* é possível extrair as curvas de nível por meio do geoprocessamento.

3.3.2 Levantamento Hidrográfico

Para a realização do levantamento hidrográfico, foram utilizados dados vetoriais disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Joinville no Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGeo) (Joinville, 2021). Os dados foram verificados e validados em campo por meio de registros fotográficos georreferenciados e exportados para o *software* de geoprocessamento.

Como forma complementar, realizou-se a coleta e análise da hidrologia isotópica no inverno (19/08/2024) e no verão (20/02/2025), nos pontos de possíveis nascentes (indicadas no levantamento hidrográfico), e no exutório (demarcado no tópico posterior). Para a coleta adequada das amostras de inverno, períodos sem chuva são os ideais, pois há menos influência da água proveniente das descargas pluviométricas no escoamento. Já para a coleta de verão, as amostras foram coletadas um dia após a chuva. Assim, foram coletadas amostras de 30 mL em frascos de vidro com fechamento por batoque diretamente nos corpos hídricos selecionados. Ainda, na análise de verão, a água da chuva também foi coletada, considerando todo o evento de precipitação. Para isso, foi utilizado um funil acoplado a um recipiente de vidro com 200 mL de óleo mineral, a fim de que a água da chuva não evaporasse. Após 24 horas de exposição, a água acumulada foi separada do óleo utilizando um funil de decantação, de modo que uma alíquota de 30 mL de água da chuva foi retirada para análise isotópica.

As amostras coletadas foram enviadas via correio para a análise no Centro de Isótopos Estáveis do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista (UNESP). As medições de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$ foram realizadas com o espectrômetro de massas EA IsoLink IRMS System, pelo método de conversão de alta temperatura, que permite uma análise direta da razão isotópica de oxigênio e hidrogênio em modo de fluxo contínuo. Para todos os tipos de água, as razões isotópicas são expressas em ‰, conforme

$$\delta^N E = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) 1000, \quad (17)$$

onde N é o número de massa do isótopo pesado do elemento E e R é a razão entre o isótopo pesado e o isótopo leve ($^2\text{H}/^1\text{H}$ ou $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). O erro associado da análise foi de ± 1 ‰ para $\delta^2\text{H}$ e $\pm 0,1$ ‰ para $\delta^{18}\text{O}$. Os resultados obtidos foram enviados pela equipe do Centro de Isótopos Estáveis, sendo posteriormente analisados tendo como padrão V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) (Gröning, 2004).

Posteriormente, foi realizada a delimitação de Áreas de Preservação Permanentes (APPs), observando os critérios legais da Lei Federal nº 12.651 de 2012 (Brasil, 2012b), que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, da Lei Estadual nº 16.342 de 2014 (Santa Catarina, 2014), e da Lei Complementar nº 601 de 2022 (Joinville, 2022a), além da validação em campo. A partir disso, as áreas foram delimitadas manualmente por meio *software* de geoprocessamento e seus resultados discutidos.

3.3.3 Delimitação da Bacia Hidrográfica

Para delimitação da bacia hidrográfica da área de estudo, foi necessário definir o ponto do exutório. Para isso, foram observados os dados topográficos e hidrográficos, bem como considerada a delimitação política do terreno pertencente à universidade, para que o exutório fosse inserido na área de estudo. Assim, a partir dos dados topográficos e do exutório, foi possível realizar a delimitação da bacia hidrográfica.

O local de estudo se encontra em área urbana, por isso, mudanças antrópicas foram consideradas na etapa de delimitação. Por se tratar de uma bacia urbana, a delimitação foi realizada considerando as informações topográficas e intervenções antrópicas. O sistema de drenagem antrópico muda a drenagem natural da bacia hidrográfica, de modo que o divisor de águas pode deixar de ser respeitado na sua delimitação, o que também influencia em sua geometria. Por esses motivos, optou-se por uma delimitação manual, ao invés da automática, garantindo maior precisão na representação da realidade da bacia urbana.

3.3.4 Caracterização da Bacia Hidrográfica

A partir da delimitação da bacia hidrográfica, foi possível analisar os parâmetros morfométricos da mesma. A seguir, serão apresentados os métodos utilizados para a obtenção da hierarquia fluvial, análise linear, análise areal, análise hipsométrica, tempo de concentração, o uso e ocupação do solo, caracterização pedológica e geológica e, por fim, a caracterização de fauna e flora. Dessa forma, foi possível realizar a caracterização da bacia hidrográfica de estudo, considerando suas principais características físicas e ambientais.

3.3.4.1 Hierarquia Fluvial

A delimitação da bacia hidrográfica permite que seja realizada a hierarquização fluvial. Essa etapa foi conduzida conforme os critérios metodológicos propostos por Horton (1945) e aprimorados por Strahler (1957). A partir do ordenamento dos cursos hídricos, pode-se realizar a análise linear da bacia.

3.3.4.2 Análise Linear da Rede Hidrográfica

Para realização da análise linear, foram realizados os procedimentos apresentados por Christofoletti (1980). Neste trabalho, a definição de rio principal foi a de curso d'água mais

longo, apresentada por Shreve (1974), e seu comprimento foi obtido manualmente por meio de *software* de geoprocessamento com base nos dados vetoriais. Os índices de cálculo estão organizados no Quadro 3.

Quadro 3 – Relações e índices calculados para análise linear.

Análise	Equação
Relação de bifurcação (R_b)	(1)
Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (RLm)	(2) e (3)
Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (R_{ib})	(4)
Extensão do percurso superficial (Eps)	(5)
Relação do equivalente vetorial (Rev)	(6)
Gradiente de canais (Rgc)	(7)

Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.4.3 Análise Areal da Bacia Hidrográfica

A análise areal da bacia hidrográfica de estudo foi realizada de acordo com os procedimentos expostos por Christofolletti (1980). A área da bacia foi calculada por meio de ferramenta de geoprocessamento, conforme a sua delimitação. O comprimento da bacia foi obtido seguindo um dos critérios apresentados por Christofolletti (1980), sendo a distância medida em linha reta entre o exutório e o ponto mais distante do exutório no perímetro da bacia hidrográfica. Os índices de cálculo referentes à análise areal estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Relações e índices calculados na análise areal.

Análise	Equação
Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia	(8)
Forma da bacia (K_c)	(9)
Densidade de rios (Dr)	(10)
Densidade de drenagem (Dd)	(11)
Densidade de segmentos da bacia (F_s)	(12)
Coeficiente de manutenção (Cm)	(14)

Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.4.4 Análise Hipsométrica

Para o estudo hipsométrico da bacia hidrográfica de estudo, realizou-se a curva hipsométrica por meio dos dados do MDT, da área da bacia e da hierarquização fluvial de Strahler (1957) utilizando *software* de geoprocessamento. A amplitude máxima da bacia foi obtida por meio da diferença entre a maior e a menor cota presente na bacia. A relação de relevo foi calculada de acordo com a Equação 15 e o índice de rugosidade pela Equação 16.

3.3.4.5 Tempo de Concentração

O tempo de concentração (t_c) da bacia hidrográfica foi calculado a partir das características da área de estudo. De acordo com Silveira (2005), para bacias urbanas, a equação recomendada é a de Carter (Equação 18), e para bacias pequenas e urbanas, a equação de Schaake (Equação 19):

$$t_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}, \quad (18)$$

$$t_c = 0,0828L^{0,24}S^{-0,16}A_{imp}^{-0,26}, \quad (19)$$

onde t_c é o tempo de concentração em h , L é o comprimento do coletor pluvial (ou canal principal) em km , S é a declividade média do canal principal em m/m , expressa por:

$$S_o = \frac{Z_0 - Z_1}{L}, \quad (20)$$

obtida pela diferença de cotas do ponto mais alto do canal e do exutório Z_0 e Z_1 , respectivamente, dividida pelo comprimento do canal principal, e A_{imp} corresponde à fração de área impermeável da bacia em km^2/km^2 . A área impermeável da bacia hidrográfica foi delimitada manualmente utilizando *software* de geoprocessamento, por meio da análise visual da imagem de satélite e reconhecimento de algumas das estruturas em campo.

3.3.4.6 Uso e Ocupação do Solo

Estudar o uso e ocupação do solo é importante para compreender os processos hidrológicos relacionados à bacia hidrográfica. Esses dados foram obtidos por meio de documentos oficiais em formato vetorial disponibilizados no SIMGeo de Joinville (Joinville, 2021) para fins do zoneamento urbano. As áreas e setores de zoneamento utilizadas no presente trabalho, definidas de acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município de Joinville (Joinville, 2022b) são:

- Área Urbana de Adensamento Controlado (AUAC): regiões que apresentam eventuais fragilidades ambientais, possuam mínimas condições de infraestrutura, inviabilidade ou restrições para a melhoria do sistema viário, deficiência de acesso ao transporte coletivo, aos equipamentos públicos e serviços essenciais, limitando desta forma as condições de absorver uma quantidade maior de moradores ou de atividades econômicas;

- Setor Especial de Interesse Industrial (SE-06): áreas contidas dentro da Macrozona Urbana, constituídas por áreas destinadas à instalação de atividades vinculadas aos setores terciário e secundário;
- Área Urbana de Adensamento Prioritário (AUAP): regiões que predominantemente não apresentam fragilidade ambiental, possuem boas condições de infraestrutura, sistema viário estruturado, transporte coletivo, equipamentos públicos comprovadamente capazes de absorver a quantidade de moradores desejada, maior volume de atividades voltadas preponderantemente ao setor terciário de baixo impacto ambiental e existência de expressivos vazios urbanos;
- Setor de Adensamento prioritário 02 (SA-02): setores destinados à função residencial, industrial, comercial, e de prestação de serviços, facultados outros usos complementares;
- Área Urbana de Adensamento Secundário (AUAS): regiões que predominantemente não apresentam fragilidade ambiental, possuem boas condições de infraestrutura, sistema viário estruturado, transporte coletivo, equipamentos públicos comprovadamente capazes de absorver a quantidade de moradores desejada, maior volume de atividades voltadas preponderantemente ao setor terciário, com possibilidade de absorver atividades ligadas ao setor secundário de baixo impacto ambiental, e existência de vazios urbanos;
- Setor Especial de Interesse Educacional (SE-03): áreas contidas dentro da Macrozona Urbana, constituídas por áreas destinadas aos equipamentos de educação superior e desenvolvimento tecnológico;
- Área Urbana de Proteção Ambiental (AUPA): regiões que apresentam grandes fragilidades ambientais, caracterizando-se por áreas acima da isoípsa 40, consideradas reservas paisagísticas que necessitam de grandes restrições de ocupação para efetiva proteção, recuperação e manutenção.

A fim de identificar o uso da terra na área de estudo, foram utilizados os dados vetoriais disponíveis na plataforma MonitoraSC (Vibrans *et al.*, 2021), com resolução de 30 metros. As classes referentes ao uso da terra, de acordo com Vibrans *et al.* (2021), utilizadas neste trabalho, são:

- Área construída ou urbanizada;
- Floresta: vegetação arbórea/arbustiva, com altura total média maior que 4 metros e área basal maior que $8 \text{ m}^2/\text{ha}$;
- Pastagem e campo natural: todas as áreas não classificadas nas classes floresta. Estas áreas incluem tanto “pasto sujo” com regeneração de plantas herbáceas e subarbustivas, como pastagens com árvores de porte maior, mas dispersas, como lavouras abandonadas, ou ainda áreas não classificadas nas demais classes de uso da terra;

- Solo exposto ou mineração.

3.3.4.7 *Caracterização Pedológica e Geológica*

A caracterização pedológica e geológica foi realizada a partir dos dados disponibilizados em formato vetorial pelo Downloads Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGeo) do município de Joinville (Joinville, 2021), e estes foram processados por meio de ferramenta de geoprocessamento. Para a caracterização geológica, também foi utilizado o Mapeamento Geológico e Hidrogeológico do Município de Joinville, realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2019).

3.3.4.8 *Caracterização de Fauna e Flora*

O processo de caracterização de fauna e flora da bacia hidrográfica foi realizado a partir de dados secundários provenientes de documentos oficiais disponibilizados no SIMGeo Joinville (Joinville, 2021), publicações científicas e Estudos de Impacto de Vizinhança (EIV) publicados no site oficial da Prefeitura Municipal de Joinville. Além disso, registros fotográficos foram realizados em campo. Esta caracterização não tem o objetivo de descrever exhaustivamente a fauna e flora local, e sim apenas indicar a sua caracterização básica.

3.3.5 **Monitoramento da Bacia Hidrográfica**

Para o monitoramento adequado da bacia hidrográfica, atentou-se ao detalhamento necessário dos dados, possibilitando observar a variação dos processos hidrológicos na escala desejada. Assim, optou-se pela instalação de uma estação meteorológica na área de estudo e sensor de nível por pressão no canal principal. O tempo de intervalo de registro dos aparelhos de medição para o monitoramento foi selecionado a partir do resultado do Tempo de Concentração (t_c) da bacia hidrográfica. Além disso, foi realizada uma campanha de medição para a obtenção de dados de vazão e de parâmetros de qualidade da água no canal principal.

3.3.5.1 *Estação Meteorológica*

Para obter a medição automática dos dados meteorológicos de forma contínua, a instalação de uma estação meteorológica na área de estudo se fez necessária, respeitando a distância de obstáculos recomendada pela ANA (2016). Também, atentou-se ao nível de prumo da estação e às indicações de instalação do próprio fabricante, como a orientação do anemômetro. Os dados obtidos e observados por meio da coleta com a estação foram utilizados para uma melhor caracterização da bacia hidrográfica de estudo. Neste trabalho, utilizaram-se principalmente os dados de precipitação e temperatura do ar.

3.3.5.2 *Fluviometria*

Inicialmente, para a obtenção de vazões no canal principal, foi utilizado o equipamento *FlowTracker2*, cuja a altura mínima de medição é de 2 cm (Xylem Inc., 2019). Para a coleta contínua de dados, foi instalado um medidor de nível por pressão na seção do canal principal. Além disso, a fim de auxiliar na visualização do nível do rio, para verificação da exatidão do nível e para apresentação da medição de nível para a população em atividades de EA e ciência cidadã, uma régua linimétrica foi instalada em localização próxima ao exutório da bacia hidrográfica delimitada.

3.3.5.3 *Parâmetros de Qualidade da Água*

Próximo ao exutório e no local de instalação da régua linimétrica, foram mensurados semanalmente parâmetros de qualidade da água com o equipamento *Pro-Dss* da *YSI*, em campanhas de medição. Essas medições também ocorreram de forma complementar às coletas de água destinadas à análise da hidrologia isotópica. Os parâmetros analisados foram os de temperatura (T em °C), oxigênio dissolvido (OD em mg/L), condutividade elétrica (CE em $\mu S/cm$), pH da água e turbidez (em NTU) no local. As medições foram realizadas diretamente no corpo hídrico, com a sonda devidamente submersa, conforme as instruções técnicas do fabricante, assegurando representatividade e confiabilidade dos dados. Além disso, a sonda foi calibrada mensalmente de acordo com as instruções de calibração do fabricante e suas respectivas soluções.

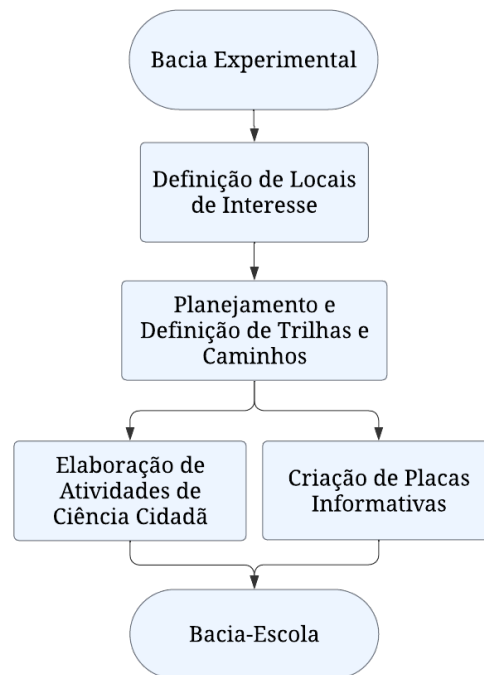
3.3.6 **Processamento de Dados**

A análise de dados geoespaciais foi realizada a partir dos dados coletados na bacia experimental. Para assegurar a confiabilidade dos dados, verificou-se a ocorrência de falhas na coleta, no registro ou no armazenamento dos dados e realizaram-se correções e manutenções nos equipamentos quando necessário. A partir dos registros, foram realizadas análises dos dados de precipitação e temperatura do ar da estação meteorológica, dados de nível, vazão e qualidade da água ao longo do tempo para compreensão do comportamento da bacia hidrográfica.

3.4 **ESTRUTURAÇÃO DA BACIA-ESCOLA**

A bacia-escola foi idealizada a partir da bacia experimental já efetivada. Assim, foi desenvolvido um fluxograma para esta etapa contendo seus principais processos (Figura 12). A partir da bacia experimental, os dados referentes às medições foram coletados e, ainda, definidos os locais de interesse para a EA. Com isso, foi efetuado o planejamento e demarcação de trilhas e caminhos para a posterior elaboração de atividades de ciência cidadã e placas informativas. Finalmente, com a implementação da bacia-escola efetivada, esta poderá ser aberta para a comunidade.

Figura 12 – Fluxograma para estruturação da bacia-escola.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.4.1 Definição de Locais de Interesse

A definição de locais de interesse dentro da bacia-escola foi uma etapa fundamental para possibilitar a compreensão integrada dos processos hidrológicos para a sociedade. Considerando esse aspecto, buscou-se identificar pontos representativos da dinâmica da bacia hidrográfica, capazes de evidenciar processos como escoamento superficial, infiltração e afloramento, apresentando o comportamento das águas ao longo do sistema. A seleção foi guiada tanto por critérios técnicos, como relevância hidrológica e acessibilidade, quanto por critérios educativos, priorizando locais que também pudessem ser utilizados para atividades de observação, sensibilização e convivência com a paisagem natural. Dessa forma, os locais definidos cumprem o papel de demonstrar, de forma prática e situada, a complexidade dos processos hidrológicos e a sua interação com o meio físico e social.

3.4.2 Planejamento e Definição de Trilhas e Caminhos

Com o objetivo de fazer com que a bacia-escola seja um local com amplo acesso pela sociedade em geral, fomentando atividades de ciência cidadã e também a realização de atividades físicas, torna-se relevante o planejamento de trilhas e caminhos. O planejamento destes locais priorizou os pontos de interesse e considerou as diretrizes propostas em documentos oficiais de Fundamentos do Planejamento de Trilhas (ICMBIO, 2020). Então, após o planejamento, foram definidas as trilhas e caminhos, respeitando o ambiente estudado.

3.4.3 Elaboração de Atividades de Ciência Cidadã

Nessa etapa do processo, buscou-se elaborar duas atividades de ciência cidadã para que seja possível o envolvimento tanto da comunidade acadêmica quanto não acadêmica, envolvendo o público-alvo definido. Com base na fundamentação teórica deste trabalho e no desenvolvimento das atividades de campo, refletiu-se sobre quais práticas poderiam ser desenvolvidas com e para a comunidade, sem que fossem necessárias estruturas complexas ou conhecimentos técnicos aprofundados. A intenção foi pensar em estratégias acessíveis, que estimulassem a observação, o registro e o cuidado com o ambiente natural, valorizando o conhecimento local e promovendo o diálogo entre saberes. Assim, as atividades propostas foram concebidas não apenas como ferramentas de coleta de dados, mas como oportunidades de sensibilização, educação ambiental e fortalecimento do vínculo entre as pessoas e a bacia hidrográfica.

3.4.4 Placas Informativas

No processo do desenvolvimento da bacia-escola, optou-se por utilizar placas que devem informar de forma clara e expositiva sobre os processos hidrológicos e ecológicos. Estas placas identificam os locais importantes da bacia e divulgam também a universidade. Ainda, também são apresentadas placas informativas para guiar as pessoas nas trilhas e, para este fim, foi utilizado o Manual de Sinalização de Trilhas (ICMBIO, 2023) como referência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados e discussão decorrentes do desenvolvimento desta pesquisa, cujo objetivo geral consistiu em estruturar uma bacia-escola buscando a relação entre socio-hidrologia e ciência cidadã, por meio da extensão universitária. Os resultados estão organizados de acordo com os materiais e métodos descritos anteriormente. Além disso, este capítulo contempla inicialmente reflexões sobre a conceitualização e aplicabilidade de bacias-escola em contextos urbanos.

4.1 ELABORAÇÃO DE BACIAS-ESCOLA URBANAS

A partir da reformulação metodológica proposta nesta pesquisa, buscou-se ampliar o entendimento e a aplicabilidade do conceito de bacia-escola no meio urbano. No contexto desta pesquisa, a bacia-escola urbana pode ser considerada como um instrumento prático do desenvolvimento socio-hidrológico, em que se propõe a compreender e integrar as interações entre a sociedade e os sistemas hidrológicos. Ao articular o diálogo entre as pessoas, baseado no entendimento da hidrologia local, a bacia-escola torna-se um espaço promissor para a produção e disseminação de conhecimento sobre a água e sua gestão, favorecendo processos de tomada de decisão mais conscientes e colaborativos.

A utilização de bacias-escola ganha ainda mais relevância em áreas urbanas, onde os conflitos pelo uso da água e os impactos da urbanização sobre os recursos hídricos são mais evidentes. Além disso, o conceito de bacia-escola escolhido como norteador neste trabalho utiliza o termo tecnologia social, que reforça a importância da participação da população para a coprodução de soluções em busca da transformação socioambiental. A bacia-escola, sob essa perspectiva, deve ser conduzida por uma coordenação ativa, com articulação entre o meio acadêmico, poder público e sociedade civil. Neste contexto, a extensão universitária se mostra como um pilar estratégico, atuando como ponte entre o conhecimento científico e as demandas sociais locais. Com isso, promove-se um processo de aprendizagem mútua, no qual os saberes técnico e popular se complementam.

No âmbito da ciência cidadã, a bacia-escola urbana ganha ainda mais relevância por seu potencial de fomentar o engajamento social a partir de atividades acessíveis e educativas, como a observação de fenômenos hidrológicos, a medição de parâmetros ambientais ou a leitura de instrumentos de campo. Essas ações possibilitam que cidadãos compreendam temas fundamentais, como o ciclo da água, a importância das Áreas de Preservação Permanente (APPs), os impactos das ocupações urbanas nos processos hidrológicos e a necessidade da conservação ambiental. Assim, a conceitualização de bacia-escola urbana proposta neste trabalho parte de um modelo híbrido, fundamentado na articulação entre monitoramento técnico e mobilização social, com vistas ao fortalecimento da segurança hídrica e à redução da vulnerabilidade socioambiental. A seguir, os resultados obtidos com a implementação prática dessa proposta são apresentados e discutidos.

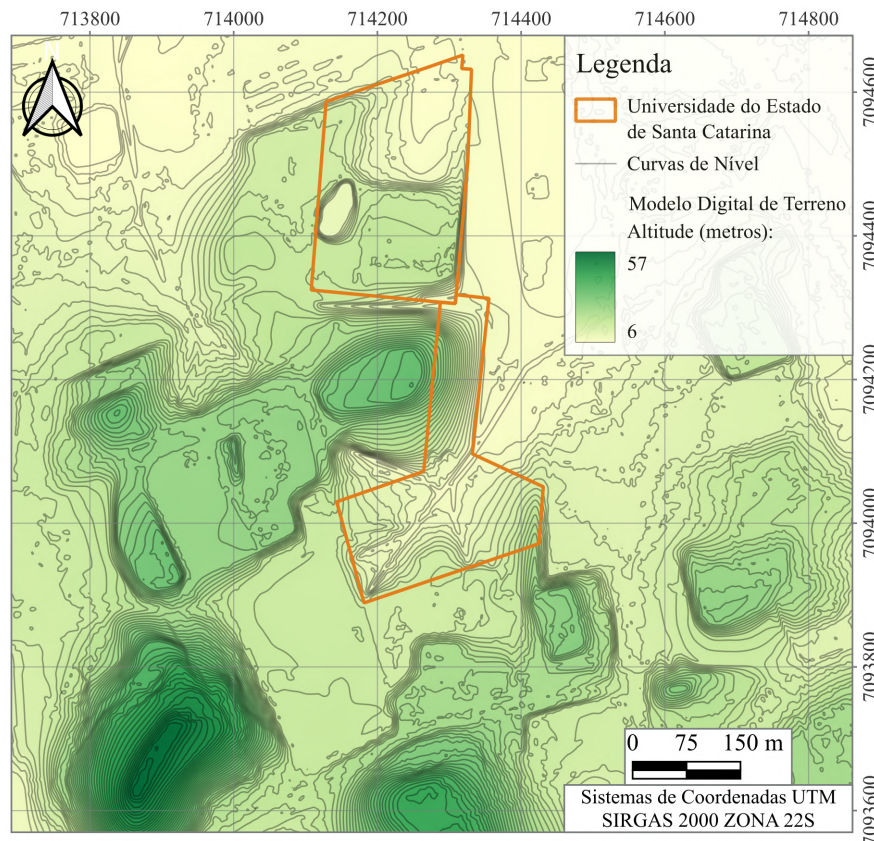
4.2 IMPLEMENTAÇÃO DE BACIA EXPERIMENTAL URBANA

A implementação da bacia experimental urbana foi desenvolvida a partir da metodologia descrita na metodologia ilustrada na Figura 11. Sua efetivação foi na área de estudo, onde a Universidade do Estado de Santa Catarina - Centro de Ciências Tecnológicas (UDESC-CCT) está inserida.

4.2.1 Levantamento Topográfico

Os dados de MDT, disponibilizados pelo SIGSC, foram obtidos no formato *raster* ($1 \times 1 \text{ m}$). A partir desses dados, foi possível gerar curvas de nível equidistantes de um metro em um metro, utilizando ferramentas de geoprocessamento. O mapa resultante foi produzido para a melhor visualização do relevo da área de estudo (Figura 13).

Figura 13 – Mapa Topográfico da Área de Estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

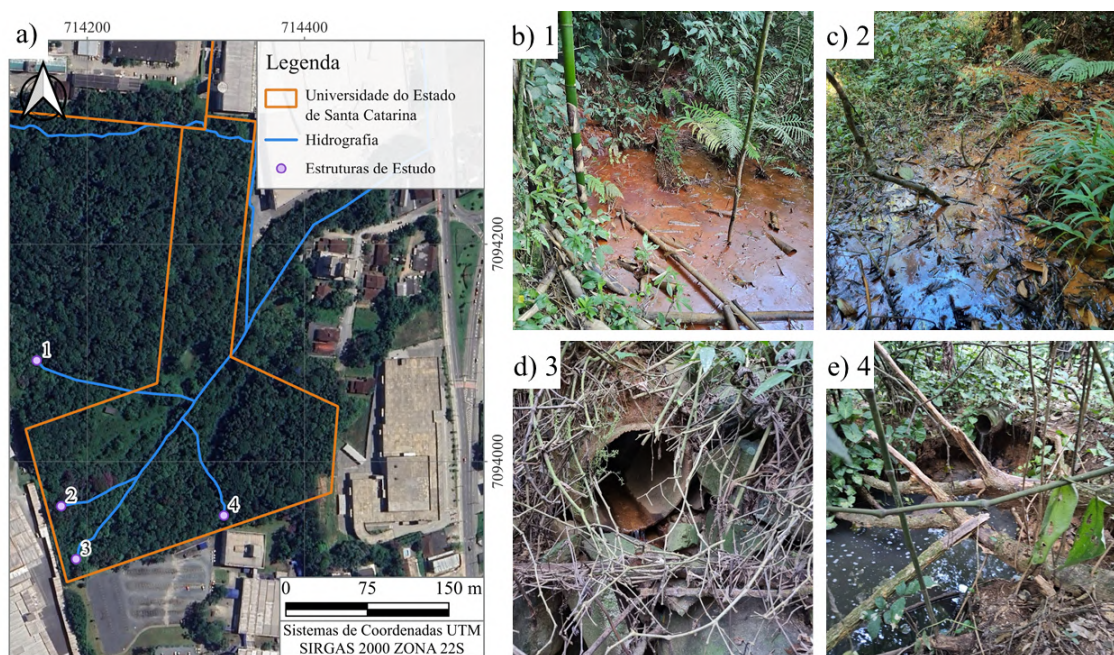
Os dados topográficos demonstraram que as regiões mais elevadas e mais baixas próximas à área de estudo são, respectivamente, a altitude de 57 metros e 6 metros. Observa-se ainda regiões mais planas, principalmente ao leste da área referente à UDESC, evidenciando as modificações pela ação antrópica na região por meio de terraplanagem. Com isso, foi obtido um modelo topográfico representativo da área de estudo, possibilitando uma adequada delimitação da bacia hidrográfica, realizada posteriormente.

4.2.2 Levantamento Hidrográfico

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte (BHRC), próxima à divisa de outra bacia hidrográfica da região, a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira. Com base nos dados disponibilizados no SIMGeo e atualizados em 22 de março de 2024 (Joinville, 2021), observou-se a presença de 3 nascentes cadastradas no terreno da universidade e outras 2 nascentes na sua proximidade. Também foram identificados 5 rios que fluem pelo terreno e 4 canais descaracterizados na sua proximidade, ou seja, cursos hídricos que foram modificados pela ação antrópica em decorrência da urbanização.

O exutório adotado para a bacia hidrográfica de estudo, apresentado no Subcapítulo 4.2.3 do presente trabalho referente à Delimitação da Bacia Hidrográfica, foi identificado em campo. As informações obtidas nas etapas de levantamento topográfico e hidrográfico também foram validadas em campo, percorrendo-se os canais e incluindo-se a identificação e verificação das possíveis nascentes (Figura 14a). Os pontos de possíveis nascentes que foram estudados referem-se àquelas a montante do exutório. Constatou-se que a possível nascente 1 (Figura 14b) apresentava odor de ferro e a possível nascente 2 (Figura 14c) corresponde a um afloramento de água. A possível nascente 3 (Figura 14d) caracteriza-se como água proveniente de uma tubulação, originada de uma rede de drenagem ou de uma nascente tubulada. Na possível nascente 4 (Figura 14e) também há uma tubulação, porém, diferente da nascente 3, observou-se a presença de espuma e odor forte de águas residuais em todas as visitas de campo ao local.

Figura 14 – a) Identificação da localização das possíveis nascentes; b) Ponto 1; c) Ponto 2; d) Ponto 3; e) Ponto 4.

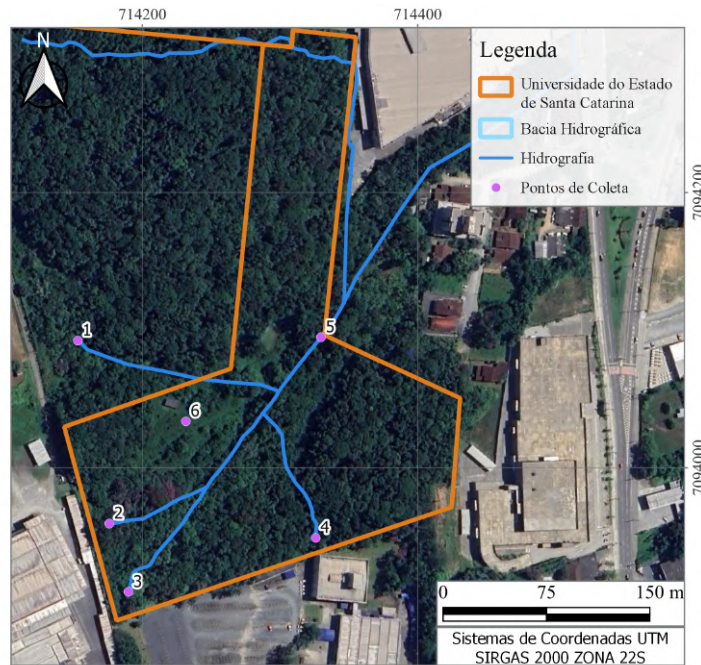


Fonte: Elaborado pela autora.

A fim de entender a composição hidrológica dos átomos da água nos locais das nascentes catalogadas no levantamento hidrográfico (Joinville, 2021), foi realizada a análise da hidrologia

isotópica. Para a análise isotópica, também foram realizadas coletas no exutório e da chuva em um ponto aberto do terreno (Figura 15). Duas campanhas de amostragem foram conduzidas: uma durante a estação chuvosa (verão) e outra na estação seca (inverno).

Figura 15 – Pontos de coleta de água para a análise da hidrologia isotópica.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados dos sinais isotópicos foram obtidos em laboratório, dos quais as amostras de inverno foram recebidas 23/09/2024, preparadas 08/11/2024 e analisadas 13/11/2024, e as amostras de verão recebidas 28/02/2025, preparadas 15/04/2025 e analisadas 22/04/2025. Os parâmetros obtidos são de $\delta^{2}H$ (‰) (Diferença relativa da razão isotópica ou valor $-\delta$ (incerteza $\pm 0,7\%$)) e $\delta^{18}O$ (‰) (Diferença relativa da razão isotópica ou valor $-\delta$ (incerteza $\pm 0,18\%$)). Os resultados de análise isotópica estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros da hidrologia isotópica

Identificação	Descrição	Verão		Inverno	
		$\delta^{2}H(‰)$	$\delta^{18}O(‰)$	$\delta^{2}H(‰)$	$\delta^{18}O(‰)$
1	Ponto 1	-16,4	-4,16	-15,3	-3,65
2	Ponto 2	-18,1	-4,03	-15,9	-3,29
3	Ponto 3	-21,0	-4,66	-11,3	-2,50
4	Ponto 4	-17,9	-4,03	-16,6	-4,02
5	Exutório	-16,0	-3,88	-13,0	-3,32
6	Chuva	-14,9	-3,38		

Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados isotópicos corroboram com a caracterização dos pontos de coleta 1 e 2 como nascentes, apresentando os valores mais enriquecidos ao padrão V-SMOW, como nascentes de

baixa altitude. O ponto 3 trata-se de uma nascente com a contribuição tubulada, em que suas características isotópicas refletem de nascentes de baixa altitude, como as duas anteriores. Porém, é uma água que, por estar tubulada, pode estar em contato com outras águas, como observado na coleta de verão. Já o ponto 4, inicialmente definido como uma nascente, apresenta sinal isotópico referente ao das águas do rio Cubatão (Barros, 2005). Neste contexto, trata-se de água da rede de abastecimento público municipal da Companhia Águas de Joinville. Durante a coleta das águas para a análise, a condutividade elétrica medida com a sonda multiparâmetro neste corpo hídrico foi de $1247,3 \mu S/cm$ (coleta de inverno), e $657,0 \mu S/cm$ (coleta de verão). Portanto, o ponto 4 apresenta fortes indícios de se caracterizar como despejo de efluente.

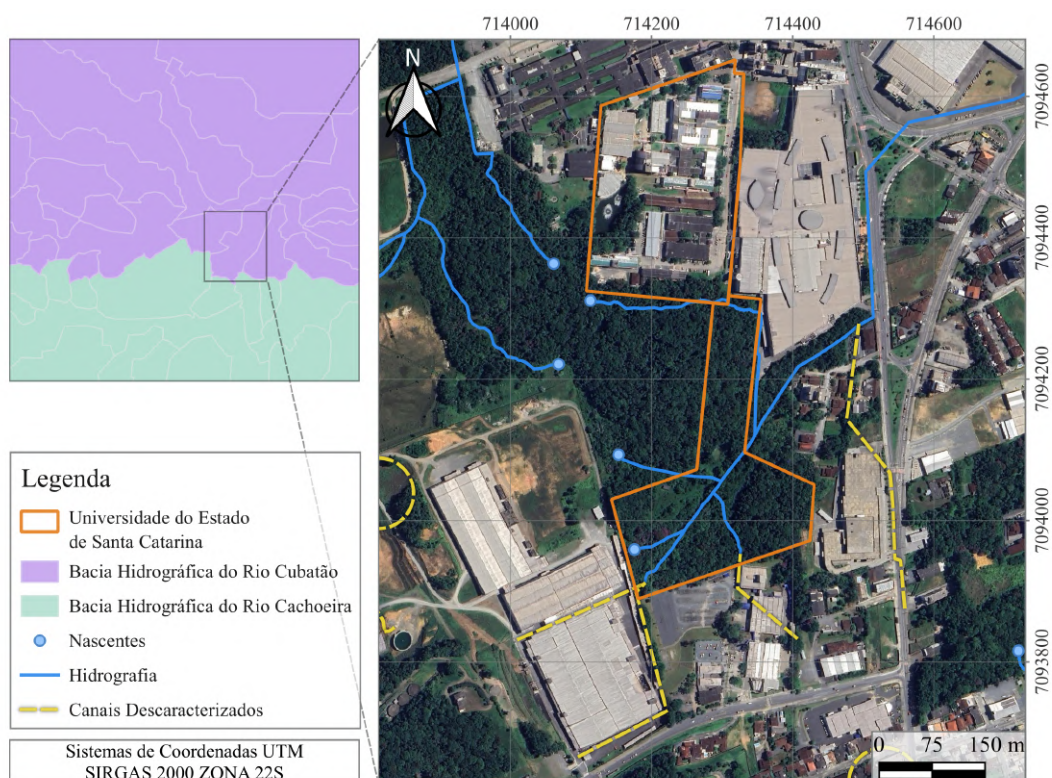
O ponto 5, que foi coletado no exutório da bacia de estudo (demarcado e identificado na próxima seção deste trabalho), por sua vez, apresenta dados isotópicos de mistura de águas. O ponto número 6, referente à amostra da água da chuva, apresentou uma composição enriquecida, típica de chuvas de verão. Isso sugere que a maior parte da água precipitada é proveniente da evaporação local, sem indícios de ser proveniente de outra bacia hidrográfica (Fenômeno de Rainout (Gat, 1996)). Caso a água precipitada fosse advinda de áreas distantes, sua composição física poderia ser mais empobrecida, devido aos átomos mais pesados se desprenderem da massa no caminho até o local de precipitação.

Cabe ressaltar que foram observadas discrepâncias nas informações disponibilizadas pela Prefeitura de Joinville no decorrer do desenvolvimento do presente estudo. Em maio de 2025, foi verificada, na plataforma online SIMGeo Joinville (2025) uma nova definição da hidrografia da área de estudo. Nessa atualização, as nascentes e seus respectivos cursos d'água são descaracterizados, divergindo das informações anteriormente apresentadas pelo próprio SIMGeo e também considerando os resultados das análises isotópicas.

De acordo com a legislação vigente, diagnósticos socioambientais são fundamentais para a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP) de rios em áreas urbanas consolidadas desde a inclusão do §10 no artigo 4º da Lei nº 12.651/2012, pela Lei nº 14.285, de 2021 (Brasil, 2012b). A nova redação permite que, em Área Urbana Consolidada (AUC), a legislação municipal ou distrital estabeleça faixas marginais diferentes das previstas na Lei 12.651/2012 como APP, desde que haja consulta prévia aos conselhos de meio ambiente correspondentes (municipais, estaduais ou distrital). Em Joinville, a Lei Complementar nº 601/2022 (Joinville, 2022a) estabelece a definição de microbacia hidrográfica e a necessidade da elaboração de diagnósticos para delimitação das faixas marginais de cursos d'água. Nesse contexto, dois relatórios técnicos foram realizados abrangendo o local objeto do estudo (inserido na microbacia 26-2). Em 2023, o Grupo Babitonga Engenharia desenvolveu o Diagnóstico Socioambiental por Microbacia Hidrográfica (DSMH) – Microbacia 26-2 (Corbari *et al.*, 2023), publicado no Decreto nº 57.103 de outubro/2023 (Joinville, 2023); e no ano de 2024, um estudo hidrogeológico foi realizado pela Azimute Engenharia (Pinto; Oliveira, 2024), referente aos imóveis de propriedade da UDESC. O primeiro embasou a caracterização apresentada no SIMGeo (Joinville, 2021), enquanto o segundo descaracteriza os pontos 3 e 4 como nascentes.

Com base nos dados primários obtidos por meio do reconhecimento em campo e da análise de hidrologia isotópica, assim como nos dados secundários provenientes do SIMGeo, do DSMH e do estudo hidrogeológico da área, foi possível realizar o levantamento hidrográfico da área de estudo de forma adequada (Figura 16). A partir dessa análise integrada, os pontos anteriormente descritos como 1 e 2 foram classificados como nascentes. No ponto 3, embora os dados isotópicos indiquem a presença de água com características típicas de nascente, não foi observado afloramento em campo, apenas o surgimento do corpo hídrico a partir de uma tubulação, o que descaracteriza a nascente no local. Ressalta-se, entretanto, que a nascente original, provavelmente canalizada, deveria ser devidamente preservada. O ponto 4 também foi desconsiderado como nascente neste estudo, uma vez que o fluxo de água observado provém de uma tubulação, sem evidências de afloramento natural, e as características isotópicas da amostra não correspondem às de águas de nascente. Contudo, destaca-se que o possível despejo de efluente pode ser tão significativo em comparação ao fluxo natural do rio, que as características isotópicas da água se percam ou se tornem indistintas, dificultando a interpretação precisa da origem do fluxo. Ressalta-se que, considerando as características topográficas e geológicas da área, não se descarta a possibilidade de existir uma nascente nesta localização.

Figura 16 – Mapa do Levantamento Hidrográfico da Área de Estudo.



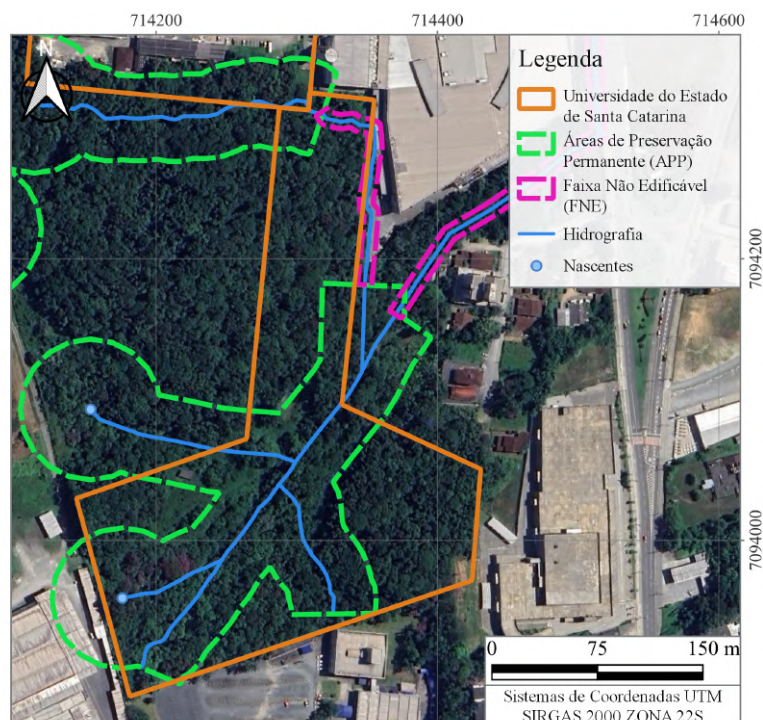
Fonte: Elaborado pela autora.

A legislação de Joinville (Joinville, 2022a) apresenta que a decisão de faixa mínima de distância de corpos hídricos em AUC, deve ser apontada nos resultados de Diagnóstico Socioambiental por Microbacia Hidrográfica (DSMH), analisado pelo Conselho Municipal do

Meio Ambiente (COMDEMA) e aprovado por decreto. Se o DSMH atestar a perda das funções ecológicas da APP, demonstrar a irreversibilidade da sua degradação devido à inviabilidade prática de recuperação e constatar que os benefícios ambientais advindos da manutenção da área seriam insignificantes frente aos impactos de novas intervenções, define-se a então APP, como Faixa Não Edificável (FNE). Nesse caso, a dimensão da FNE é 15 metros, medida a partir da margem do leito regular, em ambos os lados dos corpos d'água integrados à macrodrenagem já existente, e 5 metros para corpos d'água integrados à microdrenagem (Joinville, 2022a). Para as faixas marginais de cursos d'água situadas em Área Urbana Consolidada (AUC), e classificadas como Área de Preservação Permanente Urbana (APPU) no Diagnóstico Socioambiental da Microbacia, deve-se seguir as determinações do artigo 4º, inciso I e §10, inciso III, bem como dos artigos 64 e 65 da Lei Federal nº 12.651/2012 (Joinville, 2022a), que prevê raio de 50 metros para nascentes e faixa marginal de 30 metros para cursos d'água.

Assim, no presente trabalho, a delimitação da Área de Preservação Permanente (APP) da área de estudo (Figura 17) foi realizada com base nos dados primários obtidos (dados isotópicos e o reconhecimento de campo) apresentados anteriormente, e nas FNEs identificadas no DSMH (Corbari *et al.*, 2023). Para a delimitação das APPs de nascente e do curso do rio, adotou-se os parâmetros estabelecidos pela Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012b). No ponto 3, onde há presença de uma tubulação vinda de uma nascente, foi delimitada apenas a APP correspondente ao curso do rio, uma vez que a nascente propriamente dita não se encontra nesse local. Já no ponto 4, manteve-se o mesmo critério, considerando que, mesmo sem a presença de nascente, o curso d'água existente ainda deve ser preservado, considerando sua função ecológica.

Figura 17 – Áreas de Preservação Permanente e Faixa Não Edificável da área de estudo.

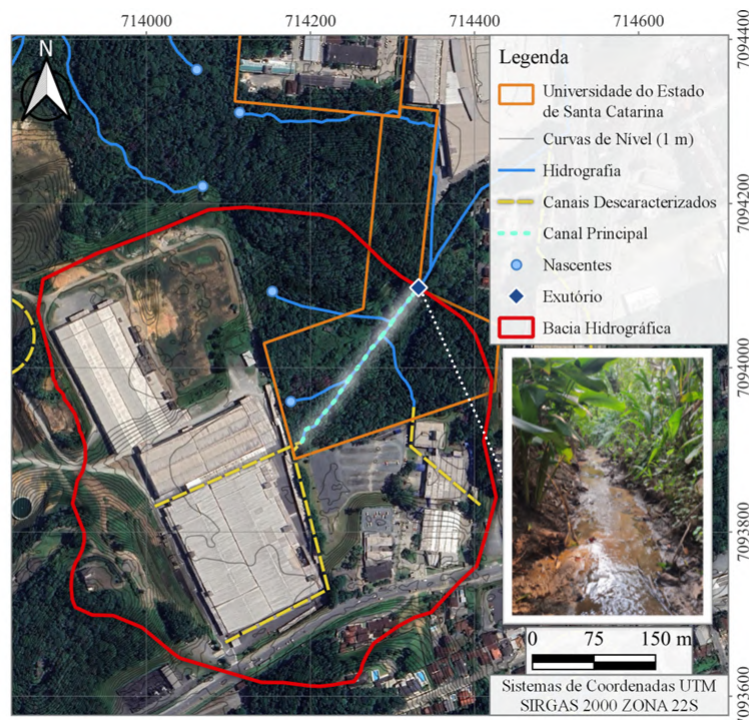


Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.3 Delimitação da Bacia Hidrográfica

Utilizando os dados topográficos disponibilizados no SIGSC (SGB, 2010), realizou-se a delimitação da bacia hidrográfica. O ponto selecionado como exutório da bacia hidrográfica foi escolhido dentro das dependências da Universidade (Figura 18) para que se tenha acesso fácil a este ponto, tornando viáveis atividades relacionadas à EA e à ciência cidadã. Por meio de sua delimitação, foi possível realizar a caracterização da bacia hidrográfica. As construções presentes nas cabeceiras da bacia referem-se a uma indústria têxtil e a uma instituição de ensino.

Figura 18 – Mapa da Delimitação da Bacia Hidrográfica. Em destaque, registro fotográfico do exutório em direção à jusante.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.4 Caracterização da Bacia Hidrográfica

A caracterização da bacia hidrográfica de estudo foi realizada como descrito nos itens a seguir, sendo apresentadas as Análises Morfométricas, o Uso e Ocupação do Solo, o Tempo de Concentração, a Caracterização Pedológica e Geológica e a Caracterização de Fauna e Flora.

4.2.4.1 Hierarquia Fluvial

A delimitação da bacia hidrográfica permitiu a identificação das nascentes e a definição dos cursos d'água que compõem sua rede de drenagem. Os canais descaracterizados foram desconsiderados na análise de hierarquia fluvial em virtude da ausência de informações, condição observada em bacias urbanas. Com base nisso, realizou-se o ordenamento dos cursos hídricos, conforme apresentado na Figura 19. A partir dessa classificação, verificou-se que a bacia em estudo é de segunda ordem.

Figura 19 – Hierarquia fluvial da Bacia Hidrográfica de Estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.4.2 Análise Linear e Areal da Bacia Hidrográfica

Para realização da análise linear, englobam-se os índices e as relações referentes à rede hidrográfica. Dessa forma, foram realizados os procedimentos para a relação de bifurcação (R_b), relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem (RL_m), relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação (R_{ib}), comprimento do rio principal (L_p), extensão do percurso superficial (Eps), relação do equivalente vetorial (Rev) e gradiente dos canais (Rgc). Os resultados foram compilados na Tabela 5, apresentada a seguir.

Tabela 5 – Índices referentes à Análise Linear.

Índice	Expressão	Cálculo	Valor
R_b	$\frac{N_u}{N_{u+1}}$	$\frac{4}{1}$	4,00
RL_m	$\frac{Lm_u}{Lm_{u-1}}$	$\frac{47,11}{107,33}$	0,44 m/m
R_{ib}	$\frac{RL_m}{R_b}$	$\frac{0,44}{4,00}$	0,11
L_p	-	-	0,239 km
Eps	$\frac{1}{2Dd}$	$\frac{1}{2(2,29)}$	0,22 km
Rev	$\frac{Ev_u}{Ev_{u-1}}$	$\frac{140,50}{104,53}$	1,34 m/m
Rgc	$\frac{Gc_u}{Gc_{u+1}}$	$\frac{3,57\%}{1,28\%}$	2,79

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação à análise areal, os índices calculados referentes à área da bacia hidrográfica (A), perímetro da bacia (P), comprimento da bacia (L_b), coeficiente de compacidade (K_c), densidade de rios (Dr), densidade de drenagem (Dd), densidade de segmentos da bacia (F_s) e coeficiente de manutenção (Cm), foram compilados na Tabela 6.

Tabela 6 – Índices referentes à Análise Areal.

Índice	Expressão	Cálculo	Valor
A	-	-	$0,25 \text{ km}^2$
P	-	-	$1,89 \text{ km}$
L_b	-	-	$0,57 \text{ km}$
K_c	$0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	$0,28 \frac{1,89}{\sqrt{0,25}}$	$1,06$
Dr	$\frac{N}{A}$	$\frac{4}{0,25}$	$16,06 \text{ km}^{-2}$
Dd	$\frac{L_t}{A}$	$\frac{0,57}{0,25}$	$2,29 \text{ km/km}^2$
F_s	$\frac{\sum n_i}{A}$	$\frac{5}{0,25}$	$20,08 \text{ km}^{-1}$
Cm	$\frac{1}{Dd}$	$\frac{1}{2,29}$	$0,44 \text{ km}^2/\text{km}$

Fonte: Elaborado pela autora.

Partindo dos parâmetros analisados, a bacia hidrográfica de estudo é considerada pequena, ideal para uma bacia experimental. A geometria da bacia é pouco irregular, e seu coeficiente de compacidade indica formato bastante arredondado. A densidade de drenagem da bacia se encontra mais perto de uma bacia de drenagem rica, pois, de acordo com Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem pode variar entre $0,5 \text{ km/km}^2$ para bacias de drenagem pobre e $3,5 \text{ km/km}^2$ para bacias de drenagem rica. O coeficiente de manutenção forneceu que a área (km^2) mínima necessária para a manutenção de um quilômetro de escoamento nessa bacia é de $0,436 \text{ km}^2/\text{km}$, para o manter perene. Cabe ressaltar que os cálculos efetuados foram de acordo principalmente com a hidrografia e MDT da área de estudo, e não foram considerados sistemas de drenagem urbana.

A relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia hidrográfica, descrita pela Lei de Hack (Equação 8), foi ajustada para a bacia em estudo. Para essa aproximação, utilizaram-se microbacias de cabeceira da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão, de acordo com o SIMGeo (Joinville, 2021) (codificadas como 20-0, 20-1, 20-2, 20-3, 23-1, 23-2, 23-3, 23-4, 23-5, 25-1, 25-2, 25-3, 25-4, 25-5, 25-6, 26-1, 26-2 e 26-3), que apresentam áreas variando entre $0,190$ e $1,039 \text{ km}^2$ e comprimentos de canal principal entre $0,676$ e $1,959 \text{ km}$, abrangendo tanto ambientes rurais quanto urbanos. A equação ajustada foi:

$$L = 1,5957 A^{0,4022}, \quad (21)$$

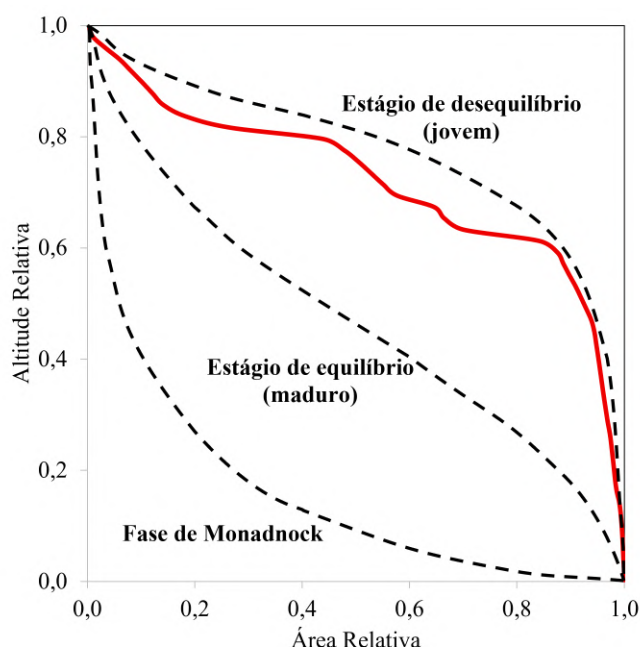
com $R^2 = 0,5074$, pela qual o comprimento do rio principal é estimado em aproximadamente $0,912 \text{ km}$. No entanto, esse valor é superior ao comprimento observado, de $0,239 \text{ km}$. Essa

discrepância sugere que o ambiente encontra-se consideravelmente alterado, possivelmente em decorrência de processos de canalização, retificação, cortes e aterros, ou outras intervenções antrópicas que modificaram o traçado natural do curso d'água.

4.2.4.3 *Análise Hipsométrica*

O gráfico da análise hipsométrica (Figura 20) apresentou que a bacia hidrográfica de estudo se aproxima de um estágio de desequilíbrio, ou seja, uma bacia jovem. Observou-se ainda que não tem um comportamento constante, que pode estar relacionado com o grau de urbanização da bacia, por meio de cortes e aterros, ou regiões planificadas por ações antrópicas e não naturais.

Figura 20 – Curva hipsométrica.



Fonte: Elaborado pela autora.

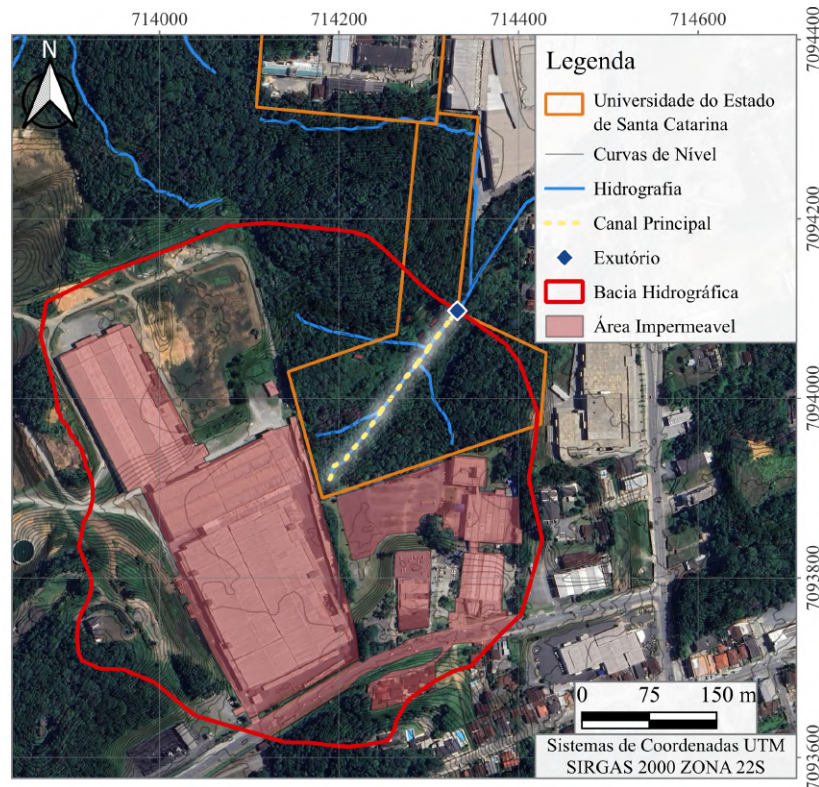
A amplitude altimétrica máxima da bacia, de acordo com os dados disponíveis no MDT é de aproximadamente 51 metros, representando a diferença entre a cota mais elevada e a mais baixa da área de drenagem. A relação de relevo (Rr), que expressa o desnível altimétrico em função do comprimento do curso d'água principal, foi de $0,213 \text{ m/m}$, indicando um relevo suavemente ondulado, com potencial moderado para escoamento superficial. Já o índice de rugosidade da bacia hidrográfica (Ir), de 0,117, reflete a complexidade do relevo, sugerindo que a bacia apresenta baixa rugosidade, com poucas irregularidades no terreno.

4.2.4.4 *Tempo de Concentração*

A partir da bacia hidrográfica delimitada, foram observados e coletados os parâmetros físicos da bacia necessários para o cálculo do tempo de concentração (Figura 21), descritos na

Tabela 7. A partir desses dados, foi possível calcular o t_c da bacia hidrográfica pela fórmula de Carter e Schaake. A partir do resultado do tempo de concentração da bacia, pode-se selecionar o intervalo adequado para o registro das variáveis pelos aparelhos de medição.

Figura 21 – Parâmetros físicos da bacia hidrográfica delimitada.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7 – Parâmetros físicos da Bacia Hidrográfica.

Parâmetro	Unidade	Valor
Área (A)	km^2	0,2486
Comprimento do canal principal (L)	km	0,2392
Declividade média do canal (S_o)	m/m	0,0125
Fração da área impermeável (A_{imp})	km^2/km^2	0,3752

Fonte: Elaborado pela autora.

Os tempos de concentração calculados (Tabela 8) tiveram resultados próximos. Os tempos resultantes possuem apenas 0,079 minutos de diferença, isto é, uma diferença relativa de aproximadamente 0,86%. Assim, considera-se que os equipamentos de medição automática devem ter intervalo de medição de ao menos 1 minuto, para que a resposta da bacia hidrográfica possa ser identificada de forma mais completa.

Tabela 8 – Cálculo de t_c da Bacia Hidrográfica.

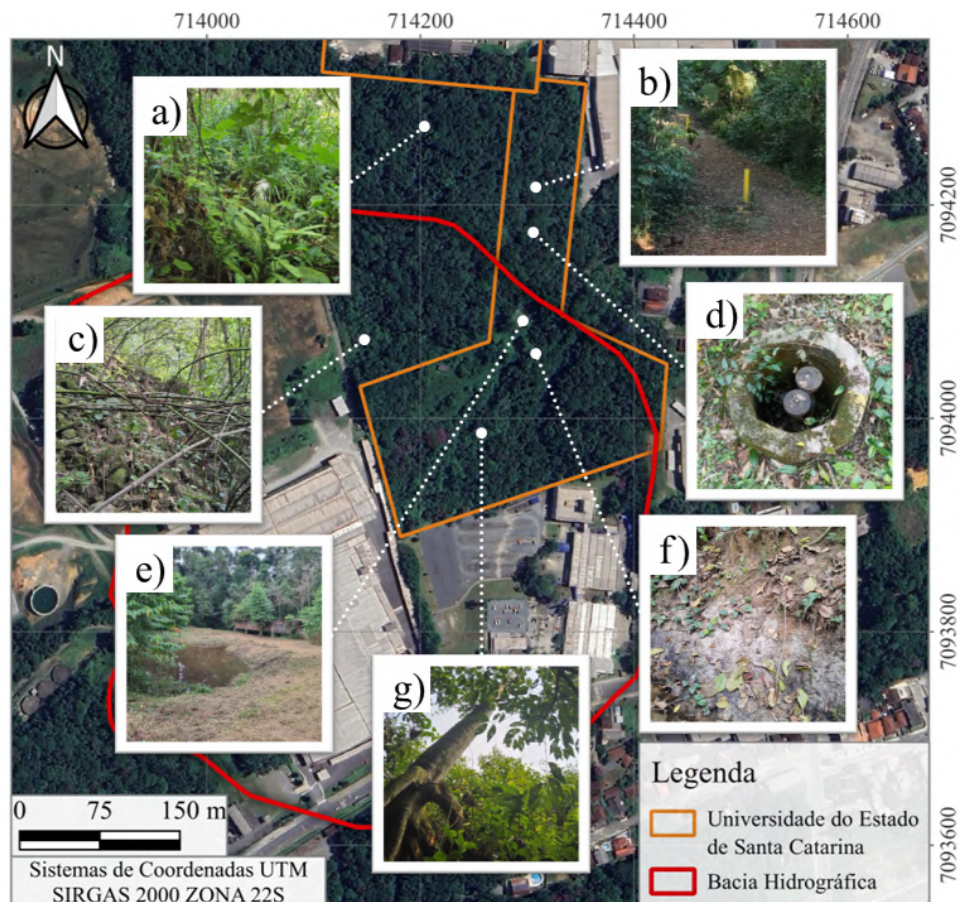
Fórmula	Equação	t_c (min)
Carter	(18)	9,2418
Schaake	(19)	9,1624

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.4.5 Uso e Ocupação do Solo

A área de estudo, apesar de se encontrar em área urbana, possui áreas vegetadas densas (Figura 22). Também foi observado no terreno disposições antrópicas como resíduos de construção civil, aterro e construções não finalizadas. Estes resíduos e construções são provenientes do antigo uso dado ao terreno. Além disso, identificou-se a presença de uma adutora que passa pelo terreno (Figura 22b e 22d), que tem seu trajeto demarcado com balizas.

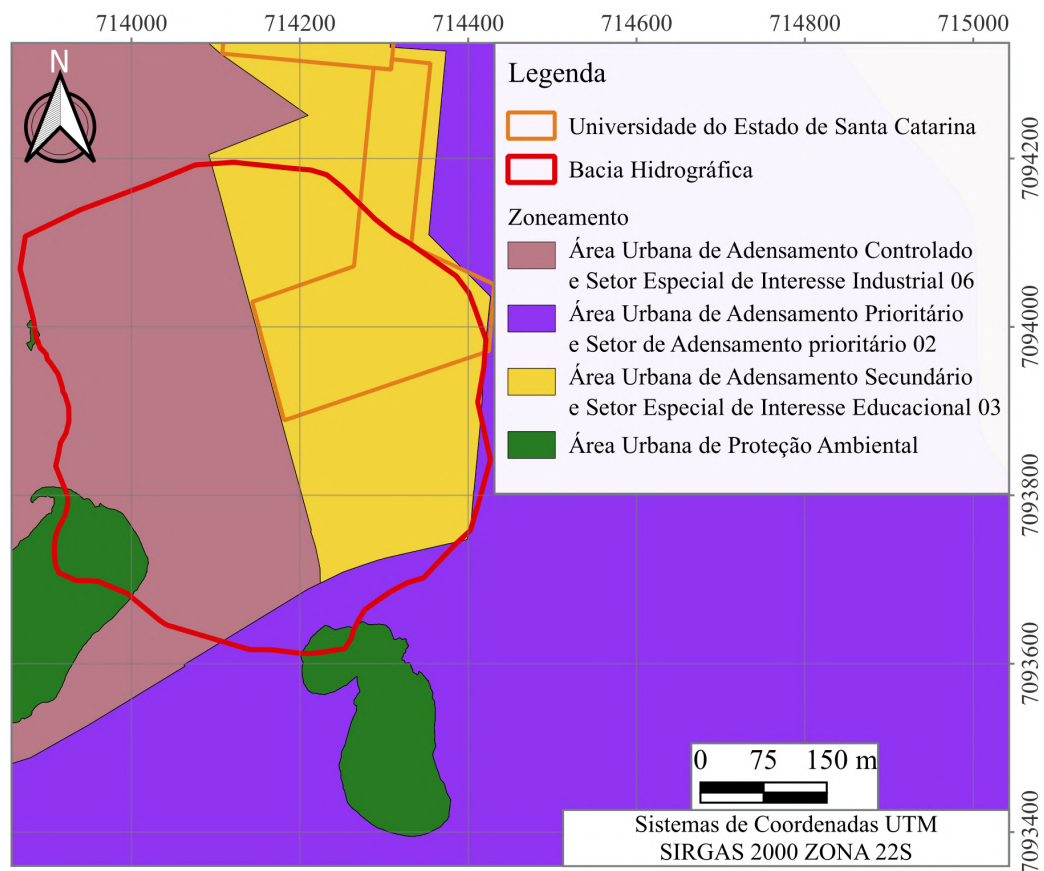
Figura 22 – Área de estudo com fotografias representativas de diversos pontos; a) Vegetação densa registrada próxima ao terreno da universidade; b) Demarcação do caminho da adutora com balizas amarelas; c) Deposição rochosa nas proximidades da nascente 1; d) Ventosa da adutora; e) Lago artificial e deposições antrópicas; f) Perfil de solo argiloso no canal principal; g) Região com vegetação densa e grande árvore registrada.



Fonte: Elaborado pela autora.

No ponto de vista do zoneamento urbano, na área da bacia hidrográfica delimitada estão presentes: Área Urbana de Adensamento Controlado (AUAC) e Setor Especial de Interesse Industrial (SE-06), abrangendo aproximadamente 0,123 km², 49,4% da área total da bacia hidrográfica; Área Urbana de Adensamento Secundário (AUAS) e Setor Especial de Interesse Educacional (SE-03), com aproximadamente 0,102 km², 41,0% da área da bacia; Área Urbana de Adensamento Prioritário (AUAP) e Setor de Adensamento prioritário 02 (SA-02), com aproximadamente 0,013 km², 5,2% da área da bacia; e Área Urbana de Proteção Ambiental (AUPA), abrangendo a menor área dentro dos limites da bacia, de 0,011 km², 4,4% da área total da bacia hidrográfica (Figura 23).

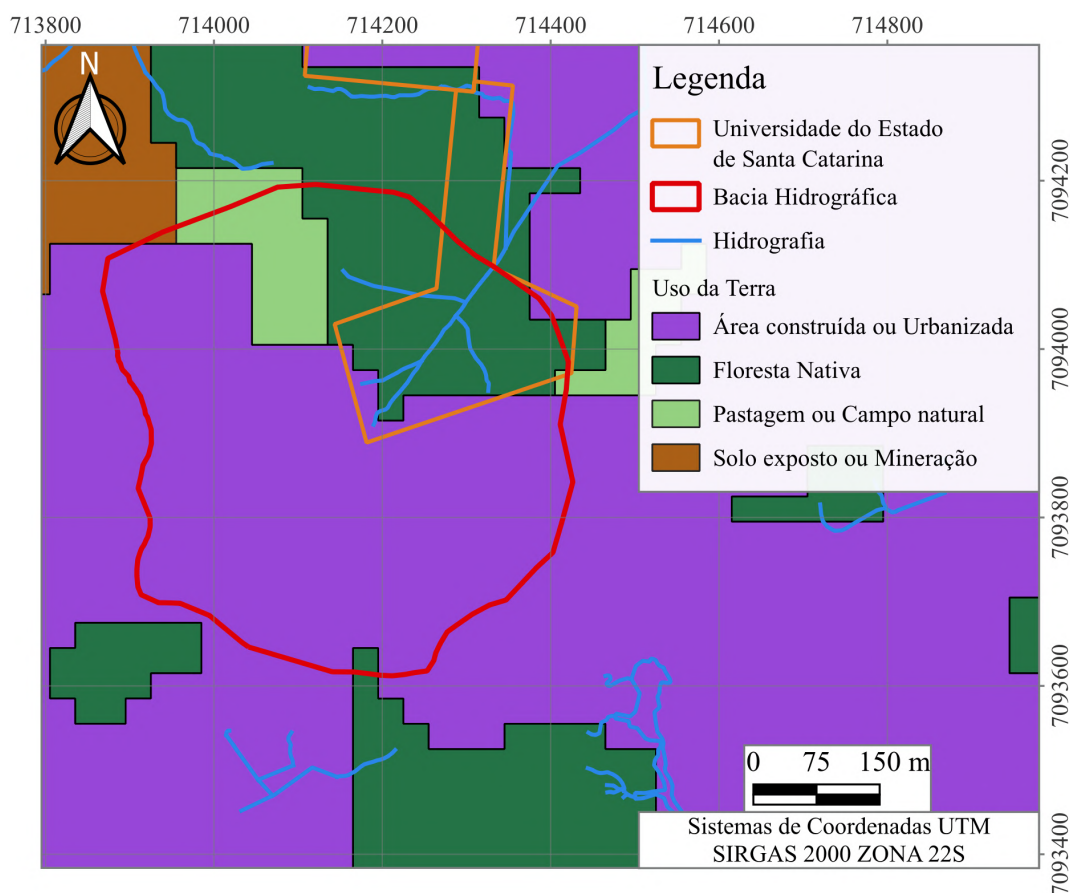
Figura 23 – Mapa do zoneamento urbano da bacia de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação ao uso do solo, utilizou-se dos dados da plataforma Monitora SC (Vibrans *et al.*, 2021) dos quais foram geoprocessados (Figura 24). Observou-se que grande parte da bacia hidrográfica de estudo possui área construída ou urbanizada, contemplando aproximadamente 0,176 km², 70,7% da área total da bacia hidrográfica delimitada. A segunda maior área refere-se à Floresta Nativa, com aproximadamente 0,053 km², 21,3% da área da bacia. As duas menores áreas são referentes a Pastagem ou Campo natural e Solo exposto ou mineração, que somadas apresentam aproximadamente 0,020 km², 8% da área da bacia. Estes dados corroboram com o cenário encontrado *in loco*.

Figura 24 – Mapa do uso da terra da bacia de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.4.6 Caracterização Pedológica e Geológica

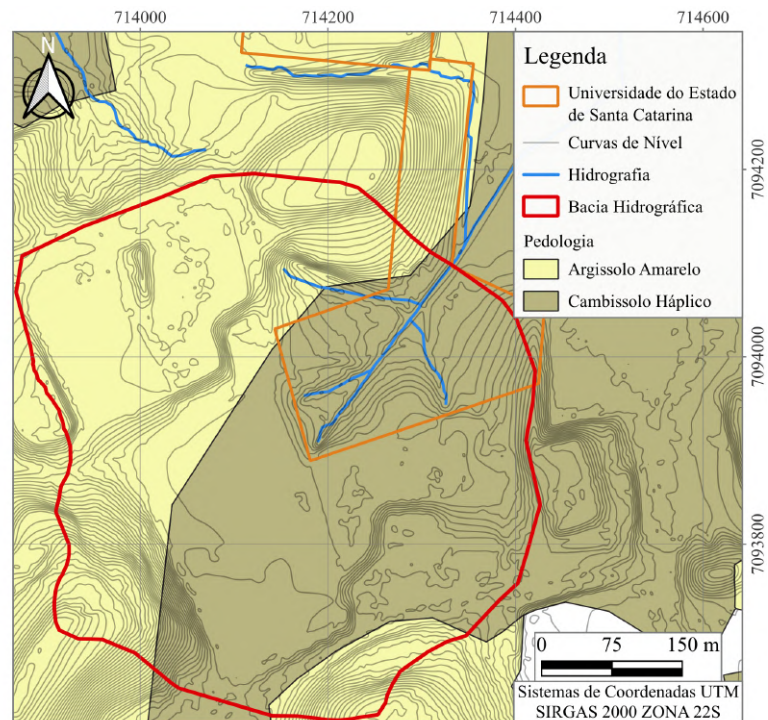
A análise pedológica da área de estudo, representada na Figura 25, foi elaborada a partir da interpretação dos dados pedológicos disponíveis no SIMGeo (Joinville, 2021). A partir disso, observou-se a ocorrência de dois tipos de solos: o Argissolo Amarelo e o Cambissolo Háplico. O Argissolo Amarelo Distrófico típico¹ apresenta horizonte A moderado, textura argilosa e está associado à fase² Floresta Ombrófila Densa, com relevo fortemente ondulado suscetível aos processos erosivos e substrato derivado de Gnaisses. Por sua vez, o Cambissolo Háplico Distrófico típico possui horizonte A moderado e textura argilosa, de fase Floresta Ombrófila Densa e relevo que se refere a terrenos planos ou suavemente ondulados, e substrato de sedimentos Quaternários.

A caracterização geológica da área de estudo foi representada por mapa geológico elaborado por meio dos dados disponíveis no SIMGeo (Joinville, 2021) (Figura 26). Assim, identificou-se a ocorrência de quatro unidades litológicas: Depósitos Coluvionares, Depósitos Aluvionares, Gnaisses Granulíticos Luis Alves e Unidade Máfica-Ultramáfica Barra Velha.

¹ A utilização do termo "típico" indica que o solo não apresenta características extraordinárias ou intermediárias em relação a outras classes (Batista; Paiva; Marcolino, 2014).

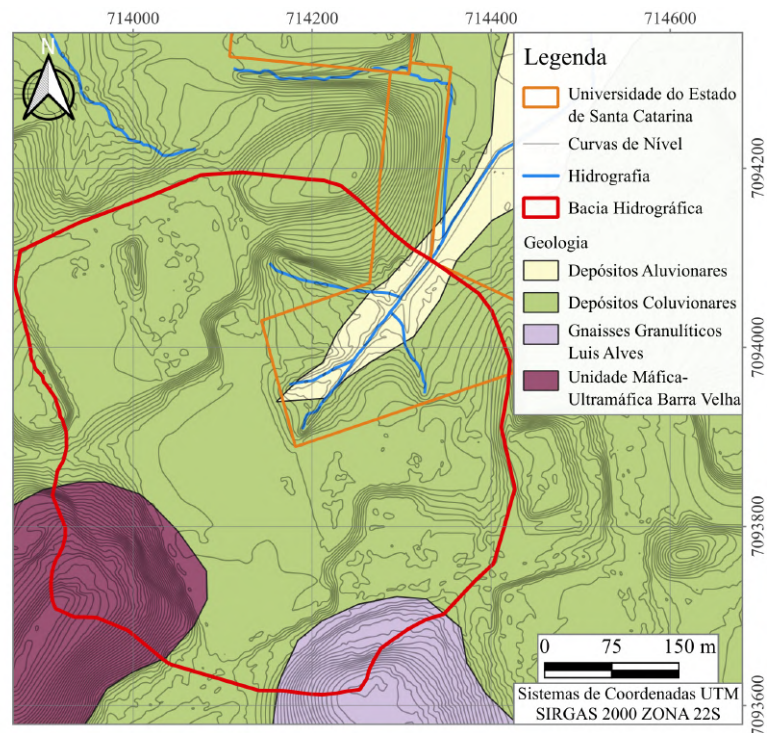
² A fase é utilizada para distinguir subdivisões mais uniformes dentro das classes de solos, representando condições que afetam, de forma direta ou indireta, o comportamento e a qualidade dos mesmos (IBGE, 2007).

Figura 25 – Mapa Pedológico da bacia de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 26 – Mapa Geológico da bacia de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com SGB (2019), tem-se a descrição de cada uma das unidades presentes na área de estudo, conforme segue.

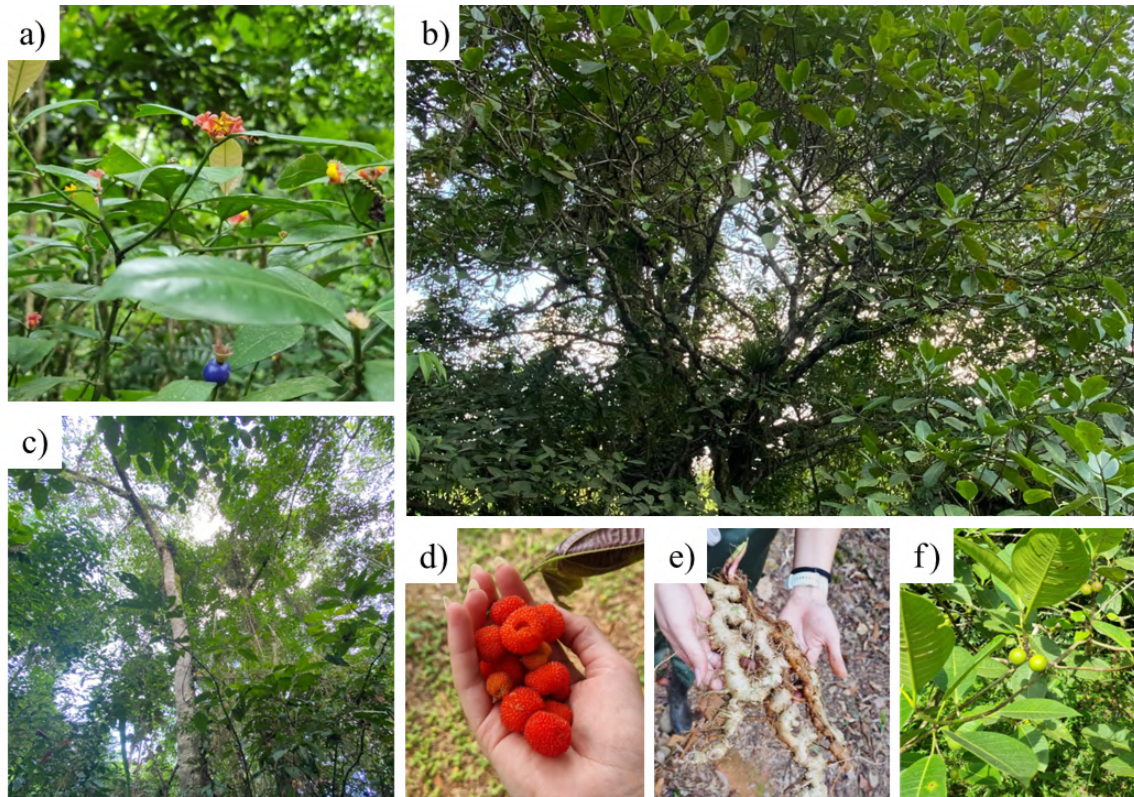
- Depósitos Coluvionares, de éon Fanerozoico e era Cenozoico: correspondem a sedimentos mal selecionados, normalmente siltico-argilosos, associados às vertentes das elevações e formados por meio de processos gravitacionais, com detritos rochosos resultantes de intemperismo que se deslocam encosta abaixo;
- Depósitos Aluvionares, também do Fanerozoico e Cenozoico: formados por areias, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos depositados em planícies de inundação, terraços e calhas da rede fluvial;
- Gnaisses Granulíticos Luis Alves, de éon Arqueano e era Neoarqueano/Paleoproterozoico: correspondem a gnaisses enderbíticos, charnoenderbíticos e trondhjemiticos com enclaves máficos de gabronorito, piroxenito e hornblenda;
- Unidade Máfica-Ultramáfica Barra Velha, também do Arqueano e era Neoarqueano/Paleoproterozoico: é composta por piroxenito, norito, gabronorito, gabro e magnetitos.

4.2.4.7 Caracterização de Fauna e Flora

Com base nas informações fornecidas pelo SIMGeo (Joinville, 2021), a área de estudo não está inserida em Unidade de Conservação ou zona de amortecimento de Unidade de Conservação. Da mesma forma, a área não é considerada como Área de Relevante Interesse Ecológico e não integra o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (PMMA) do município de Joinville.

Os diagnósticos ambientais desenvolvidos por Perini *et al.* (2024) e Oliveira *et al.* (2021) caracterizaram os meios físicos e bióticos da região referente à bacia hidrográfica do rio Cubatão, incluindo o fragmento florestal que se estende até a área objeto do presente estudo. Esses autores identificaram a vegetação da área como pertencente ao bioma Mata Atlântica, inserida no domínio da Floresta Ombrófila Densa, com predominância da formação de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. Essa formação, segundo a classificação do IBGE (2012), estende-se predominantemente por planícies costeiras, sendo recoberta por tabuleiros geológicos relativamente planos, formados entre o Plioceno e o Pleistoceno, que sobrepõem camadas geológicas mais antigas. Essas formações apresentam florística típica, caracterizada por ecótipos dos gêneros *Ficus*, *Alchornea*, *Tabebuia*, além da *ochlospécie* *Tapirira guianensis* (IBGE, 2012). As espécies arbóreas que identificam essa formação florestal são típicas de ambientes úmidos e exigem condições específicas para seu desenvolvimento (Schmidlin *et al.*, 2005). Nessa região, as boas condições para o crescimento dessas espécies refletem-se em copas bem desenvolvidas e troncos bem formados (Schmidlin *et al.*, 2005). Alguns registros fotográficos foram realizados na área de estudo referentes à flora, que evidenciam as características apresentadas por estes estudos (Figura 27). Denota-se também a presença de espécies como o lírio-do-brejo, da qual está presente na lista oficial de espécies exóticas invasoras no Estado de Santa Catarina (Santa Catarina, 2012), com maior ocorrência próxima aos corpos hídricos, e da framboesa silvestre.

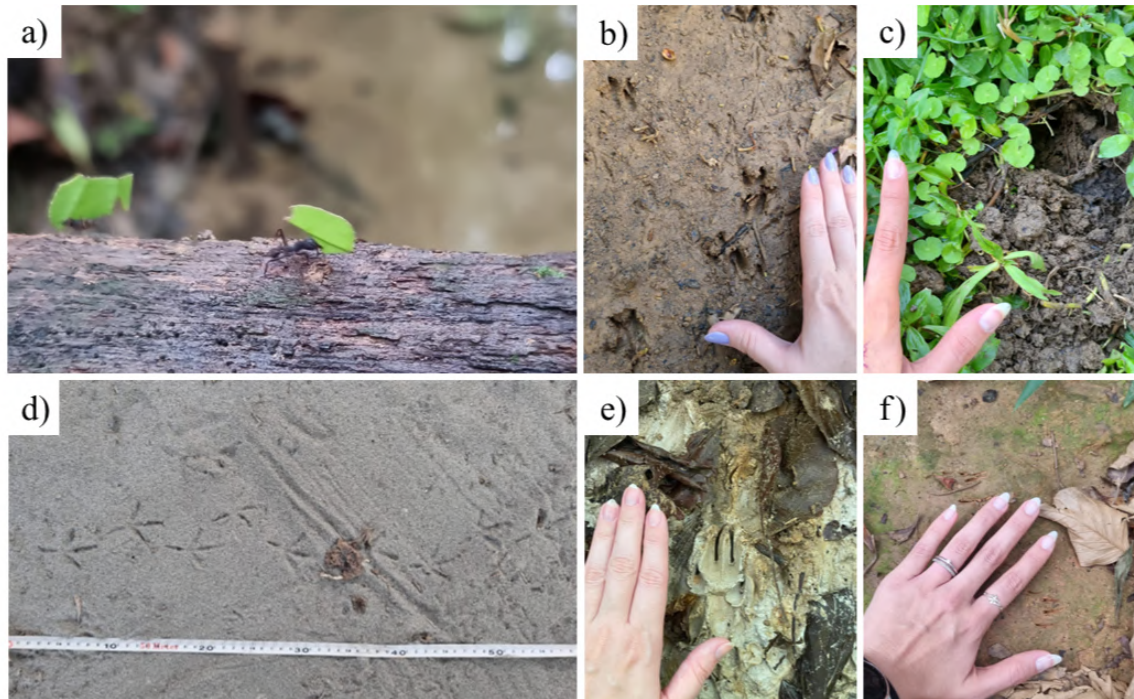
Figura 27 – Registros fotográficos da flora na área de estudo; a) Flores registradas na área de estudo; b) Figueira encontrada nas proximidades do lago; c) Vegetação registrada; d) Framboesas silvestres; e) Lírio-do-brejo; f) Registro dos frutos da figueira.



Fonte: Elaborado pela autora.

A estrutura da Floresta Ombrófila Densa promove condições ambientais favoráveis a uma grande diversidade de plantas e animais (FATMA, 2002). O Atlas Ambiental da Região de Joinville (FATMA, 2002) apresentou a fauna associada ao ambiente florestal da região, conforme segue. Entre as espécies encontradas na região, estão as saíras (*Tangara spp.*), sabiás (*Turdus spp.*), gralha-azul (*Cyanocorax caeruleus*) e alma-de-gato (*Piaya cayana*), que frequentam o interior e as bordas florestais em busca de alimento, deslocando-se com frequência para bosques ou árvores isoladas. Árvores de espécies nativas encontradas na área de estudo, como as figueiras (*Ficus spp.*), frutíferas e os palmiteiros (*Euterpe edulis*), cujos frutos também alimentam a fauna, são fontes de alimentos para diversas aves e mamíferos da região, como a cutia (*Dasyprocta azarae*). Da fauna de mamíferos associada às matas ciliares, podem ser citados o mão-pelada (*Procyon cancrivorus*) e a capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), registrados pelos estudos anteriormente citados e avistados na área de estudo. O uso das margens dos rios como corredores de fauna evidencia a importância da preservação (ou mesmo recomposição) dessas áreas. Nas visitas de campo, foi possível realizar registros fotográficos de evidências da fauna local (Figura 28).

Figura 28 – Registros fotográficos da presença da fauna na área de estudo; a) Formigas fazendo o caminho até o formigueiro; b) Pegadas registradas no solo do caminho principal; c) Possível toca no caminho principal; d) Pegadas de ave registradas em disposição arenosa; e) Pegada registrada na margem esquerda do rio principal; f) Pegadas registradas no solo do caminho principal.



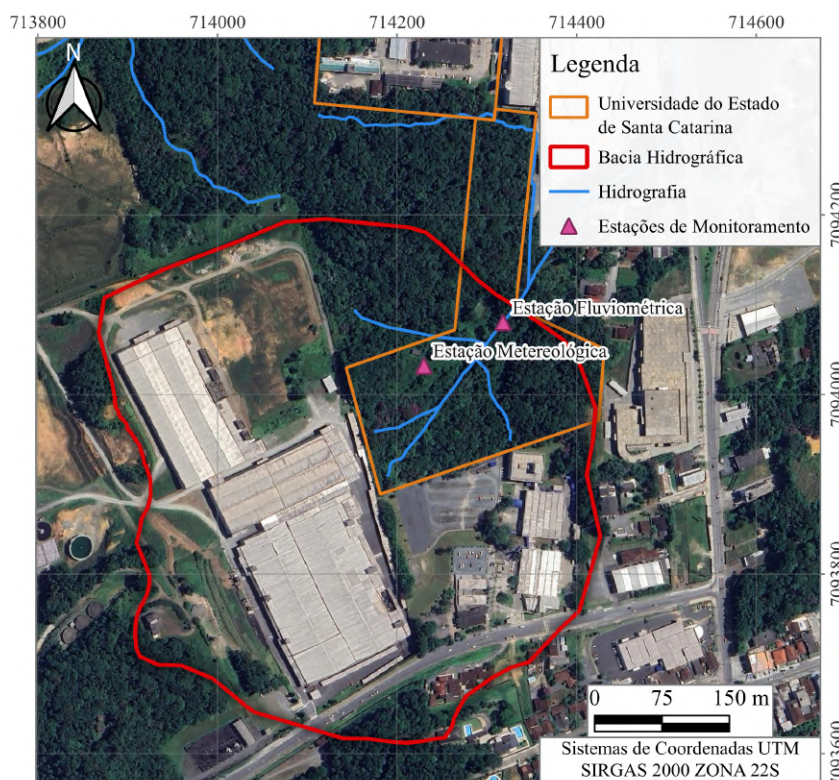
Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.5 Monitoramento da Bacia hidrográfica

Para o monitoramento hidrológico automático da bacia hidrográfica, foram instaladas: uma estação meteorológica e uma fluviométrica, de acordo com os locais indicados na Figura 29. Com base no t_c calculado, o período de monitoramento da estação meteorológica e do sensor de nível por pressão foi configurado com discretização temporal de 1 minuto para a coleta de dados. Este período de resolução se deu por conta do tempo de concentração da bacia hidrográfica, sendo aproximadamente 10 minutos.

A alta resolução na coleta de dados permite uma análise mais detalhada da variabilidade de eventos hidrológicos, sendo fundamental para a compreensão da resposta dessa pequena bacia, especialmente em eventos de curta duração e alta intensidade. Para a observação visual, foi instalada uma régua linimétrica na mesma seção do nível. Além disso, foram realizadas campanhas de monitoramento no ano de 2025 para a coleta de dados de vazão e de parâmetros de qualidade da água.

Figura 29 – Identificação dos Locais de Instalação das Estações de Monitoramento.



Fonte: Elaborado pela autora.

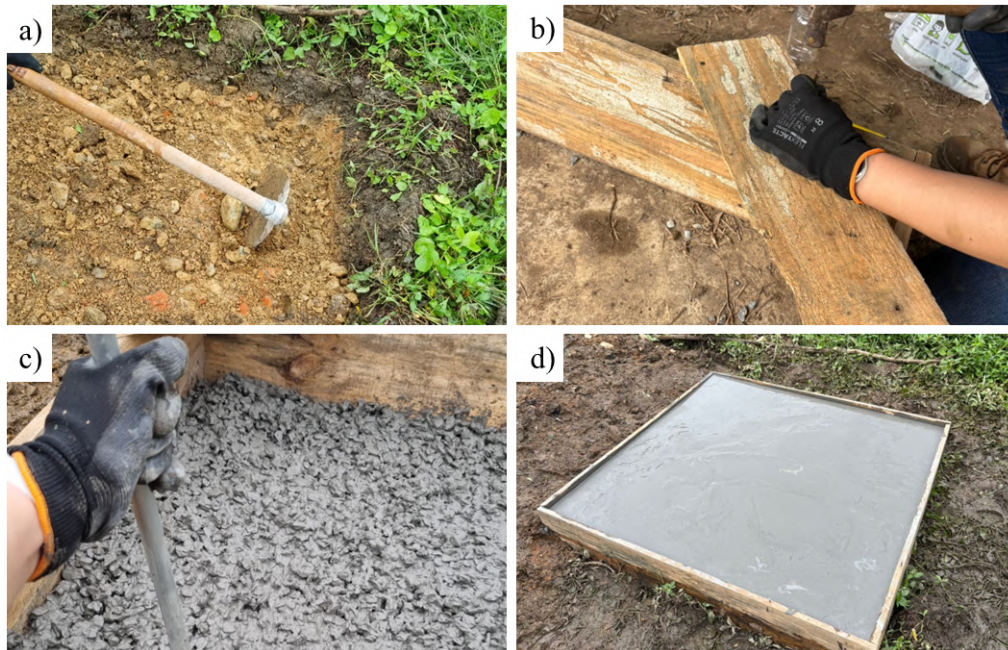
4.2.5.1 Estação Meteorológica

Para a medição automática dos parâmetros meteorológicos de forma contínua, realizou-se a instalação de uma estação meteorológica na área de estudo. A estação instalada foi a de modelo WS6006³, marca Ecowitt, que possui pluviômetro, anemômetro, barômetro, sensor Ultra Violeta, sensor de temperatura e umidade e armazenamento interno. Este modelo de estação meteorológica não fornece os dados por telemetria, então, os dados foram coletados mensalmente após a sua instalação.

Como o local definido para a instalação da estação meteorológica não possuía infraestrutura prévia, foi necessária a construção de uma base de concreto para assegurar a estabilidade e o correto funcionamento do equipamento (Figura 30). A estrutura construída possui 1,20 m de comprimento, 1,20 m de largura e 0,30 m de profundidade. Para a execução da base, utilizou-se um traço de concreto na proporção 1:2:3 (uma parte de cimento, duas partes de areia e três partes de brita), proporcionando resistência e durabilidade frente às condições ambientais do local.

³ Frequência de transmissão de 433 MHz; faixa de temperatura de -40 a 60°C, resolução de 0,1°C; umidade relativa entre 1% e 99%, resolução de 1%; precipitação acumulada de 0 a 9999 mm, com resolução de 0,254 mm e precisão <8%; velocidade do vento entre 0 e 160 km/h; intensidade luminosa de 0 a 300.000 lux; índice UV de 0 a 15 (0 a 2000 W/m²); pressão atmosférica entre 300 e 1100 hPa, resolução de 0,1 hPa e precisão de ±3 hPa; intervalo de atualização dos sensores de 16 segundos; grau de proteção IPX3 (Ecowitt, s.d.).

Figura 30 – Construção da base de concreto; a) Preparação do solo; b) Montagem da caixaria; c) Adensamento da primeira camada de concreto; d) Concretagem finalizada.



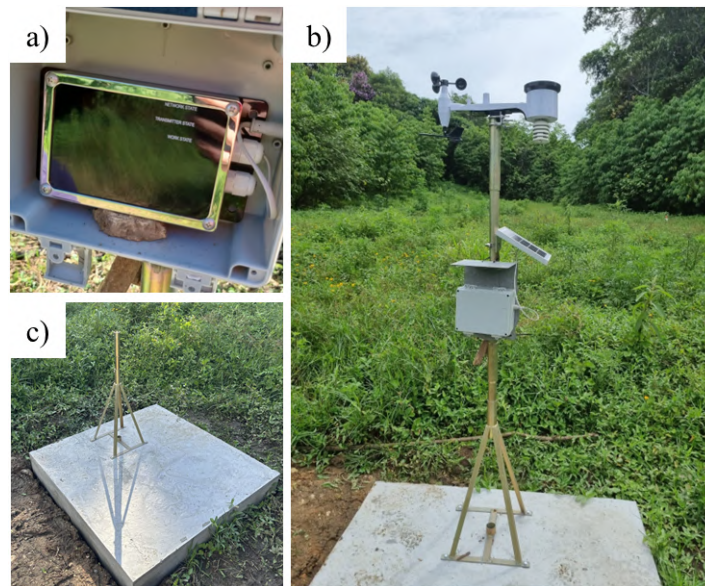
Fonte: Elaborado pela autora.

Após o período adequado de cura da base de concreto, a estação meteorológica foi instalada no local em 26 de novembro de 2024 (Figura 31). O pluviômetro, componente da estação meteorológica, foi instalado na altura de 1,65 m em relação à base de concreto. Para evitar o acúmulo de sujeiras, como folhas, foi produzida uma grade de alumínio e instalada na parte superior do funil do pluviômetro. Após a instalação da estação meteorológica, identificou-se a necessidade de manutenções semanais, principalmente devido ao acúmulo frequente de fezes de aves no interior do pluviômetro, o que pode comprometer seu funcionamento. Além disso, observou-se a recorrente presença de vespas iniciando a construção de ninhos na haste de sustentação do pluviômetro, o que reforça a importância da manutenção constante para garantir a integridade da estação e a segurança dos envolvidos.

4.2.5.2 Fluviometria

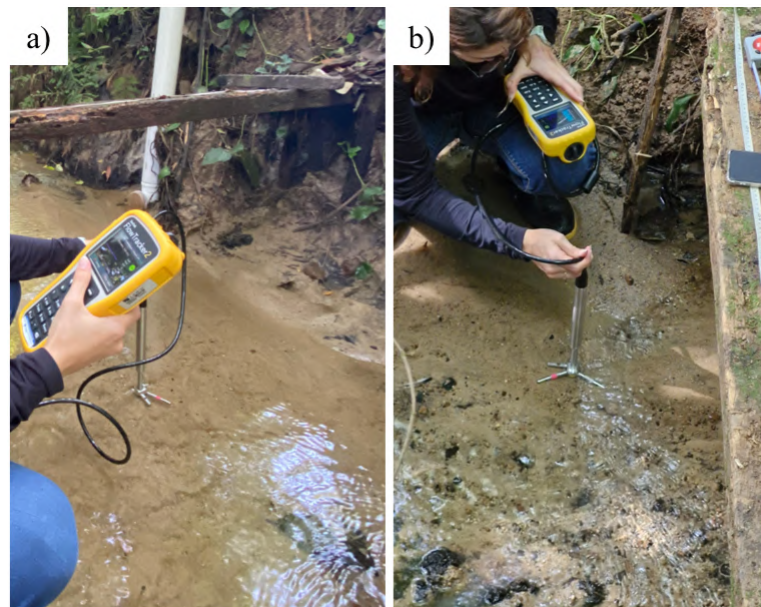
A fim de determinar a vazão no canal principal da bacia experimental, foi realizada uma campanha de medições entre os meses de fevereiro e maio de 2025. As medições foram conduzidas com o auxílio do equipamento *FlowTracker2* (Figura 32), adotando-se o método de medição na posição vertical de 0,6 profundidade (0,6p), conforme recomendado para seções pequenas e de baixa profundidade. As idas a campo foram organizadas com frequência de pelo menos uma vez por semana, contemplando diferentes dias úteis, a fim de capturar eventuais variações no escoamento ao longo do tempo. O canal medido apresentou profundidade média baixa, variando entre 1,9 e 10,2 cm, de modo que a haste milimetrada do *FlowTracker2* foi dispensada na maior parte das medições realizadas durante a campanha.

Figura 31 – Instalação da estação meteorológica; a) *Datalogger* da estação meteorológica instalado; b) Estação meteorológica devidamente instalada; c) Suporte da estação instalado previamente.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 32 – Medição sendo conduzida com o aparelho *FlowTracker2*; a) Medição sendo realizada vista da margem direita do canal; b) Medição sendo realizada vista da margem esquerda do canal

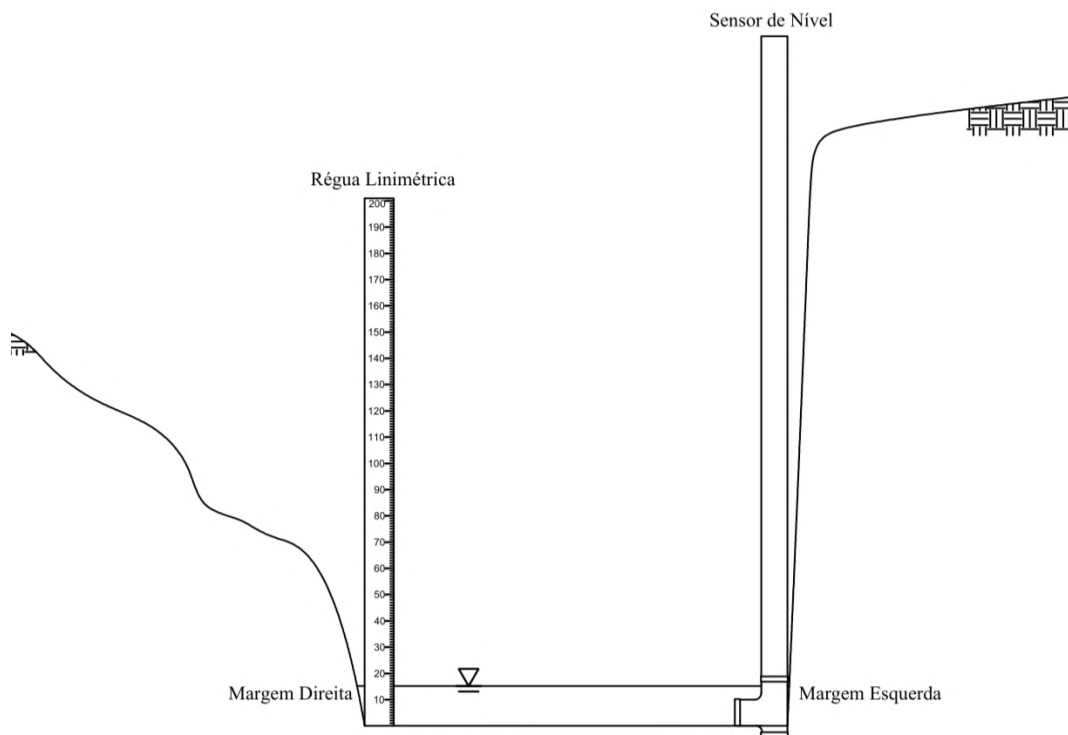


Fonte: Elaborado pela autora.

Entretanto, esse método de medição demanda a presença física de um operador no local, o que representa uma limitação significativa para a obtenção de dados durante eventos hidrometeorológicos extremos, nos quais o acesso à área pode ser inviável ao apresentar riscos à segurança. Dessa forma, para a coleta contínua de dados fluviométricos, foi instalado um

medidor de nível por pressão na seção do canal principal. Visando à obtenção de dados contínuos e com maior segurança, foi instalado um sensor de nível por pressão⁴ *dipperLog Vented+*, da marca Heron Instruments Inc., que também possui sensor de temperatura⁵, na mesma seção do canal principal. Complementarmente, uma régua linimétrica foi posicionada nas proximidades do exutório da bacia hidrográfica (Figura 33), permitindo a leitura visual do nível da água e servindo para possíveis atividades de monitoramento e ciência cidadã. Tanto o sensor, quanto a régua, foram instalados a uma distância de aproximadamente 45 m do exutório. A instalação mais afastada do exutório se deu por dificuldades de instalação, já que houve uma tentativa anterior de instalação de vertedouro triangular de parede fina (Apêndice B), e ainda, por uma ocupação do terreno ao lado, em que alguns conflitos de interesse foram vivenciados.

Figura 33 – Desenho ilustrativo da instalação da régua linimétrica e do sensor de nível no canal (Seção transversal).



Fonte: Elaborado pela autora.

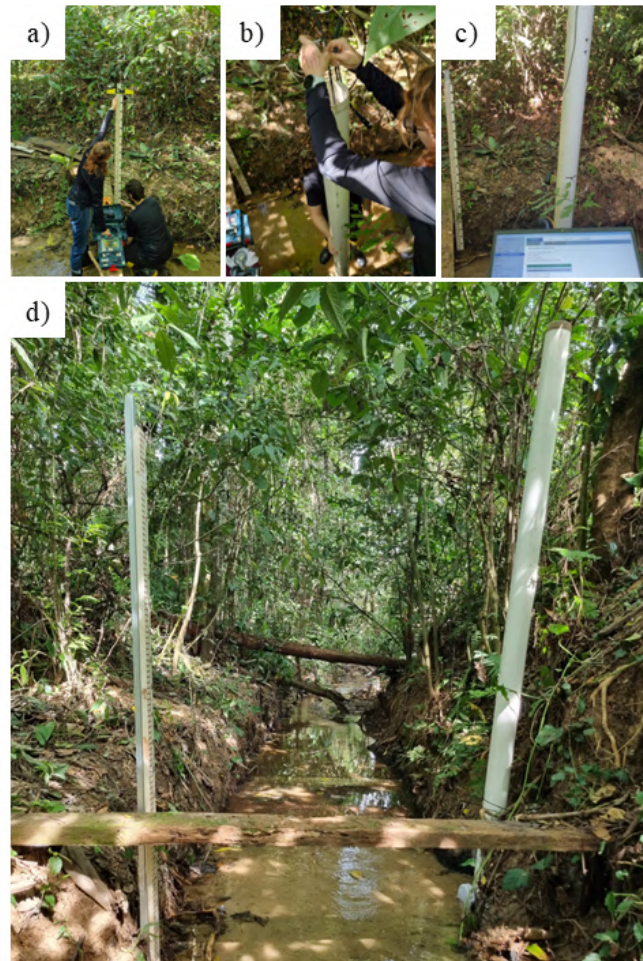
A régua foi fixada em uma haste de alumínio e cravada a 1 m no solo, onde já obteve resistência ao cravamento. Já para o sensor de pressão, criou-se uma estrutura inspirada em Mota *et al.* (2017) para sua instalação. A estrutura foi composta de 2 tubos de PVC de 100 mm de diâmetro, um contendo 1,50 m de comprimento e o outro de 2,65 m, e uma conexão do tipo "T" de mesmo diâmetro. O tubo de menor comprimento foi cravado no solo mecanicamente, quase encostado na margem esquerda do rio em posição vertical, que serviu de base para encaixar a

⁴ Precisão: $\pm 5 \text{ mm}$ (0 a 50°C); faixa de medição: 10 m (14 PSI); resolução: 0,1 mm (Heron Instruments Inc., 2020).

⁵ Precisão: $\pm 0,05^\circ\text{C}$; faixa de medição: -20 a 80°C (Heron Instruments Inc., 2020)

conexão e o tubo de maior comprimento. O sensor foi posicionado na peça de conexão "T", dessa forma a altura da coluna d'água dentro do tubo equivale à da seção transversal no rio (Figura 34). O zero do sensor está localizado na posição 0,008 cm da régua.

Figura 34 – Instalação do sensor de nível e da régua linimétrica; a) Nivelamento da régua com nível de pedreiro; b) Instalação do sensor de nível na estrutura criada; c) Processo de configuração do sensor de nível; d) Vista para montante da seção transversal do canal com os equipamentos instalados.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.6 Processamento de Dados

4.2.6.1 Estações de monitoramento

A análise foi estruturada em diferentes etapas, organizadas conforme a natureza dos dados obtidos. Inicialmente, são apresentados os registros de precipitação e intensidade dos eventos pluviométricos ao longo do período monitorado. A partir do mês de maio, foi possível integrar esses dados aos registros de nível do rio, ampliando a compreensão da resposta do corpo hídrico frente aos eventos de chuva. Em seguida, foram analisadas as vazões obtidas durante as campanhas associadas aos eventos de precipitação. Por fim, são apresentados os resultados referentes à qualidade da água, associados à temperatura atmosférica e à vazão.

Mesmo que a instalação da estação tenha ocorrido em novembro de 2024, os dados de precipitação iniciam em janeiro de 2025 devido à inconsistência dos dados identificada nos meses anteriores, e são analisados até o fim de maio, somando cinco meses. Durante o período de monitoramento, foram observados diversos eventos de precipitação com diferentes magnitudes e distribuições temporais e estão apresentados no Apêndice C. As análises referentes aos períodos de precipitação estão compiladas na Tabela 9.

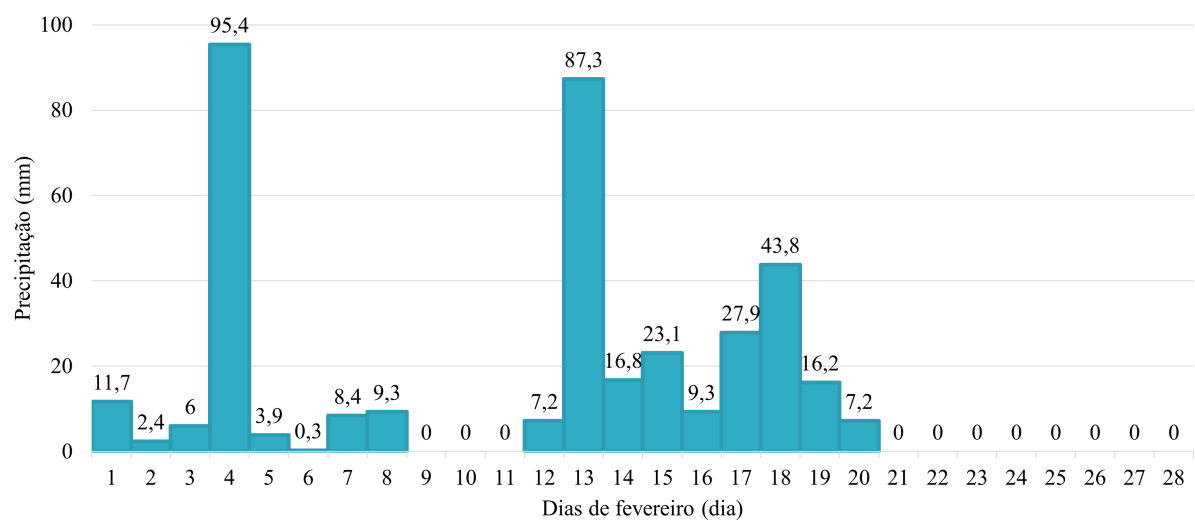
Tabela 9 – Distribuição da precipitação por mês.

Mês	Chuva mensal (mm)	Dias de chuva	Dias secos	Dias de chuva consecutivos
Janeiro	279,6	27	4	13
Fevereiro	376,2	17	11	9
Março	200,1	18	13	10
Abril	105,9	15	15	12
Maio	114,6	17	14	7

Fonte: Elaborado pela autora.

Em todos os meses registrados, observou-se a ocorrência de 15 ou mais dias com precipitação, o que reforça a média anual elevada de precipitação de Joinville, como apresenta Mello e Oliveira (2016). Entre as transições mensais, destacam-se dois períodos: janeiro e fevereiro registraram 13 dias consecutivos de chuva, enquanto entre fevereiro e março houve 14 dias seguidos sem precipitação. Apesar de fevereiro ter sido o mês com maior volume acumulado de chuva, não foi o que apresentou o maior número de dias com registro de precipitação (Figura 35). O mês de maio, por exemplo, registrou o mesmo número de dias com chuva que fevereiro, embora tenha acumulado apenas cerca de um terço do volume precipitado. Isso se deve à intensidade dos eventos em fevereiro, que concentrou, em poucos dias, volumes diários superiores aos demais meses analisados.

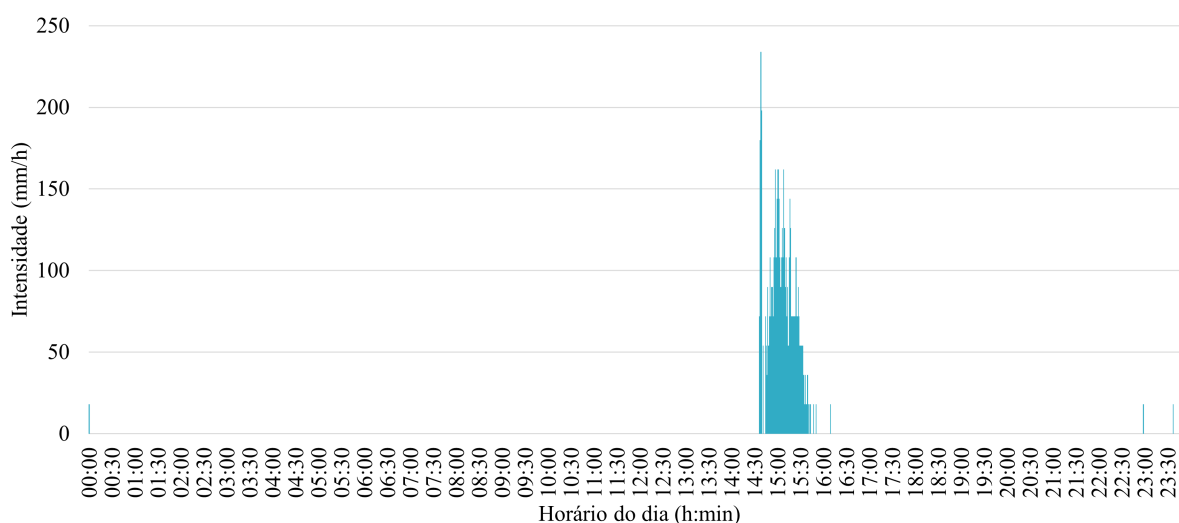
Figura 35 – Precipitação acumulada do mês de fevereiro de 2025.



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise mensal dos dados pluviométricos revelou padrões importantes sobre a dinâmica das chuvas na área de estudo, influenciados diretamente pelo contexto climático e geográfico de Joinville. O município está localizado em uma região de transição entre o litoral e as serras do norte do estado de Santa Catarina, o que favorece a ocorrência de chuvas orográficas, sendo fortes e rápidas, geralmente associadas à elevação do relevo e à presença de umidade proveniente do oceano. Além disso, durante o verão, as chuvas intensas e de curta duração, típicas da atuação de sistemas convectivos, também foram registradas com frequência. O mês de janeiro destacou-se como o mais chuvoso, com 27 dias de precipitação, enquanto abril apresentou o menor volume acumulado diário entre os meses analisados, evidenciando a variabilidade sazonal. Observou-se, ainda, a ocorrência de episódios extremos, como no dia 04 de fevereiro, quando 94,5 mm foram registrados em menos de duas horas (Figura 36), ressaltando a importância do monitoramento de alta resolução temporal para a compreensão da resposta hidrológica da bacia. Além disso, o dia 04 de fevereiro foi marcado por inundação na cidade de Joinville, que atingiu principalmente os bairros: Zona Industrial Norte, Costa e Silva e Santo Antônio.

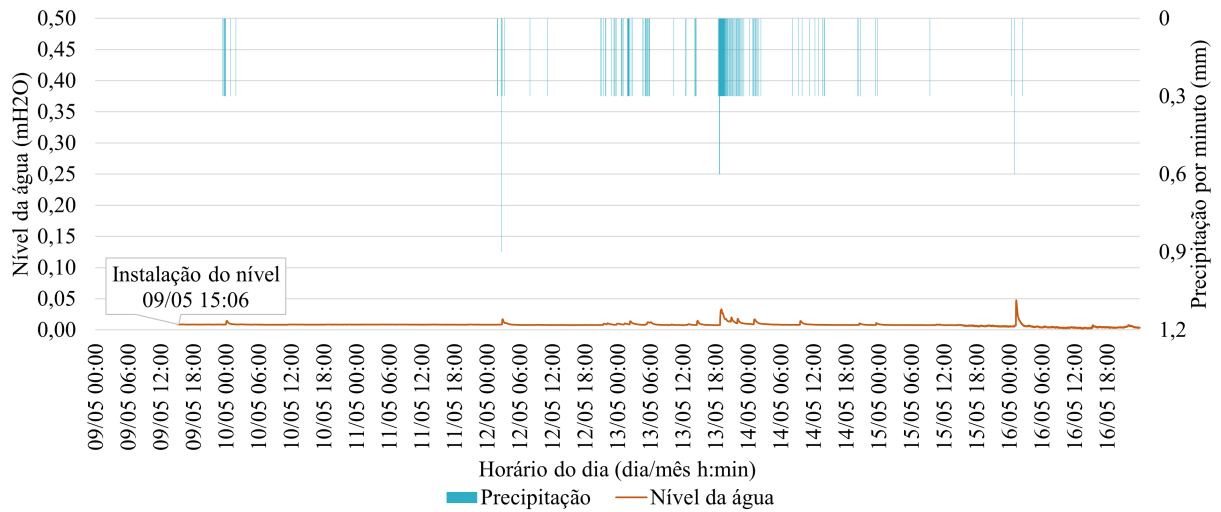
Figura 36 – Intensidade da precipitação no dia 04 de fevereiro de 2025.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir do dia 09 de maio, os dados de precipitação passaram a ser analisados de forma integrada com os registros de nível do rio, permitindo uma avaliação mais precisa da resposta hidrológica da bacia aos eventos de chuva (Figura 37). A análise conjunta desses dados possibilita identificar a dinâmica do escoamento superficial e as alterações no comportamento do nível do rio em função da intensidade e duração das precipitações. Observa-se que, no momento da instalação do sensor de nível, os registros indicavam um comportamento relativamente estável. No entanto, após os primeiros episódios de chuva, houve alterações significativas no padrão do nível, evidenciando a alta variabilidade do leito fluvial. Essa variabilidade, especialmente em condições de baixa vazão, impõe desafios à elaboração de uma curva-chave confiável, uma vez que pequenas variações podem resultar em grandes oscilações no nível registrado.

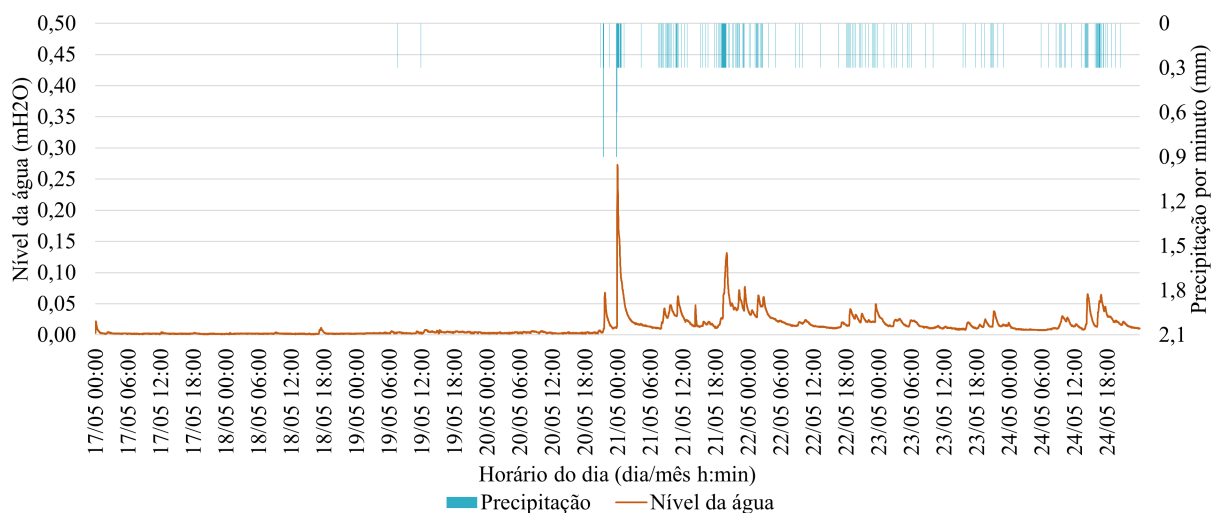
Figura 37 – Precipitação e Nível por minuto dos dias 09 a 16 de maio de 2025.



Fonte: Elaborado pela autora.

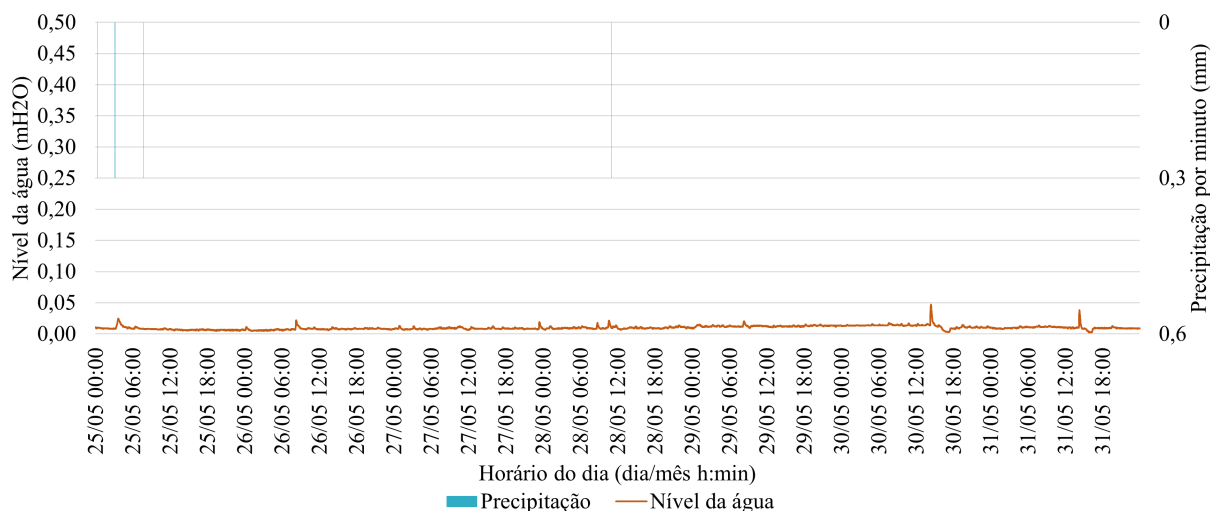
A maior altura de nível registrada até maio de 2025 foi de 27,33 *cm*, ocorrida no dia 21 de maio de 2025, às 00:00 (Figura 38). Este evento ocorreu durante episódio de precipitação de 11,1 *mm*. Além disso, mesmo em períodos sem registro de chuva, observam-se elevações pontuais no nível, sugerindo a possibilidade de lançamento de águas residuais ou contribuições não diretamente associadas à precipitação. Tais picos são mais claramente visualizados na Figura 39, na tarde do dia 30, embora também estejam presentes, ainda que de forma mais discreta, nas figuras anteriores. Tais comportamentos reforçam a complexidade do monitoramento hidrológico urbano e a importância de um acompanhamento contínuo e integrado.

Figura 38 – Precipitação e Nível por minuto dos dias 17 a 24 de maio de 2025.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 39 – Precipitação e Nível por minuto dos dias 25 a 31 de maio de 2025.



Fonte: Elaborado pela autora.

Esses comportamentos reforçam a complexidade do monitoramento hidrológico em ambientes urbanos, onde múltiplas variáveis interferem na dinâmica dos cursos d'água. A análise integrada entre os dados de precipitação e de nível do rio evidencia que a resposta hidrológica da bacia não depende apenas da intensidade da chuva, mas também de fatores como uso e ocupação do solo, impermeabilização, lançamento de efluentes e características geomorfológicas locais. A ocorrência de picos de nível mesmo em períodos sem precipitação ressalta a importância de se considerar fontes adicionais de contribuição hídrica, como descargas pontuais e fluxos subterrâneos, por exemplo.

4.2.6.2 Campanha de medição

As medições de vazão foram realizadas em campanhas de campo, por meio de métodos diretos de medição em seção definida do canal principal da bacia. As informações foram organizadas na Tabela 10, contendo os valores registrados de data e horário final da medição, a respectiva vazão e a precipitação acumulada nos intervalos temporais de 10 minutos, 6 horas, 12 horas, 1 dia (24 horas) e 7 dias. O intervalo de tempo de 10 minutos foi definido com base na duração média de cada medição de vazão realizada com o equipamento *FlowTracker2*. Considerando esse tempo, optou-se por não adotar uma discretização temporal inferior, pois medições em intervalos menores não permitiriam avaliar adequadamente a influência da precipitação sobre os dados obtidos, além de não terem sido realizadas medições durante a ocorrência de chuva, para a grande maioria dos dados.

Em complemento aos dados coletados, durante a campanha foram observadas a altura da régua depois de sua instalação, no mês de maio: 08/05, 0,8 cm às 10:30; 16/05, 0,3 cm às 15:16; e 19/05, 0,4 cm às 14:53. O maior valor de vazão registrado durante as campanhas foi de 8,4 L/s, ocorrido durante um evento de precipitação no dia 07/03. Esse dado evidencia a rápida

resposta hidrológica da bacia experimental frente à ocorrência de chuvas, característica comum em áreas com pequena extensão e declividade moderada. A presença de escoamento superficial expressivo durante esse evento reforça a importância do monitoramento contínuo da bacia para compreender seu comportamento hidrológico.

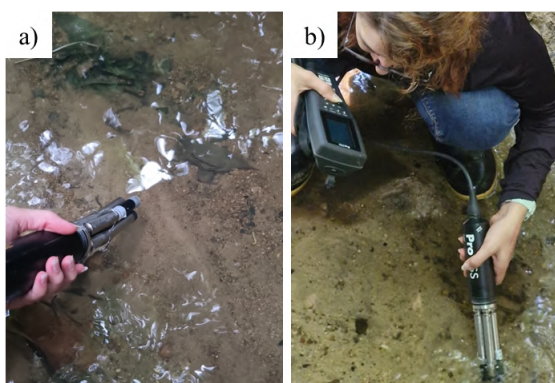
Tabela 10 – Dados hidrológicos

Id	Data	Hora	Vazão (L/s)	Precipitação Acumulada (mm)				
				10 min	6 h	12 h	1 dia	7 dias
1	27/02	09:56	2,9	0	0	0	0	6,9
2	28/02	17:12	3,1	0	0	0	0	0
3	07/03	14:48	8,4	0,3	9,3	16,2	16,2	16,2
4	10/03	15:51	4,7	0	0	0	0,6	17,1
5	19/03	14:42	1,8	0	0	0	1,2	72,6
6	25/03	10:55	1,5	0	0	5,1	5,1	8,1
7	03/04	10:05	2,0	0	0	0	0	0
8	11/04	10:07	6,1	0	0	0	1,8	45,0
9	14/04	15:16	2,8	0	0,3	0,3	23,7	72,6
10	22/04	10:52	2,1	0	0	0	0	15,3
11	30/04	09:50	2,8	0	0	0	0	1,5
12	08/05	10:52	1,7	0	0,3	0,3	0,3	0,6
13	16/05	15:50	0,8	0	0	0	1,8	45,9
14	19/05	15:39	2,2	0	0,3	0,6	0,6	40,5

Fonte: Elaborado pela autora.

A obtenção dos dados referentes aos parâmetros de qualidade da água foi conduzida com o objetivo de complementar a caracterização hidrológica da área. As medições foram realizadas durante a mesma campanha de campo da fluviometria, abrangendo o período de fevereiro a maio de 2025. Os dados foram obtidos diretamente no canal principal da bacia, na mesma seção de medição de vazão, de forma a garantir a compatibilidade espacial entre as análises hidrológicas e os dados de qualidade da água (Figura 40).

Figura 40 – Medição dos parâmetros de qualidade da água com o aparelho Pro-DSS; a) Medição sendo realizada diretamente no corpo hídrico; b) Medição sendo realizada vista da margem esquerda do canal.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados referentes aos parâmetros de qualidade da água e de vazão foram sistematizados na Tabela 11, em que T_{ag} refere-se à temperatura da água no momento da medição e T_{ar} é a média da temperatura do ar nas 12 h anteriores à medição. Ainda, foram apresentados os valores referentes à média, desvio padrão (Dp) e coeficiente de variação (Cv). A análise comparativa entre os dias monitorados revelou variações significativas associadas à ocorrência de precipitação, especialmente em relação à condutividade elétrica (CE) e à turbidez.

Tabela 11 – Dados de qualidade da água do curso hídrico principal

Id	Data	T_{ar} (°C)	T_{ag} (°C)	OD (mg/L)	CE ($\mu S/cm$)	pH	Turbidez (NTU)	Vazão (L/s)
1	27/02	26,2	24,9	5,9	164,9	7,2	27,7	2,9
2	28/02	29,5	25,5	5,8	175,2	6,9	22,6	3,1
3	07/03	25,3	25,2	5,6	125,7	6,7	130,7	8,4
4	10/03	23,6	23,7	5,7	165,8	6,8	247,3	4,7
5	19/03	24,1	24,4	5,7	170,6	6,9	363,3	1,8
6	25/03	23,9	23,8	6,1	155,4	7,1	43,1	1,5
7	03/04	24,6	24,3	5,3	168,6	6,9	18,0	2,0
8	11/04	20,8	22,5	5,7	184,4	6,9	22,7	6,1
9	14/04	20,7	22,4	6,4	154,1	6,8	10,4	2,8
10	22/04	18,7	21,3	6,9	151,4	6,7	14,0	2,1
11	30/04	16,6	19,5	6,9	177	6,8	19,7	2,8
12	08/05	20,8	21,8	5,7	187,2	6,8	43,9	1,7
13	16/05	21,8	21,6	5,9	179,7	6,9	63,0	0,8
14	19/05	22,1	21,7	5,9	167,6	6,9	23,6	2,2
	Média	22,8	23,0	5,9	166,3	6,9	75,0	3,1
	Dp	3,3	1,8	0,5	15,9	0,1	104,7	2,0
	Cv	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	1,4	0,7

Fonte: Elaborado pela autora.

Destaca-se que o menor valor de CE foi registrado em dia chuvoso (07/03), o que pode ser atribuído ao efeito de diluição dos íons dissolvidos na água, causado pelo aumento do volume hídrico durante o evento. Por outro lado, a turbidez apresentou tendência de aumento nesses eventos, refletindo a entrada de partículas em suspensão oriundas do escoamento superficial e do transporte de sedimentos; porém, é um parâmetro sensível de ser analisado, pois pode sofrer muita interferência durante a medição. Tais observações indicam que a qualidade da água na bacia responde de maneira direta à dinâmica de precipitação e ao uso e ocupação do solo.

A análise dos dados obtidos indica que, com base nos valores de média e desvio padrão, os parâmetros de T_{ag} , OD, CE e pH apresentaram baixa variabilidade ao longo do período observado. Essa constância se estendeu à maioria das variáveis analisadas, evidenciando uma estabilidade nas condições de qualidade da água para este tipo de monitoramento pontual. No entanto, para uma avaliação mais aprofundada e representativa das dinâmicas hidrológicas e possíveis flutuações nos parâmetros, recomenda-se a realização de monitoramento contínuo dos parâmetros de qualidade.

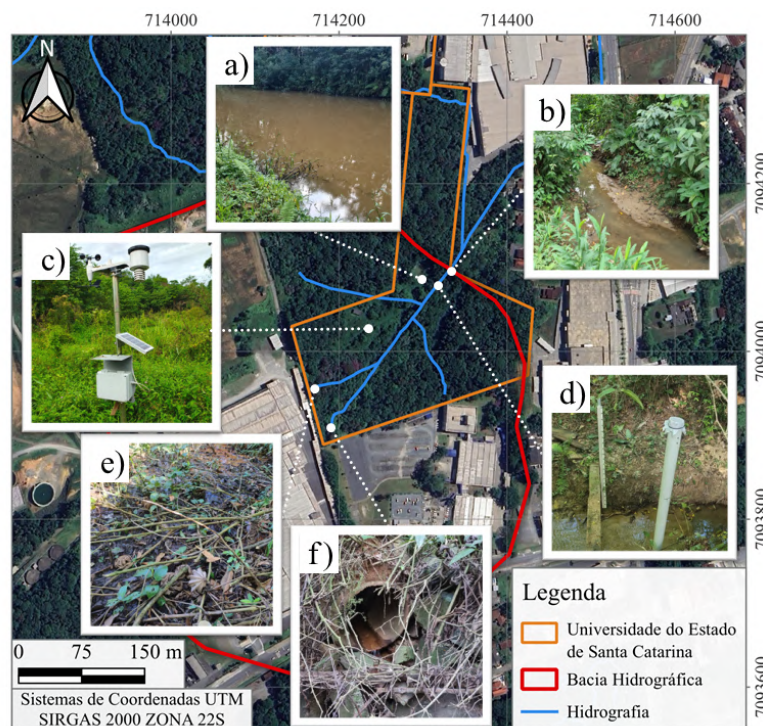
4.3 ESTRUTURAÇÃO DA BACIA-ESCOLA

A partir desse momento, a bacia-escola passa a ser a bacia hidrográfica delimitada e o "Parque da Bacia-escola" se refere ao novo terreno da UDESC. Os resultados incluem a definição de locais de interesse, planejamento e demarcação de trilhas e caminhos, a elaboração de atividades de ciência cidadã, voltadas à sensibilização do ambiente e engajamento do público e, por fim, a proposição de placas informativas.

4.3.1 Definição de Locais de Interesse

Com o objetivo de aprimorar o monitoramento e o entendimento dos processos hidrológicos na bacia-escola, foram definidos os principais locais de interesse da bacia hidrográfica. A escolha desses pontos não se baseou apenas em sua relevância para a dinâmica hidrológica, mas também na possibilidade de realização de atividades de educação ambiental e engajamento social. Os locais definidos foram: lago artificial (Figura 41a), exutório (Figura 41b), estação meteorológica (Figura 41c), estação fluviométrica e régua linimétrica (Figura 41d), a nascente (Figura 41e) e o curso hídrico proveniente da tubulação (Figura 41f). A definição desses locais de interesse favorece uma leitura mais sensível e integrada do funcionamento hidrológico da bacia-escola, ao mesmo tempo em que convida ao descanso, à contemplação e ao reencontro com o ambiente natural.

Figura 41 – Locais de interesse. a) Lago artificial; b) Exutório; c) Estação meteorológica; d) Estação fluviométrica e régua linimétrica; e) Nascente de afloramento; f) Curso hídrico proveniente de tubulação.



Fonte: Elaborado pela autora.

As nascentes representam os pontos de origem do fluxo superficial e são essenciais para a avaliação da recarga hídrica, da qualidade da água e da resposta inicial da bacia às chuvas. Sua identificação e definição como local de interesse permitem compreender a contribuição do sistema, bem como possíveis pressões antrópicas sobre as zonas de nascente. A apresentação de nascentes para a comunidade do município pode desmistificar a percepção de que a água surge espontaneamente da rede de abastecimento, reforçando a importância da conservação das áreas de recarga e da vegetação ciliar. Ao evidenciar o ponto de origem do curso hídrico, bem como seu entorno, amplia-se a capacidade da população de compreender os impactos do uso do solo na disponibilidade hídrica local, promovendo o engajamento da população na proteção desses ambientes.

O lago artificial, por sua vez, desempenha papel importante no regime de armazenamento e regulação do escoamento. Podendo atuar como um atenuador de picos de vazão e influenciar a dinâmica dos sedimentos, além de alterar parâmetros de qualidade da água, como temperatura e turbidez. Avaliar sua presença é fundamental para entender eventuais variações na resposta hidrológica natural da bacia. Além disso, o lago pode ser explorado como espaço educativo e de lazer, onde atividades como observação de fauna aquática, oficinas de educação ambiental, passeios guiados e momentos de contemplação da paisagem favorecem a aproximação da comunidade com os processos hidrológicos.

O exutório corresponde à saída da bacia e representa o ponto de integração de todos os processos hidrológicos que ocorrem a montante. Trata-se do principal ponto de observação da vazão gerada na bacia. Durante as visitas de campo, esse local foi observado em diferentes dias, permitindo registrar variações sazonais e temporais no comportamento do escoamento superficial (Figura 42). A apresentação desses registros fotográficos do exutório à comunidade, e a possibilidade de manter-se o registro contínuo, visa evidenciar a rápida resposta hidrológica da bacia, característica típica de bacias de pequena dimensão. Ao visualizar essas mudanças no exutório, os visitantes podem compreender como eventos de chuva impactam diretamente o volume e a velocidade da água escoada, promovendo reflexões sobre o uso e ocupação do solo, impermeabilização, manejo da vegetação e descarte de resíduos, por exemplo. Assim, o exutório torna-se também um espaço estratégico para fomentar a educação ambiental e fortalecer a percepção sobre a conexão entre ações cotidianas e o comportamento da bacia como um todo.

A estação meteorológica registra variáveis climáticas fundamentais, como precipitação, temperatura, umidade, radiação solar e vento, permitindo acompanhar as condições atmosféricas locais de forma contínua. Já a estação fluviométrica, composta por um sensor de nível por pressão e uma régua linimétrica instalada no canal principal, possibilita o monitoramento constante do nível e temperatura da água. Ao tornar esses sinais visíveis e acessíveis, esses dispositivos ajudam a aproximar as pessoas da complexidade que rege o ambiente em que vivem. Permitem que a comunidade perceba que cada alteração no céu ou no curso d'água é parte de um ciclo maior, de uma teia de relações que envolve o território, o tempo e a vida. Isto é, podem contribuir para um aumento na percepção das pessoas sobre as conexões existentes entre o ambiente natural local,

as intervenções antrópicas e o ciclo hidrológico. Nesse sentido, cultivar o hábito de observar e compreender esses registros é também cultivar um sentido de pertencimento e responsabilidade, reforçando a conexão entre o conhecimento e o cuidado com o lugar.

Figura 42 – Registros fotográficos do exutório.



Fonte: Elaborado pela autora.

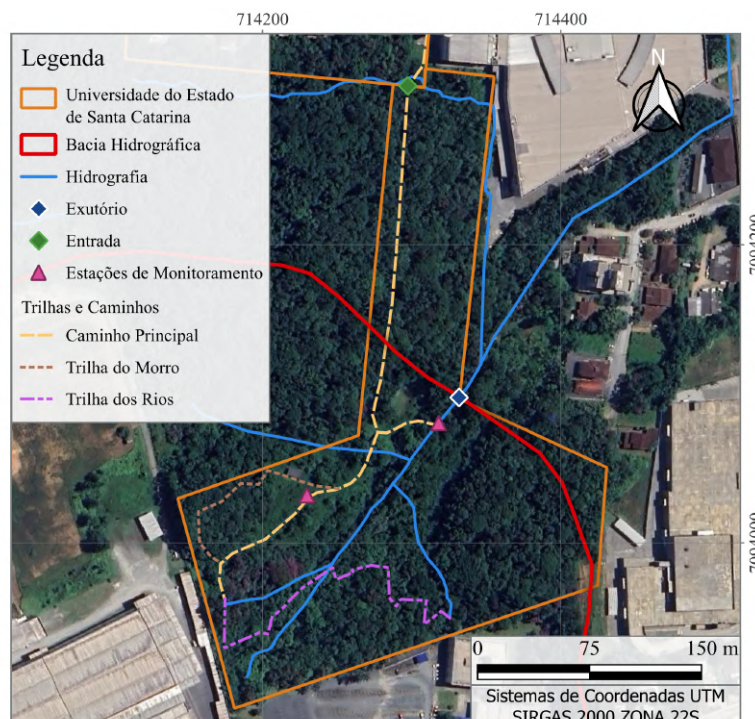
4.3.2 Planejamento e Definição de Trilhas e Caminhos

O planejamento das trilhas e caminhos no Parque da Bacia-escola foi realizado com base nas visitas de campo, considerando a localização e o acesso aos locais de interesse previamente definidos. A proposta visa não apenas facilitar o deslocamento entre os pontos estratégicos da bacia, como também permitir o uso educacional e interpretativo da área, promovendo a integração entre os aspectos ambientais, hidrológicos e pedagógicos do espaço. As trilhas foram traçadas de modo a conectar o caminho principal à nascente, ao exutório, às estações de monitoramento e às demais estruturas hidrológicas relevantes, viabilizando o percurso para observação e coleta de dados sem comprometer áreas sensíveis. Além disso, buscou-se alinhar o traçado ao relevo e à cobertura do solo, respeitando a topografia local para facilitar o trânsito seguro dos usuários.

A Figura 43 apresenta o mapa com a demarcação das trilhas e caminhos planejados. Este material cartográfico é fundamental para o registro sistemático da organização espacial da bacia e servirá de referência para a instalação de sinalizações, identificação dos pontos de monitoramento e planejamento de ações futuras para a bacia-escola. Para possíveis áreas de convivência, sugere-se pontos estratégicos do percurso, com menor declividade e boa acessibilidade, com o objetivo

de servir como locais de parada, observação, troca de informações e práticas pedagógicas em grupo, como ao lado do lago artificial apresentado anteriormente.

Figura 43 – Planejamento das Trilhas e caminhos.



Fonte: Elaborado pela autora.

A definição inicial das trilhas foi realizada por meio do roçado da vegetação ao longo do percurso planejado, permitindo a abertura de caminhos visíveis e acessíveis, conforme mostrado na Figura 44. Este processo envolveu a remoção seletiva da vegetação rasteira e o delineamento dos trajetos com base no reconhecimento prévio em campo. De acordo com ICMBio (2020), os trajetos apontados são do tipo "trilha terrestre", e classificados como trilha classe 3, de intervenção baixa, porém ainda sem sinalização. Trilhas dessa classe são bem definidas e contínuas, com remoção da vegetação ao longo do percurso; obstáculos naturais podem existir, mas não são pensados como desafios e, quando necessário, passagens por rios podem ser naturais ou construídas, conforme necessário para a proteção de recursos e maior segurança para usuários (ICMBIO, 2020). A manutenção dessa área não apenas facilita a circulação, mas também contribui para o mapeamento detalhado da área, servindo de base para futuras sinalizações.

O caminho principal planejado anteriormente possui comprimento total 444,6 m e seu trecho de maior inclinação se encontra na entrada do parque, com 16,6% inclinação. Para uma futura demarcação, sugere-se que seja realizado um estudo sobre as trilhas (*e. g.* Mazzali *et al.* (2021)), com base na norma vigente ABNT (2019). Pretende-se que as trilhas e os caminhos sejam utilizados por toda a comunidade acadêmica, tanto em atividades de ensino e pesquisa quanto em ações extensionistas, bem como por integrantes da comunidade local e não acadêmica, por meio de programas de educação ambiental, visitas orientadas (ou não) e eventos participativos.

Figura 44 – Definição das trilhas e caminhos.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.3 Elaboração de Atividades de Ciência Cidadã

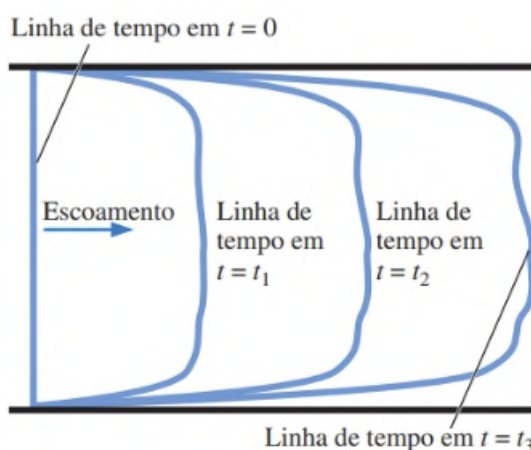
Nessa etapa do processo, foram desenvolvidas duas atividades de ciência cidadã com o objetivo de envolver tanto a comunidade acadêmica quanto a não acadêmica nas práticas de monitoramento e compreensão da dinâmica hidrológica local. As propostas estão fundamentadas na socio-hidrologia, que reconhece a interdependência mútua entre os sistemas hidrológicos e as ações humanas: ao mesmo tempo em que os seres humanos influenciam os sistemas hídricos, também são impactados pelo comportamento e respostas da água. Assim, a primeira atividade se concentra na observação direta do comportamento hidrodinâmico do canal, promovendo a interpretação das alterações causadas pela presença das britas no fundo e leito. Já a segunda, busca integrar os futuros participantes ao uso da ferramenta computacional LSPIV, permitindo que eles compreendam, por meio da análise de vídeos, como se mede a velocidade do escoamento superficial, ampliando o engajamento com os métodos científicos e fortalecendo o vínculo entre ciência e sociedade. O público-alvo da comunidade não acadêmica deve abranger alunos de escolas de Ensino Fundamental e Médio, participantes de comitês de bacia hidrográfica, membros de associações comunitárias e demais interessados na temática ambiental. Já considerando a comunidade acadêmica, discentes e docentes das disciplinas de Mecânica dos Fluidos, Hidrologia, Hidráulica, e similares. Os roteiros das atividades descritas a seguir se encontram no Apêndice D com definição do público-alvo para cada atividade.

4.3.3.1 Adequação de Leito e Fundo com Brita

Para melhorar a visualização do escoamento por meio de observações diretas, selecionou-se um trecho de 2 metros do canal principal, considerando critérios de acessibilidade (facilidade de intervenção e monitoramento) e representatividade hidráulica (características semelhantes às do canal como um todo). Como o leito natural não possui fundo rochoso, optou-se por simular condições controladas de rugosidade por meio da inserção de britas com granulometria padronizada, permitindo analisar a influência desse elemento no comportamento do fluxo.

A concepção da instalação das britas no leito do canal foi inspirada no princípio das linhas de tempo em mecânica dos fluidos (Figura 45). Esse método é utilizado para análise da uniformidade do escoamento (ou sua ausência) (Çengel; Cimbala, 2015). A aplicação deste conceito no experimento justifica-se pela necessidade de observar e quantificar as alterações no comportamento hidráulico decorrentes da introdução de rugosidade artificial (britas), buscando estabelecer um paralelo entre o escoamento em um leito natural (sem modificações) e o escoamento no trecho experimental. Para isso, seguiu-se o desenho esquemático apresentado na Figura 46, que orientou a disposição dos elementos no canal.

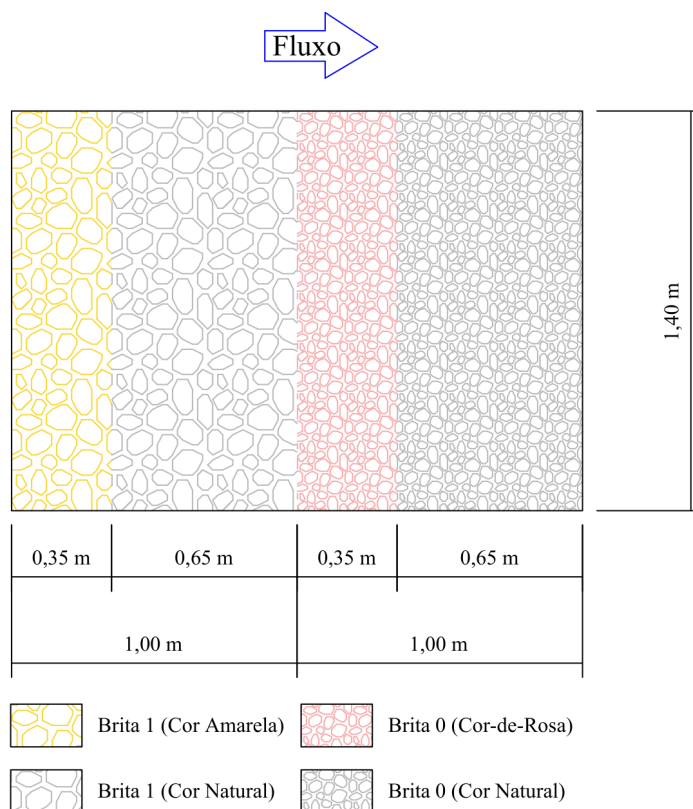
Figura 45 – Linhas de tempo.



Fonte: Çengel e Cimbala (2015).

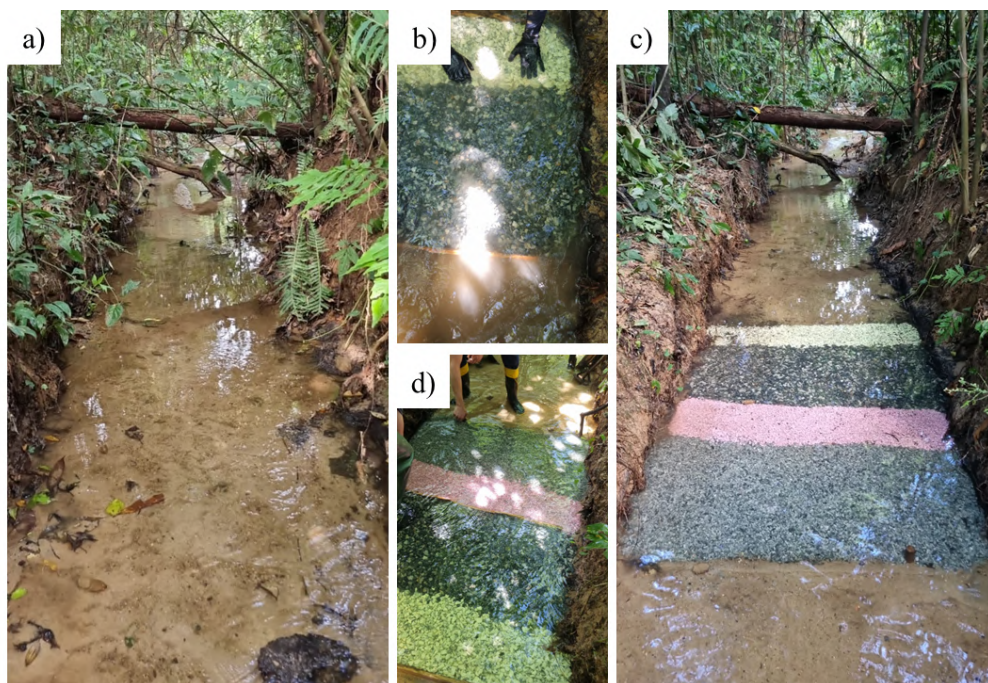
A preparação do trecho experimental envolveu a limpeza prévia do leito (remoção de sedimentos soltos e detritos) e a disposição manual das britas (lavadas e coloridas anteriormente), garantindo distribuição homogênea e estabilidade contra o arraste pela água nas condições de instalação. Para essa etapa, utilizaram-se ferramentas de jardinagem (pás, enxadas e picaretas), adequadas para ajustes pontuais sem modificar drasticamente a geometria do canal (Figura 47). Com o experimento efetivado no dia 01 de maio de 2025, foram realizadas observações, sendo realizados registros fotográficos no mesmo local.

Figura 46 – Desenho esquemático da instalação das britas no canal (Vista em planta).



Fonte: Elaborado pela autora.

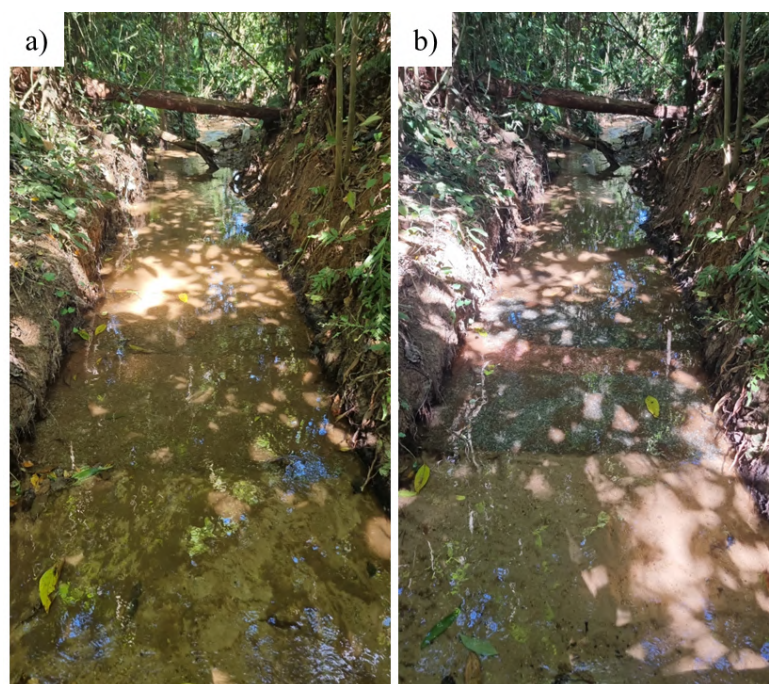
Figura 47 – Processo de instalação das britas no canal; a) Registro da seção transversal do canal antes das intervenções; b) Instalação das britas 1; c) Registro da seção transversal do canal depois das intervenções; d) Instalação das britas 0.



Fonte: Elaborado pela autora.

A primeira observação do experimento foi realizada em 05 de maio de 2025, no período da manhã, quatro dias depois da instalação e sem registro de chuva até a observação, quando se identificou acúmulo de sedimento suspenso sobre as britas instaladas (Figura 48a). Foi necessária a remoção cuidadosa desse material superficial, a fim de não comprometer a integridade do arranjo experimental (Figura 48b). Essa intervenção evidenciou o elevado transporte de sedimentos no canal principal, mesmo na ausência de eventos de precipitação desde a instalação das britas.

Figura 48 – Observação do dia 05 de maio de 2025; a) Registro fotográfico do acúmulo de sedimentos sobre o experimento; b) Registro fotográfico do canal após cuidadosa remoção superficial do material sedimentado.



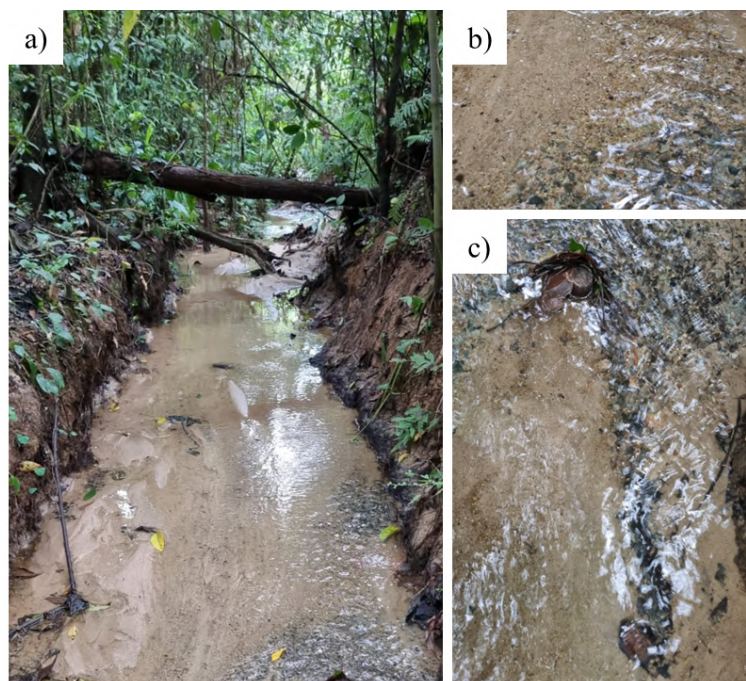
Fonte: Elaborado pela autora.

Na segunda observação detalhada (Figura 49a), realizada em 15 de maio de 2025, identificou-se a deposição de aproximadamente 2 *cm* de sedimento sob o experimento (Figura 49b). Constatou-se também a dispersão de brita 0 ao longo de uma faixa de 0,55 *m* (Figura 49c). Ao longo do canal, duas britas 1 foram encontradas a distâncias de aproximadamente 3,2 *m* e 2,9 *m* do ponto inicial. Observou-se, ainda, a presença de brita rosa 0 a 3,1 *m* e 4,0 *m*, além de brita natural 0 a cerca de 2,9 *m*. A maior distância de deslocamento registrada foi de 5,4 *m* para uma brita 0, indicando considerável energia no escoamento para transporte de partículas mesmo em seções de pequena escala. A partir da análise do sensor de nível, observou-se que no dia 13 de maio o nível do rio atingiu 3,3 *cm*, o que pode ter provocado um aumento na tensão normal do escoamento e provocado o deslocamento do leito.

Devido ao acúmulo de areia no leito, é possível que outras britas tenham sido soterradas, dificultando sua localização e identificação visual. Apesar dessas limitações, o experimento demonstrou ser relevante para avaliar a capacidade de transporte de sedimentos do canal, fornecendo

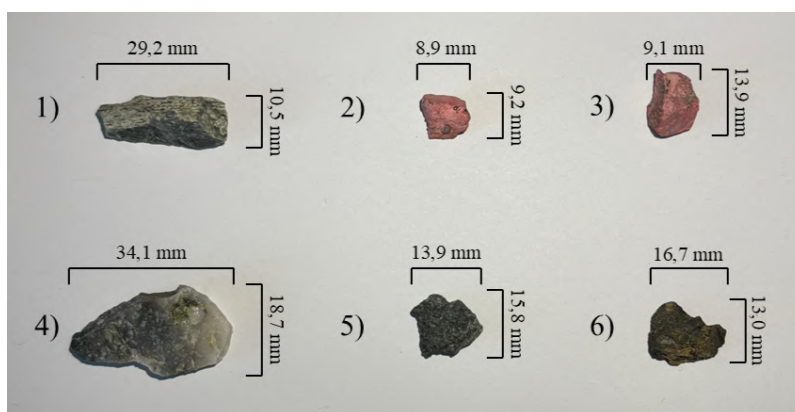
subsídios importantes para análises hidrodinâmicas. Além disso, parte das britas deslocadas (seis unidades) foi coletada para medição (Figura 50).

Figura 49 – a) Registro fotográfico do dia 15 de maio de 2025 do canal com o experimento sedimentado; b) Sedimento arenoso sobre o experimento; c) Dispersão de britas 0.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 50 – Britas coletadas depois do deslocamento no canal.



Fonte: Elaborado pela autora.

As britas deslocadas (Figura 50) foram classificadas, segundo os parâmetros de Dingman (2009), de acordo com o grau de esfericidade e arredondamento respectivamente: 1) $0,3 d_n/a$ (baixa esfericidade) e angular; 2) $0,9 d_n/a$ (alta esfericidade) e bem arredondada; 3) $0,7 d_n/a$ (média esfericidade) e arredondada; 4) $0,5 d_n/a$ (média esfericidade) e bem arredondada; 5) $0,9 d_n/a$ (alta esfericidade) e sub-arredondada; 6) $0,7 d_n/a$ (média esfericidade) e sub-arredondada. Este experimento também possui potencial didático: no trecho em que foi implementado, os visitantes

podem observar as britas, analisar suas geometrias e deslocamentos, registrar suas observações e compartilhá-las com as redes sociais do laboratório, contribuindo com o banco de dados participativo da bacia-escola. De qualquer maneira, é evidente a necessidade de manutenção semanal do experimento para que este fique visível e possa manter o seu papel com a comunidade.

4.3.3.2 Atividade com LSPIV

Para a quantificação da velocidade superficial do escoamento no canal principal da bacia-escola, propõe-se a utilização da técnica *Large-Scale Particle Image Velocimetry* (LSPIV), por meio do aplicativo River, desenvolvido por Patalano, García e Rodríguez (2017). A escolha desse método justifica-se por seu baixo custo operacional, por ser de código aberto e pela facilidade de aplicação, características fundamentais para iniciativas de ciência cidadã. A atividade busca, além da coleta de dados, estimular a percepção da dinâmica do escoamento superficial nos participantes e a compreensão de sua importância para o entendimento do comportamento hidrológico da bacia.

O desenvolvimento do experimento foi iniciado com a seleção de um trecho do canal com escoamento mais uniforme, com aproximadamente 2 metros de extensão, onde foram posicionados quatro pontos de referência espacial, denominados *Control Points* (CPs). Esses pontos (duas hastes de alumínio, uma régua linimétrica e um sensor de nível) foram dispostos estrategicamente a montante, jusante e nas margens da seção observada (Figura 51a), permitindo a calibração métrica no processamento posterior das imagens. Para a aquisição das filmagens, recomenda-se o uso de uma câmera de celular com resolução de 1920×1080 pixels (alta definição) e mínimo de 30 segundos, fixada em suporte estável e posicionada preferencialmente perpendicularmente ao fluxo, com o auxílio de um tripé ou estrutura que será desenvolvida especificamente para esse fim (Figura 51b).

A partir do vídeo gravado durante a atividade, ele pode ser encaminhado para as redes sociais do laboratório responsável pelo experimento, e o processamento pode ser realizado no aplicativo River, permitindo a obtenção estimativa da velocidade da superfície da água com base no deslocamento das partículas. Com o vídeo processado, o cidadão recebe as informações referentes à sua medição. Esses dados, além de integrarem a base de informações da bacia-escola, devem ser valorizados e compreendidos por quem os coletou, reforçando a importância da apropriação do conhecimento gerado. A atividade LSPIV, proposta como uma prática de ciência cidadã, possui elevado potencial de engajamento social e educativo, ao permitir que os participantes se aproximem dos processos hidrológicos de forma concreta e sensível. Ao perceberem, por exemplo, a velocidade da água em um canal e seus riscos potenciais, os participantes desenvolvem uma consciência mais aguçada, que pode contribuir para a autoproteção. Nesse sentido, ao oportunizar que a comunidade compreenda e aplique métodos hidrológicos em diferentes contextos, essa ação amplia o alcance da percepção pessoal e coletiva, estimula a curiosidade científica e fortalece uma rede colaborativa de cientistas cidadãos.

Figura 51 – a) Proposição de quatro pontos instalados para o experimento com LSPIV; b) Utilização de tripé para filmagem.



Fonte: Elaborado pela autora.

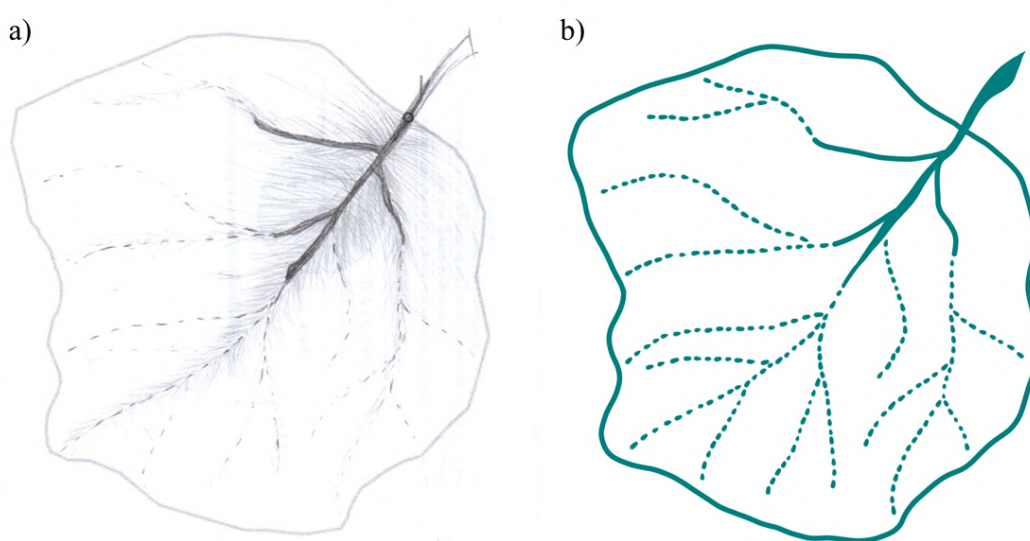
4.3.4 Placas Informativas

Como parte das estratégias para promover a identificação e o fortalecimento da bacia-escola, optou-se pelo desenvolvimento de uma identidade visual própria, associada à bacia hidrográfica de estudo. Essa identidade foi criada com base na geometria da bacia hidrográfica, de forma a representar visualmente seu contorno e características físicas, idealizada com o rascunho na Figura 52a e digitalizada na Figura 52b. O desenho naturalmente remeteu ao de uma folha, em que sua nervura principal remete ao canal principal e as nervuras secundárias, aos afluentes. Por se tratar de uma bacia hidrográfica urbana, é visível que o ambiente foi alterado, então optou-se por representar possíveis canais antigos, aterrados ou modificados pela urbanização por linhas tracejadas. O objetivo foi criar um símbolo que represente visualmente a bacia-escola e que seja reconhecível nos materiais de comunicação, sinalização e atividades educativas futuras envolvendo a bacia e a universidade.

A partir dessa identidade visual, foi proposta a elaboração de placas informativas com sinalização interpretativa, que de acordo com ICMBio (2023), tem como objetivo despertar a conexão do público com os aspectos culturais e naturais de uma área protegida, comunicando mensagens que promovem vínculos emocionais com o ambiente; esse tipo de sinalização pode ser utilizado em atividades guiadas ou não, e exige um projeto específico, distinto daquele adotado na sinalização convencional da unidade. Assim, as placas propostas têm o intuito de orientar visitantes, destacar os principais elementos monitorados e fomentar a educação ambiental na bacia-escola. Essas placas têm como função principal servir de apoio à disseminação de

informações científicas de maneira acessível ao público em geral, promovendo o entendimento dos processos hidrológicos e da importância da conservação dos recursos hídricos. Dessa forma, foram definidas cinco placas principais, a serem instaladas em pontos estratégicos da bacia: entrada, exutório do canal, estações de monitoramento, atividades de ciência cidadã e a nascente presente no Parque da Bacia-escola. Um esboço foi criado (Figura 53) para auxiliar na elaboração das placas em um trabalho futuro, com $1,5 \times 1,0 \text{ m}$ de dimensão. Além das placas informativas, deverão ser implementadas sinalizações de percurso nas trilhas.

Figura 52 – a) Rascunho e idealização da logo da bacia-escola; b) Digitalização da logo da bacia-escola.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 53 – Esboço das Placas Informativas.



FONTE: TEXTO TEXTO TEXTO (ANO)

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a placa de entrada, propõe-se que seja posicionada no início da área da bacia-escola, de acordo com ICMBio (2023), em local de fácil visualização por visitantes e integrantes da comunidade acadêmica. Essa placa tem função introdutória e institucional, com o título "Bem-vindos à Bacia-Escola da UDESC!". No conteúdo de texto, apresentar que: A bacia-escola está sendo implementada como parte de uma das linhas de ação do projeto de extensão "LaCiA-Escola: Ciência, cidadania e água", pelo Laboratório de Ciências das Águas (LaCiA), vinculado ao Departamento de Engenharia Civil (DEC), da UDESC e da presente pesquisa de mestrado vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. A placa deve apresentar visualmente o limite da bacia hidrográfica e conter os seguintes elementos:

- Logo da bacia-escola em evidência;
- Logo do Laboratório de Ciências das Águas;
- Logo da Universidade do Estado de Santa Catarina;
- Breve resumo sobre o projeto da bacia-escola;
- QRCodes para trabalhos envolvendo o local;
- Conceito resumido de bacia hidrográfica;
- Conceito resumido de bacia-escola.

A placa informativa referente ao exutório da bacia hidrográfica será instalada em área de fácil acesso e visualização, próximo ao exutório da bacia. Sua proposta é apresentar informações de forma acessível, mantendo os elementos visuais institucionais utilizados na placa de entrada. Os conteúdos abordados incluem:

- Explicação sobre o canal principal: Este é o canal principal da bacia-escola, por onde escoam a maior parte da água superficial da região monitorada;
- Explicação sobre o que é o exutório da bacia hidrográfica: Aqui pode-se identificar o local conhecido como exutório, ou seja, o ponto de convergência das águas da bacia hidrográfica, sendo essencial para avaliar o comportamento hidrológico da área.

Em relação ao canal principal, a placa informativa a ser instalada apresenta os instrumentos de monitoramento hidrológico utilizados no local. Seu objetivo é detalhar os equipamentos e ações implementadas, bem como estimular a participação dos visitantes por meio da ciência cidadã. A seguir, são destacados os principais elementos abordados na sinalização:

- Identificação do sensor de nível por pressão instalado e sua função no monitoramento contínuo: o local conta com um sensor de nível por pressão, que registra de forma contínua (intervalo de 1 minuto) as variações no nível da água, auxiliando nas análises hidrológicas e na compreensão dos impactos das chuvas sobre o escoamento.

- Orientação sobre a leitura da régua linimétrica: A régua linimétrica instalada permite a leitura visual do nível da água e pode ser utilizada por qualquer visitante, que pode ser anotada com data e hora e encaminhada às redes sociais do LaCiA, fortalecendo a ciência cidadã;
- Descrição das atividades de ciência cidadã realizadas no local, LS-PIV e Adequação de fundo e leito com britas;
- Importância do monitoramento: O monitoramento realizado neste ponto é fundamental para entender como a bacia responde aos eventos de precipitação e para promover a educação ambiental por meio da observação prática.

A quarta placa, referente à estação meteorológica, deverá ser instalada ao lado ou nas proximidades da estação, em local visível, porém que não interfira na captação dos dados. A proposta é utilizar a identidade visual desenvolvida para a bacia-escola e incluir informações que permitam ao visitante identificar os equipamentos, entender as variáveis monitoradas e sua importância para os estudos hidrológicos e climáticos. Sugere-se também um esquema ilustrado da estação, com identificação dos sensores. Os principais elementos da placa incluem:

- Identificação da estação meteorológica: Esta é a estação meteorológica da bacia-escola, instalada com o objetivo de monitorar variáveis atmosféricas fundamentais para a compreensão do ciclo hidrológico local, sua leitura de dados é de minuto a minuto;
- Esquema da estação com identificação dos sensores: Recomenda-se incluir uma ilustração com a identificação dos componentes: pluviômetro (mede a quantidade de chuva - precipitação), anemômetro (mede a velocidade do vento), biruta ou cata-vento (mede a direção do vento), barômetro (registra a pressão atmosférica), sensor UV (mede a radiação ultravioleta), sensor de temperatura e umidade do ar (monitora a condição térmica e a umidade relativa do ambiente), e sistema de armazenamento interno (armazena os dados coletados em intervalos de minuto em minuto);
- Importância das variáveis medidas: O monitoramento meteorológico permite correlacionar as condições atmosféricas com o comportamento hidrológico da bacia, como variações de nível e vazão, além de contribuir para a análise de eventos extremos e tendências climáticas locais.
- Aplicações dos dados coletados: Os dados podem ser utilizados para fins de pesquisa, atividades acadêmicas, extensão universitária e educação ambiental, proporcionando subsídios para a gestão da água e sensibilização sobre os efeitos das mudanças climáticas.
- Integração com a ciência cidadã: A divulgação dos dados pode ser feita por meio de plataformas digitais ou redes sociais, incentivando a participação da comunidade no

acompanhamento das condições ambientais e no fortalecimento do conhecimento coletivo.

A placa de identificação da nascente deverá ser instalada próxima ao ponto de surgência da água identificado no levantamento hidrográfico do trabalho, reconhecido durante as atividades de campo. Ela tem como objetivo informar os visitantes sobre a importância das nascentes para o funcionamento da bacia hidrográfica, apresentar conceitos básicos, além de sensibilizar para a necessidade de proteção desses ambientes. A placa seguirá a identidade visual da bacia-escola, contendo os logos da UDESC, do LaCiA e da bacia-escola. Os principais elementos sugeridos para a placa são:

- **Identificação das nascentes como locais de interesse hidrológico:** As nascentes são os pontos onde a água subterrânea aflora naturalmente à superfície, dando início à formação dos cursos d'água. Elas representam o início do fluxo da água dentro da bacia hidrográfica.
- **Importância da preservação das nascentes:** A conservação das nascentes é fundamental para garantir a disponibilidade e a qualidade da água. A proteção da vegetação ao redor ajuda a manter o solo estável, filtrar impurezas e regular a vazão ao longo do tempo. Área de Preservação Permanente de nascentes de 50 m (Brasil, 2012b).
- **Conexão com a educação ambiental:** O local pode ser utilizado para atividades educativas que demonstram, na prática, o conceito de nascente e sua relevância para o ciclo hidrológico. A visita a esse ponto estimula o contato direto com o ambiente e reforça o aprendizado em campo.
- **Relacionamento com outras partes da bacia-escola:** Esta nascente está conectada com o canal principal da bacia e sua preservação é importante para a manutenção do ciclo hidrológico nesta bacia hidrográfica!

A implantação das placas informativas representa uma etapa fundamental no processo de estruturação da bacia-escola como espaço de ensino, pesquisa e extensão. Cada uma das cinco placas foi estrategicamente pensada para integrar o visitante ao contexto hidrológico e ambiental da área, promovendo a compreensão dos processos naturais e dos instrumentos de monitoramento instalados, ainda buscando a interação com a comunidade local. Além de orientarem o público, as placas buscam despertar o interesse pela conservação dos recursos hídricos e incentivar a ciência cidadã, fortalecendo o vínculo entre a sociedade e a água.

4.3.5 Sugestão de Atividades para realizar na Bacia-Escola

A extensão universitária, no contexto do presente trabalho, é compreendida como uma oportunidade de ir além dos muros da universidade, promovendo a interação direta entre comunidade e meio acadêmico. Mais do que coletar dados, trata-se de envolver os participantes na

construção do conhecimento, capacitando-os para interpretar os dados criticamente e, a partir dessas interações entre conhecimentos científicos e não-científicos, fomentar a coprodução de soluções aos problemas reais daquele contexto. Mais do que o registro de dados, o processo de educação ambiental ganha sentido quando possibilita que as pessoas se apropriem desse conhecimento. Medir uma velocidade em um curso d'água, por exemplo, não se limita a obter um valor numérico: é também o desenvolvimento da percepção de como essa intensidade de fluxo interfere na paisagem, no ambiente e na vida das pessoas. Nesse sentido, a atividade de extensão se afirma como um exercício de tradução e reflexão, no qual a comunidade é convidada a participar da coleta de dados, compreendê-los e interpretar os fenômenos. Assim, a bacia-escola se constitui como um espaço educativo baseado em experimentos, no qual a prática da extensão se torna pilar essencial. Além disso, reforça-se o potencial de envolver escolas de educação básica, em consonância com a Base Nacional Comum Curricular, ampliando as oportunidades de educação ambiental de forma integrada e transformadora.

Além das atividades de ciência cidadã propostas, a bacia-escola apresenta potencial para contemplar diferentes áreas do conhecimento, refletindo na educação ambiental. Nesse sentido, podem ser elaboradas novas placas informativas que abordem aspectos como os tipos de solo e rocha, fauna, flora e outros elementos interdisciplinares. Com base em uma abordagem socio-hidrológica, a realização de palestras, ações de educação ambiental e atividades coletivas no território da bacia possibilita trabalhar os quatro pilares da segurança hídrica junto à comunidade: garantir o acesso à água em quantidade e qualidade adequadas para o bem-estar humano, o desenvolvimento econômico e a preservação dos ecossistemas, além de promover a resiliência frente a riscos relacionados à água, como inundações e secas.

Nesse contexto, a bacia-escola tem o potencial de agir como um espaço estratégico para o desenvolvimento de soluções baseadas nos aprendizados das experiências locais, que valorizam a participação cidadã e a ciência aplicada. Ao multiplicar essas ações em diferentes territórios, cria-se uma rede de iniciativas que, embora locais, possuem efeitos agregados que dialogam diretamente com os desafios globais da gestão hídrica. Assim, a bacia-escola contribui para a construção de um conhecimento mais integrado e sensível às realidades locais, fortalecendo os objetivos da atual Década Científica da IAHS, HELPING, que busca acelerar a compreensão das interações entre processos hidrológicos em múltiplas escalas e promover a cooperação entre ciência e sociedade na busca por soluções sustentáveis.

Para tornar o Parque da Bacia-Escola mais atrativo para a comunidade (acadêmica e não acadêmica), além da manutenção da vegetação existente, recomenda-se a implantação de elementos de infraestrutura que favoreçam a permanência e o uso coletivo do espaço. Nesse sentido, a construção de áreas de convivência, com estrutura física adequada, pode ser viabilizada por meio de parcerias com grupos de pesquisa da universidade, contribuindo também para promover a própria instituição. Um exemplo seria a instalação de bancos e mesas produzidos em concreto por impressão 3D, aludindo ao uso de novas tecnologias aplicadas ao espaço público. Sugere-se ainda a implementação de uma sala de aula ecológica, cujo pré-projeto já foi

desenvolvido pelo LaCiA (UDESC, 2024), concebido como uma edificação modelo e autônoma, com geração própria de energia e tratamento de efluentes por meio de sistemas radiculares. O pré-projeto contempla o uso de tecnologias construtivas de baixo impacto, priorizando soluções que reduzam os impactos negativos sobre o local. Tal estrutura poderia ser utilizada como espaço de apoio para atividades didáticas da universidade, palestras, oficinas e ações de educação ambiental, promovendo o vínculo entre ensino, pesquisa, extensão e o território da bacia-escola.

A área próxima ao lago artificial da bacia-escola apresenta grande potencial para a realização de atividades integrativas voltadas ao bem-estar e à educação ambiental. Nesse espaço, podem ser promovidas práticas como ioga, meditação, ginástica ao ar livre e oficinas de observação de aves, que também podem se estender para as trilhas do parque, favorecendo a prática de caminhadas e corridas. Essas ações podem contar com o apoio de centros de ensino vinculados às ciências biológicas e da saúde, ampliando o alcance e a diversidade das atividades oferecidas. Além disso, eventos como rodas de conversa sobre saúde mental, mesas-redondas sobre culturas locais e regionais, e demais temas sociais podem ser organizados com a participação de profissionais das ciências humanas. Complementarmente, a bacia-escola pode sediar palestras e treinamentos de caráter interdisciplinar, abordando temas como noções básicas de hidrologia, gestão de desastres, identificação de espécies nativas de plantas, pássaros e insetos, gestão de resíduos sólidos, saúde pública e sua interface com os recursos hídricos, promovendo uma abordagem integrada e educativa voltada à sustentabilidade e à cidadania.

No contexto de atividades de monitoramento da bacia-escola, propõem-se ações participativas que envolvam a comunidade e estudantes, como oficinas de baixo custo para a fabricação de pluviômetros a partir de garrafas PET, voltadas ao registro diário da precipitação. Essas oficinas podem ser oferecidas por meio de projetos de extensão desenvolvidos pelos laboratórios da universidade com explicações sobre a relação bidirecional ser-humano e água. Também podem ser realizadas campanhas de monitoramento da qualidade da água utilizando estratégias acessíveis, com o uso de materiais simples como fitas indicadoras de pH e avaliações visuais e olfativas, baseadas em parâmetros como turbidez (verificação da visibilidade do fundo), coloração e relação com eventos de chuva.

Referente ao gerenciamento de resíduos, propõe-se a implantação de um sistema de compostagem comunitária no Parque da Bacia-Escola, o qual teria múltiplas finalidades. A compostagem de resíduos orgânicos, oriundos (ou não) das atividades no local, pode ser conduzida por meio de oficinas, promovendo o entendimento dos processos biológicos de decomposição e sua importância para a redução do volume de resíduos enviados a aterros. O composto resultante pode ser utilizado na manutenção de um jardim agroecológico, também criado no parque, formado por flores nativas, ervas, frutos silvestres e espécies comestíveis, reforçando os princípios da economia circular e da sustentabilidade urbana. Além disso, podem ser promovidos serviços voluntários para coleta de resíduo sólido, reforçando o engajamento comunitário e contribuindo para a manutenção ambiental do espaço, ampliando o potencial educativo e participativo da bacia-escola, podendo abranger áreas fora do parque, mas dentro da bacia.

Considerando que a delimitação de uma bacia hidrográfica é orientada por critérios topográficos, e não por divisões político-administrativas, parcerias podem ser firmadas com as instituições localizadas dentro de seus limites naturais. Essas articulações institucionais podem viabilizar, por exemplo, a expansão das trilhas do Parque da Bacia-Escola para além dos seus atuais limites físicos, ampliando sua abrangência territorial. Com isso, os visitantes e a comunidade local passam a ter acesso a uma representação mais ampla e integrada da bacia hidrográfica, favorecendo uma maior compreensão do seu funcionamento, em contraste com uma visão fragmentada. Além disso, o envolvimento da população no processo de valorização do conhecimento tradicional e do saber popular contribui para o fortalecimento do sentimento de pertencimento, aspecto essencial para despertar o compromisso coletivo com a preservação e o cuidado dos recursos naturais presentes na bacia.

Conhecer o ambiente em que se vive é um passo fundamental para despertar o respeito, o cuidado e, sobretudo, o sentimento de pertencimento ao território. Quando os indivíduos se reconhecem como parte do espaço que habitam, criam vínculos afetivos e se tornam mais engajados em sua preservação. Nesse contexto, a educação ambiental, muitas vezes esvaziada de seu caráter crítico e transformador por interesses institucionais ou empresariais, retoma seu papel essencial como instrumento de conscientização e mobilização social com o auxílio da extensão universitária. A existência de pertencimento impulsiona a luta coletiva por um território mais justo, saudável e sustentável. Além disso, é preciso reconhecer o valor do conhecimento tradicional de comunidades locais, que oferecem formas de compreender e se relacionar com a natureza baseadas no respeito, na reciprocidade e na continuidade dos ciclos naturais, lições fundamentais para a construção de novas (antigas) formas de habitar o planeta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral estruturar uma bacia-escola, buscando a relação entre socio-hidrologia e ciência cidadã, por meio da extensão universitária. Para isso, foram definidos materiais e métodos que orientaram a implementação de uma bacia experimental urbana e a posterior estruturação da bacia-escola. A metodologia adotada permitiu a articulação entre ações de monitoramento hidrológico, planejamento territorial, comunicação científica e atividades educativas voltadas à sensibilização ambiental. O processo envolveu a caracterização física da área, a instalação de equipamentos de medição de variáveis hidrometeorológicas, a proposição de infraestrutura e trilhas de visitação, de materiais informativos e de atividades de ciência cidadã.

Apesar da proposta inovadora, a pesquisa enfrentou importantes desafios, especialmente no que se refere à obtenção e à confiabilidade dos dados hidrológicos. As campanhas de fluviometria exigiram a presença de equipe no local, limitando a frequência de medição e inviabilizando o monitoramento durante eventos extremos. Além disso, inconsistências nas bases de dados públicos, como alterações recentes nas informações hidrológicas referentes à identificação de nascentes e descaracterização de cursos hídricos disponibilizadas pela Prefeitura, evidenciaram a fragilidade dos registros oficiais. Nesse contexto, a instalação de instrumentos de medição contínua, como sensor de nível por pressão e estação meteorológica com resolução temporal de um minuto, mostrou-se fundamental para a geração de dados mais representativos e úteis à compreensão da resposta hidrológica da bacia.

Durante sua implementação, a bacia-escola evidenciou o potencial da socio-hidrologia como abordagem estruturante, ao promover o diálogo entre diferentes saberes e atores sociais. A cooperação entre cientistas e membros da comunidade permite a identificação de problemas locais e a construção conjunta de soluções. A participação ativa dos cidadãos pode contribuir para aumentar a capacidade crítica e promover a sensibilização para os direitos e deveres individuais e coletivos em questões socio-hidrológicas. Para isso, diversas áreas do conhecimento devem estar envolvidas na caracterização dos aspectos sociais e físicos da área de implementação da bacia-escola, como, por exemplo, os biólogos podem identificar a fauna e a flora, os historiadores e os geógrafos sociais podem contribuir para a compreensão da construção territorial e os jornalistas podem comunicar estas atividades e compreensões utilizando linguagem popular, promovendo uma abordagem transdisciplinar voltada à construção coletiva do território. O envolvimento inter e transdisciplinar pode exigir tempo e ocorrer durante e/ou após a implementação da bacia-escola e é importante para o seu desenvolvimento como um todo. Um ambiente plural com múltiplas disciplinas e diferentes membros da sociedade pode proporcionar uma base para o desenvolvimento da socio-hidrologia no local, no qual a bacia-escola se apresenta como uma metodologia adequada. A utilização da bacia-escola pode ampliar o conhecimento científico e social do sistema hidrográfico no qual está inserido, contribuindo para o entendimento mais amplo do sistema acoplado ser humano e água.

A bacia-escola, portanto, consolida-se como uma metodologia relevante para ampliar o conhecimento sobre os sistemas hídricos urbanos e promover sua gestão integrada e participativa. Ao articular ciência, educação e extensão universitária, ela fortalece o vínculo entre universidade e sociedade, contribuindo para a democratização do conhecimento e a formação de uma cultura de cuidado com a água. A estruturação de bacia-escola apresentada neste trabalho buscou destacar a importância de espaços educativos experimentais como instrumentos de transformação territorial e de promoção da segurança hídrica, sobretudo em contextos urbanos, para a comunidade. Por fim, recomenda-se a estruturação de mais bacias-escola, utilizando-se da extensão e considerando a particularidade de cada bacia ou sistema hidrográfico, para a construção de uma sociedade mais resiliente.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15505-2**: Turismo de aventura – caminhada parte 2: Classificação de percursos. Rio de Janeiro, 2019. 14 p.
- ADRIAN, R. J. Twenty years of particle image velocimetry. **Experiments in fluids**, Springer, v. 39, p. 159–169, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00348-005-0991-7>.
- ALBAGLI, S.; IWAMA, A. Y. Citizen science and the right to research: building local knowledge of climate change impacts. **Humanities and Social Sciences Communications**, Springer Science and Business Media LLC, v. 9, n. 1, 2022.
- ALBAGLI, S.; ROCHA, L. Ciência cidadã no brasil: um estudo exploratório. In: **Sob a lente da ciência aberta: olhares de Portugal, Espanha e Brasil**. Portugal: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2021. p. 489–511.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Medição de Descarga Líquida em Grandes Rios**: Manual técnico. Brasília: ANA, 2014. 94 p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de procedimentos para instalação, operação e manutenção de pluviômetros convencionais**. Brasília: ANA, 2016. 46 p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024**: informe anual. Brasília: ANA, 2024. 154 p.
- ARAUJO, F. F. S.; FARIA, P. E. P.; MENEZES, P. C. C.; SOUZA, T. V. S. B. **Manual de Sinalização de Trilhas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima - MMA/Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, 2023. 57 p.
- ARDOIN, N. M.; BOWERS, A. W.; GAILLARD, E. Environmental education outcomes for conservation: A systematic review. **Biological Conservation**, v. 241, p. 108224, 2020. ISSN 0006-3207. Acesso em: 16 set 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320719307116>.
- ARHEIMER, B. *et al.* The iahs science for solutions decade, with hydrology engaging local people in a global world (helping). **Hydrological Sciences Journal**, Taylor & Francis, v. 69, n. 11, p. 1417–1435, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2355202>.
- BARROS, V. G. **Study and monitoring of biogeochemical process of Babitonga Bay catchment - Brazil, using chemical and isotopes approaches**. 113 p. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) — Università Degli Studi di Venezia Ca' Foscari, 2005.
- BATISTA, M. A.; PAIVA, D. W.; MARCOLINO, A. (Ed.). **Solos para todos: perguntas e respostas**. Embrapa Solos, 2014. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1009020>.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Diário Oficial da União, 1997. Acesso em: 03 set 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm.

BRASIL. **Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999**: Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 1999. Acesso em: 16 set 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 410, de 04 de maio de 2009**: Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Brasília: Diário Oficial da União, 2009. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=584.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 410, de 13 de maio de 2011**: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília: Diário Oficial da União, 2011. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627.

BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**: Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2012. Acesso em: 03 set 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**: Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/L Lei/L12651.htm.

BRÁZDIL, R.; KUNDZEWICZ, Z. W. Historical hydrology—editorial. **Hydrological Sciences Journal**, Taylor & Francis, v. 51, n. 5, p. 733–738, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.733>.

BUYTAERT, W. *et al.* Citizen science in hydrology and water resources: Opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. **Frontiers in Earth Science**, v. 2, 2014. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85016602349&doi=10.3389%2ffeart.2014.00026&partnerID=40&md5=9954106dbb413e5a7c1d552d5efa04c7>.

CAMPIOLI, P. F.; VIEIRA, C. V. Avaliação do risco a inundação na bacia hidrográfica do rio cubatão do norte, joinville/sc. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 124–138, 2019.

CARVALHO, J. W. L. T. **Configuração urbana e balanço hídrico com aplicação do modelo Aquacycle na Bacia Hidrográfica do Rio Belém - Curitiba/PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná, 2016.

CECÍLIO, R. A. *et al.* Delimitação de bacia hidrográfica em região montanhosa a partir de diferentes modelos digitais de elevação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2007–2024, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2007>.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: fundamentos e aplicações**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015. ISBN 9788580554915.

CETESB. Qualidade das Águas interiores no estado de são paulo 2020. In: PAULO, C. A. do Estado de S. (Ed.). **Apêndice C: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2021.

CHOW, V. T. **Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins**. [S.l.]: Engineering Experiment Station Bulletin n.462. University of Illinois College of Engineering, 1962. 104 p.

CHOW, V. T. Hydrology and its development. In: CHOW, V. T. (Ed.). **Handbook of applied hydrology**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1964. cap. 1.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1988.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015. 336 p. ISBN 9788588686342.

CONRAD, C. C.; HILCHEY, K. G. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 176, p. 273 – 291, 2011. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79954646838&doi=10.1007%2fs10661-010-1582-5&partnerID=40&md5=3134491e2eb90d73f416c174f1127351>.

CORBARI, E. *et al.* **Diagnóstico socioambiental por microbacia hidrográfica (DSMH): Microbacia 26-2**. [S.l.], 2023.

DESBORDES, M. **Réflexions sur les methodes de calcul des reseaux urbains d'assainissement pluvial**. 224 p. Tese (Docteur-Ingénieur) — Université des Sciences e Techniques du Languedoc, 1974.

DI BALDASSARRE, G. *et al.* Sociohydrology: scientific challenges in addressing the sustainable development goals. **Water Resources Research**, Wiley Online Library, v. 55, n. 8, p. 6327–6355, 2019.

DINGMAN, S. L. **Fluvial hydraulics**. [S.l.]: Oxford University Press, 2009.

DUNKLEY, R. A. The role of citizen science in environmental education: a critical exploration of the environmental citizen science experience. In: **Analyzing the role of citizen science in modern research**. [S.l.]: IGI Global, 2017. p. 213–230.

ECOWITT. **Professional 4G Cellular WeatherStation**: Operation manual – model: Ws6006. [S.l.]: Ecowitt, s.d. 66 p.

ESHACH, H. Bridging in-school and out-of-school learning: Formal, non-formal, and informal education. **Journal of Science Education and Technology**, v. 16, p. 171–190, 2007. Acesso em: 17 set 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9027-1>.

FARIA, P. E. P.; CASTRO, C. P.; ARAUJO, F. F. S.; MENEZES, P. C. C. **Fundamentos do Planejamento de Trilhas**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, 2020. 36 p.

FATMA – FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. **Atlas ambiental da região de Joinville**: complexo hídrico da baía da babitonga. Florianópolis: KNIE, J. L. W. (Coord). FATMA/GTZ, 2002. 144 p.

FRANCES, F.; SALAS, J. D.; BOES, D. C. Flood frequency analysis with systematic and historical or paleoflood data based on the two-parameter general extreme value models. **Water resources research**, Wiley Online Library, v. 30, n. 6, p. 1653–1664, 1994.

GAT, J. R. Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 24, n. 1, p. 225–262, 1996.

GETIRANA, A.; LIBONATI, R.; CATALDI, M. Brazil is in water crisis — it needs a drought plan. **Nature**, v. 600, n. 7888, p. 218–220, 2021.

GIACOMEL, F. G. *et al.* Desenvolvimento de bacias-escola no brasil. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (24.: Belo Horizonte, 2021). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRH, 2021.**

GOLDENFUM, J. A. Pequenas bacias hidrológicas: conceitos básicos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Ed.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2016. cap. 1. ISBN 9788588686052.

GONÇALVES, M. L.; ZANOTELLI, C. T.; OLIVEIRA, F. A. de. **Diagnóstico e prognóstico das disponibilidades e demandas hídricas do Rio Cubatão do Norte-Joinville-Santa Catarina**. [S.l.]: UNIVILLE, 2006. 92 p. ISBN 8587977326.

GRISON, F.; KOBIYAMA, M. Medição e estimação de vazão. In: KOBIYAMA, M.; GRISON, F.; MOTA, A. A. (Ed.). **Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais**. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2011. cap. 9.

GRÖNING, M. International stable isotope reference materials. In: GROOT, P. A. de (Ed.). **Handbook of Stable Isotope Analytical Techniques**. [S.l.]: Elsevier, 2004. p. 874–906.

GUPTA, H. V. *et al.* Outcomes of synthesis. In: BLÖSCHL, G. *et al.* (Ed.). **Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis across Processes, Places and Scales**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2013.

HACK, J. T. **Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland**. [S.l.]: United States Geological Survey, Professional Paper 294-B, 1957.

HAKLAY, M. M. *et al.* Book chapter. **What is citizen science? The challenges of definition**. Springer International Publishing, 2021. 13 – 33 p. ISBN 978-303058278-4; 978-303058277-7. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85148779310&doi=10.1007%2f978-3-030-58278-4_2&partnerID=40&md5=453018e566f4ea55c90ddced00aba91b.

HARJO, B. W. Hydrometeors and quantitative precipitation estimation. In: SINGH, V. P. (Ed.). **Handbook of applied hydrology**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2017. cap. 4. ISBN 9780071835091.

HERON INSTRUMENTS INC. **dipperLog+ Series User/Software Manual**. [S.l.]: Heron Instruments Inc., 2020. 41 p.

HERRERA-FRANCO, G. *et al.* Worldwide research on socio-hydrology: A bibliometric analysis. **Water**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 13, n. 9, p. 1283, 2021.

HEWLETT, J. D.; LULL, H. W.; REINHART, K. G. In defense of experimental watersheds. **Water Resources Research**, v. 5, n. 1, p. 306–316, 1969.

HOLMES, R. R. Streamflow data. In: SINGH, V. P. (Ed.). **Handbook of applied hydrology**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2017. cap. 5. ISBN 9780071835091.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 275–370, 1945.

HRACHOWITZ, M. *et al.* A decade of predictions in ungauged basins (pub)—a review. **Hydrological Sciences Journal**, Taylor & Francis, v. 58, n. 6, p. 1198–1255, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.803183>.

HU, H. *et al.* Isotopic exchange of soil water in water cycle. **Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering - Proceedings of 16th IAHR-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS**, Springer Berlin Heidelberg, p. 188 – 192, 2009. Disponível em: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84903451675&doi=10.1007%2f978-3-540-89465-0_35&partnerID=40&md5=21be63eb3ce608aca003b4d459805fdf.

IAHS – INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROLOGICAL SCIENCES. **Science for Water Solutions Decade on: HELPING**. Concept Note: IAHS Scientific Decade 2023-2033, 2023. 3 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 272 p. Acesso em: 30 abr 2025. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>.

ITS – INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL. **Tecnologia Social no Brasil**: Direito à ciência e ciência para a cidadania. Caderno de Debate, 2004. 40 p.

JOINVILLE. **Lei nº 1.262, de 27 de abril de 1973**: Reestrutura o Plano Diretor e dá outras Providências. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 1973. Acesso em: 05 ago 2024. Disponível em: <http://leismunicipa.is/adjkr>.

JOINVILLE. **Lei nº 1.411, de 12 de dezembro de 1975**: Institui o Plano Diretor da Zona Industrial de Joinville (Z7-01) e dá outras providências. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 1975. Acesso em: 05 ago 2024. Disponível em: <http://leismunicipa.is/edrjk>.

JOINVILLE. **Lei nº 1.839, de 04 de dezembro de 1981**: Reestrutura o Plano Diretor da Zona Industrial de Joinville, instituído pela Lei nº 1411 de 12/12/75 e dá outras providências. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 1981. Acesso em: 05 ago 2024. Disponível em: <http://leismunicipa.is/jkbgr>.

JOINVILLE. **Lei nº 8057, de 16 de setembro de 2015**: Autoriza o executivo municipal a doar, com encargo, dois imóveis, à UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 2015. Acesso em: 14 fev 2025. Disponível em: <http://leismunicipa.is/njukp>.

JOINVILLE. **Downloads Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGeo)**. 2021. <https://www.joinville.sc.gov.br/publicacoes/downloads-sistema-de-informacoes-municipais-georreferenciadas-simgeo/>. Acesso em: 20 maio 2025.

JOINVILLE. **Lei Complementar nº 601, de 12 de abril de 2022**: Estabelece as diretrizes quanto à delimitação das faixas marginais de cursos d'água em Área Urbana Consolidada, nos termos dos art. 4º, I e § 10 da Lei Federal nº 12.651, de 12 de maio de 2012 e, art. 4º, III - B da Lei Federal 6.766 de 19 de dezembro de 1979, com redação dada pela Lei Federal nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021. Joinville: Diário Oficial Eletrônico do Município de Joinville, 2022. Disponível em: https://sei.joinville.sc.gov.br/sei/publicacoes/controlador_publicacoes.php?acao=publicacao_visualizar&id_documento=10000013657573&id_orgao_publicacao=0.

JOINVILLE. **Lei Complementar nº 620, de 12 de setembro de 2022**: Promove a revisão da Lei Complementar nº 261, de 28 de fevereiro de 2008, e institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município de Joinville. Joinville: Diário Oficial Eletrônico do Município de Joinville, 2022. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2024/09/Lei-Complementar-no-620-de-12-de-setembro-de-2022-atualizada-em-16092024.pdf>.

JOINVILLE. **Lei nº 9164, de 06 de maio de 2022**: Altera a Lei nº 8.057, de 16 de setembro de 2015, que autoriza o Executivo Municipal a doar, com encargo, dois imóveis à Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 2022. Acesso em: 14 fev 2025. Disponível em: <http://leismunicipa.is/zcopx>.

JOINVILLE. **Decreto nº 57.103, de 23 de outubro de 2023**: Dispõe sobre homologação do diagnóstico socioambiental da "sub-bacia hidrográfica - código 26-2", para fins de aplicação da lei complementar municipal nº 601, de 12 de abril de 2022, que estabelece as diretrizes quanto à delimitação das faixas marginais de cursos d'água em Área urbana consolidada, nos termos dos art. 4º, i e § 10 da lei federal nº 12.651, de 12 de maio de 2012. 2023. <https://www.joinville.sc.gov.br/jornal/visualizardocs?docs=219671>,. Acesso em: 22 maio 2025.

JOINVILLE. **SIMGeo**. 2025. <https://geo.joinville.sc.gov.br/portal/apps/simgeo/index.html?id=0e2ffa64f4254dda952757813efb6565>. Acesso em: 20 maio 2025.

KENDALL, C.; DOCTOR, D. H.; YOUNG, M. B. Environmental isotope applications in hydrologic studies. In: HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. K. (Ed.). **Treatise on Geochemistry (Second Edition)**. Second edition. Oxford: Elsevier, 2014. p. 273–327. ISBN 978-0-08-098300-4. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080959757005106>.

KIBLER, D. F. Desk-top methods for urban stormwater calculation. In: KIBLER, D. F. (Ed.). **Urban Stormwater Hydrology**. Washington: American Geophysical Union, 1982.

KIRPICH, T. P. Time of concentration of small agricultural watersheds. **Journal of Civil Engineering**, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

KOBIYAMA, M. *et al.* Forest hydrology project (UFSC–MOBASA) for water resources management in Rio Negrinho City, Santa Catarina, Brazil. In: VAN DE GIESEN, N. *et al.* (Ed.). **Changes in Water Resources Systems: Methodologies to Maintain Water Security and Ensure Integrated Management**. Perúgia: IAHS Publication 315, 2007.

KOBIYAMA, M. *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Editora Organic Trading, 2006. 109 p.

KOBIYAMA, M. *et al.* Bacia escola: Modelo para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Revista Geonorte**, 2024.

KOBIYAMA, M. *et al.* Aplicação de hidrologia na gestão de riscos e de desastres hidrológicos. In: CASTRO, D. (Ed.). **Ciclo das Águas na bacia hidrográfica do rio Tramandaí**. Porto Alegre: Sapiens, 2019. p. 135–140.

KOBIYAMA, M. *et al.* Uso da bacia-escola na redução do risco de desastres: uma abordagem socio-hidrológica. In: JUNIOR, L. M. *et al.* (Ed.). **Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano**. 2. ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2020. ISBN 9786587877129.

KULANDAISWAMY, V. C.; SEETHARAMAN, S. A note on barnes' method of hydrograph separation. **Journal of Hydrology**, v. 9, n. 2, p. 222–229, 1969. ISSN 0022-1694. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169469900808>.

KULLENBERG, C.; KASPEROWSKI, D. What is citizen science?—a scientometric meta-analysis. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 11, n. 1, p. e0147152, 2016.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 486 p. ISBN 9788576701651.

LINSLEY, R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. **Hidrologia para Ingenieros**. [S.l.]: Ediciones del Castillo, 1967.

LOUKAS, A.; QUICK, M. C. Physically-based estimation of lag time for forested mountainous watersheds. **Hydrological Sciences Journal**, v. 41, n. 1, p. 1–19, 1996.

MADANI, K.; SHAFIEE-JOOD, M. Socio-hydrology: a new understanding to unite or a new science to divide? **Water**, MDPI, v. 12, n. 7, p. 1941, 2020.

MARTINS, E. S. A etimologia de alguns vocabulários referentes à educação. **Olhares & Trilhas**, v. 6, n. 6, p. 31–36, 2005.

MAZZALI, L. H. *et al.* Aplicação da NBR 15505-2:2019 na Análise dos Trechos da Trilha do Rio do Boi, no Parque Nacional de Aparados da Serra, Sul do Brasil. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 4, p. 134–147, 2021. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/gpden/wordpress/wp-content/uploads/2021/11/MAZZALI-et-al-2021-Biodiversidade-trilha-do-rio-do-Boi.pdf>.

MCCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W. J. Estimating urban time of concentration. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 110, n. 7, p. 887–904, 1984.

MCGLYNN, B. L. *et al.* A data acquisition framework for runoff prediction in ungauged basins. In: BLÖSCHL, G. *et al.* (Ed.). **Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis across Processes, Places and Scales**. Reino Unido: Cambridge University Press, 2013. cap. 3. ISBN 9781107028180.

MELLO, Y.; KOEHNTOPP, P. I.; OLIVEIRA, T. M. N. de. Distribuição pluviométrica na região de Joinville (SC). **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 13, n. 1, p. 78–93, 2015.

MELLO, Y. R. d.; OLIVEIRA, T. M. N. d. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de joinville (sc). **Revista Brasileira de Meteorologia**, SciELO Brasil, v. 31, p. 229–239, 2016.

MELTON, M. A. **An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology**. [S.l.]: Department of Geology, Columbia University New York, 1957. v. 11.

MITCHELL, V. G. **Aquacycle User Guide**. Melbourne: Monash University, 2005.

MONTANARI, A. *et al.* “Panta Rhei—Everything Flows”: Change in hydrology and society—The IAHS Scientific Decade 2013–2022. **Hydrological Sciences Journal**, Taylor & Francis, v. 58, n. 6, p. 1256–1275, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.809088>.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. [S.l.]: John wiley & sons, 2013.

MOTA, A. A. **Tempo de concentração em pequena bacia experimental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

MOTA, A. A. **Mecanismo de geração de vazão em pequena bacia experimental do bioma mata atlântica**. 132 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

MOTA, A. d. A. *et al.* Instalação de uma pequena bacia experimental florestal: estudo de caso da bacia do rio araponga. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, v. 22, n. 1, p. 73–80, Jan 2017. ISSN 1413-4152. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016154610>.

NACE, R. L. **Water and man: a world view**. Paris: UNESCO, 1969. 46 p.

NARDI, F. *et al.* Citizens and hydrology (candhy): conceptualizing a transdisciplinary framework for citizen science addressing hydrological challenges. **Hydrological Sciences Journal**, v. 67, n. 16, p. 2534 – 2551, 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85107794991&doi=10.1080%2f02626667.2020.1849707&partnerID=40&md5=ccf1b4091817a5b2b4fa480cb5d9d5aa>.

NEWMAN, G. *et al.* The art and science of multi-scale citizen science support. **Ecological Informatics**, Elsevier, v. 6, n. 3, p. 217–227, 2011. ISSN 1574-9541. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157495411100029X>.

OLIVEIRA, V. H. *et al.* **Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV)**: Central de armazenamento temporário de resíduos – classe i. Joinville: [s.n.], 2021. 721 p. Acesso em: 30 abr 2025. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/wp-content/uploads/2024/11/Estudo-de-Impacto-de-Vizinhanca-EIV-Ascensus-Logistica-Ltda-abr-2021-EIV-Ascensus-Logistica-Ltda.pdf>.

PATALANO, A.; GARCÍA, C. M.; RODRÍGUEZ, A. Rectification of image velocity results (river): A simple and user-friendly toolbox for large scale water surface particle image velocimetry (piv) and particle tracking velocimetry (ptv). **Computers Geosciences**, v. 109, p. 323–330, 2017. ISSN 0098-3004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300417307045>.

PAZ, A. R. **Modelos digitais de elevação para estudos ambientais**. Porto Alegre: ABRHidro, 2024.

PEREIRA, A. A. A.; MOTA, A. A. Infiltração. In: KOBIYAMA, M.; GRISON, F.; MOTA, A. A. (Ed.). **Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais**. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2011. cap. 6.

PERINI, B. L. B. *et al.* **Diagnóstico Socioambiental por Microbacia Hidrográfica (DSMH)**: Microbacia 21-0. Joinville: [s.n.], 2024. 61 p. Acesso em: 06 mai 2025. Disponível em: <https://www.joinville.sc.gov.br/public/portalamd/pdf/jornal/14ed50d5dbe8565e0392b3b8c05658c9.pdf>.

PINTO, F. M.; OLIVEIRA, S. C. **Estudo Hidrogeológico**: Relatório técnico. [S.l.], 2024.

RANGECROFT, S. *et al.* Guiding principles for hydrologists conducting interdisciplinary research and fieldwork with participants. **Hydrological Sciences Journal**, Taylor & Francis, v. 66, n. 2, p. 214–225, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1852241>.

ROCHA, I. O. **Industrialização de Joinville-SC: Da Gênese às Exportações**. Florianópolis: Imprensa Universitária/Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. d. P. B. **Metodologia de pesquisa**. [S.l.: s.n.], 2013.

SANTA CATARINA. **Resolução CONSEMA nº 08, de 14 de setembro de 2012**: Reconhece a Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras no Estado de Santa Catarina e dá outras providências. Florianópolis: Diário Oficial, 2012. Disponível em: <https://www.ima.sc.gov.br/index.php/downloads/especies-exoticas-invasoras/2438-resolucao-consema-n-08-de-14-de-setembro-de-2012/file>.

SANTA CATARINA. **Lei nº 16.342, de 21 de janeiro de 2014**: Altera a Lei nº 14.675, de 2009, que institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Florianópolis: Assembleia Legislativa de Santa Catarina, 2014. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2014/16342_2014_Lei.html.

SANTOS, I. *et al.* **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, 2001. 372 p.

SATO, A. M. **#BaciaEscola**. Cemaden Educação, 2022. Acesso em: 23 set 2024. Disponível em: <https://educacao.cemaden.gov.br/baciaescola/>.

SATO, A. M. *et al.* Bacia escola do retiro: Uma tecnologia social de promoção da educação ambiental. **XXIV Encontro Nacional dos Comitês de Bacias Hidrográficas. Anais [recurso eletrônico]**. Foz do Iguaçu, 2022.

SCHAAKE, J. C.; GEYER, J. C.; KNAPP, J. W. Experimental examination of the rational method. **Journal of Hydraulics Division**, v. 93, p. 353–370, 1967.

SCHMIDLIN, L. A. J. *et al.* Mapeamento e caracterização da vegetação da ilha de superagüi utilizando técnicas de geoprocessamento. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 2, p. 303–315, 2005. Acesso em: 30 abr 2025. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/download/4618/3569/10193>.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at perth amboy, new jersey. **GSA Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597–646, 1956. ISSN 0016-7606. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2).

SDS/SC. **Modelo Digital de Terreno do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Sistema de Informações Geográficas do Estado de Santa Catarina. Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado de Santa Catarina, 2016.

SEPUD, S. d. P. U. e. D. S. Joinville bairro a bairro. **Prefeitura Municipal de Joinville**, 2017.

SGB – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **RIGeo - Repositório Institucional de Geociências**. 2010. Acesso em: 27 ago 2024. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/>.

SGB – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapeamento geológico e hidrogeológico do município de Joinville, SC**: produto 2, nota técnica. Porto Alegre: CPRM, 2019. 155 p.

SHREVE, R. L. Variation of mainstream length with basin area in river networks. **Water Resources Research**, v. 10, n. 6, p. 1167–1177, 1974. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR010i006p01167>.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 5–23, Jan/Mar 2005. ISSN 2318-0331. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n1.p5-29>.

SILVEIRA, W. N. *et al.* **História das inundações em Joinville, 1851-2008**. [S.l.]: Organic Trading, 2009. 153 p. ISBN 9788587755063.

SIMAS, M. J.; HAWKINS, R. H. Lag time characteristics for small watersheds in the u.s. **Water Resources Engineering'98**, p. 1290–1296, 1996.

SINGH, V. P. The hydrologic cycle. In: SINGH, V. P. (Ed.). **Handbook of applied hydrology**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2017. cap. 1. ISBN 9780071835091.

SIVAPALAN, M.; SAVENIJE, H. H. G.; BLÖSCHL, G. Socio-hydrology: A new science of people and water. **Hydrol. Process**, v. 26, n. 8, p. 1270–1276, 2012.

STARKEY, E. *et al.* Demonstrating the value of community-based ('citizen science') observations for catchment modelling and characterisation. **Journal of Hydrology**, v. 548, p. 801–817, 2017. ISSN 0022-1694. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169417301646>.

STEWART, B. Measuring what we manage—the importance of hydrological data to water resources management. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, Copernicus Publications Göttingen, Germany, v. 366, p. 80–85, 2015.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913–920, 1957.

TOEBES, C.; OURYVAEV. **Representative and Experimental basins**: An international guide for research and practice. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 1970. 348 p.

UDESC – UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Prefeito de Joinville assina documento de doação de terreno para UDESC**. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville, 2015. Disponível em: https://www.udesc.br/noticia/prefeito_de_joinville_assina_documento_de_doa%C3%A7%C3%A3o_de_terreno_para_udesc.

UDESC – UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **A Udesc Joinville apresentou à Prefeitura de Joinville o projeto Quiosque Ecológico**. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville, 2024. Disponível em: https://www.udesc.br/cct/noticia/a_udesc_joinville_apresentou_a_prefeitura_de_joinville_o_projeto_quiosque_ecologico.

UN-WATER. **Water Security and the Global Water Agenda**: A un-water analytical brief. Hamilton: United Nations University, 2013. 47 p. ISBN 9789280860382.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Unesco and Arid Zone Research**. Programme and meeting document. Paris, 1958. 13 p.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **International Hydrological Decade, Intergovernmental Meeting of Experts: Final Report**. Paris, 1964. 51 p.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **Intergovernmental Conference on Environmental Education, Tbilisi, USSR, 14-26 October 1977: final report**. Paris, 1978. 101 p.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. **IHP-IX: Strategic Plan of the Intergovernmental Hydrological Programme: Science for a Water Secure World in a Changing Environment, ninth phase 2022-2029**. Programme and meeting document. Paris, 2022. 51 p.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. WATER SCIENCE SCHOOL. **O Ciclo d'água, The water cycle, Portuguese**. USGS, 2019. Acesso em: 28 ago 2024. Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/o-ciclo-dagua-water-cycle-portuguese>.

VAN DE WETERING, J. *et al.* Does environmental education benefit environmental outcomes in children and adolescents? a meta-analysis. **Journal of Environmental Psychology**, v. 81, p. 101782, 2022. ISSN 0272-4944. Acesso em: 17 set 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494422000275>.

VAN HATEREN, T. C. *et al.* Where should hydrology go? An early-career perspective on the next IAHS Scientific Decade: 2023–2032. **Hydrological Sciences Journal**, Taylor & Francis, v. 68, n. 4, p. 529–541, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2170754>.

VANELLI, F. M.; FAN, F. M.; KOBIYAMA, M. Panorama geral sobre dados hidrológicos com ênfase em eventos hidrológicos extremos. **REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 17, 2020.

VANELLI, F. M.; KOBIYAMA, M. Situação atual da socio-hidrologia no mundo e no Brasil. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (23.: Foz do Iguaçu, 2019). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRH, 2019.**

VANELLI, F. M.; KOBIYAMA, M. How can socio-hydrology contribute to natural disaster risk reduction? **Hydrological Sciences Journal**, Taylor & Francis, v. 66, n. 12, p. 1758–1766, 2021.

VANELLI, F. M.; KOBIYAMA, M.; de Brito, M. M. To which extent are socio-hydrology studies truly integrative? the case of natural hazards and disaster research. **Hydrology and Earth System Sciences**, Copernicus GmbH, v. 26, n. 8, p. 2301–2317, 2022. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/26/2301/2022/>.

VANELLI, F. M. *et al.* An integrative approach for overcoming dichotomous thinking in natural hazards and disasters research. In: **Ensino de Geografia e a Redução do Risco de Desastres em Espaços Urbanos e Rurais**. [S.l.]: CPS, 2022. p. 327–350.

VIBRANS, A. C. *et al.* MonitoraSC: um novo mapa de cobertura florestal e uso da terra de Santa Catarina. **Agropecu. Catarin.**, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, v. 34, n. 2, p. 42–48, ago. 2021.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. [S.l.]: Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem de qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais: Editora UFMG, 2007. 588 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.

WALS, A. E. J. *et al.* Convergence between science and environmental education. **Science**, v. 344, n. 6184, p. 583–584, 2014. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1250515>.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to hydrological practices**. 6. ed. [S.l.]: World Meteorological Organization, 2008. ISBN 9789263101686.

XYLEM INC. **FlowTracker2**: User's manual 1.6, software version 1.6, firmware version 1.3. San Diego: SonTek – a Xylem brand, 2019. 308 p.

YANG, D.; JAYAWARDENA, A.; CONG, Z. Watersheds, river basins, and land use. In: SINGH, V. P. (Ed.). **Handbook of applied hydrology**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2017. cap. 2. ISBN 9780071835091.

ZIMMERMANN, H. C.; VANELLI, F. M.; MONTEIRO, L. R. Relação entre bacias-escola e a década científica 2023-2032: "helping-science for solutions". **IV END - Encontro Nacional de Desastres**, ABRHidro, 2024.

APÊNDICE A – HISTÓRICO RECENTE DA ÁREA DE ESTUDO

O histórico levantado do terreno onde foi desenvolvida a presente pesquisa remonta ao ano de 2009, quando surgiram os primeiros questionamentos por parte dos servidores da UDESC sobre áreas vizinhas à universidade, que, à época, estavam sob posse e matrícula da Prefeitura Municipal de Joinville. Desde então, discutia-se a possibilidade de expansão da universidade, especialmente durante a gestão do Diretor Geral Dieter Neermann. Nesse período, a prefeitura doou para a UDESC um terreno localizado às margens da BR-101; contudo, por não se situar próximo ao atual campus universitário, o projeto de sua utilização não avançou de forma significativa até hoje.

No ano de 2012, como promessa de campanha, o então candidato a prefeitura Udo Döhler, prometeu em conversas informais que doaria o terreno na vizinhança da UDESC para a própria UDESC, caso fosse eleito. Posteriormente a esta promessa, circulava na UDESC a notícia de que a área em questão estava em negociação com a Universidade da Região de Joinville (Univille), em razão da quitação de dívidas que a Prefeitura possuía com esta universidade. Nesse contexto, em 1º de fevereiro de 2013, com a eleição do então Prefeito Udo Döhler, a UDESC formalizou junto ao poder público municipal o pedido de doação do terreno, apresentando-o como estratégia essencial para viabilizar a expansão de suas atividades acadêmicas, criando um atrito com a Univille.

No entanto, em setembro do mesmo ano, a Prefeitura indeferiu o pedido, em razão das tratativas já estabelecidas com a Univille. Diante dessa negativa, ainda em setembro, a UDESC encaminhou novo ofício à administração municipal, lembrando a promessa feita pelo Prefeito e oferecendo, como contrapartida, o terreno localizado na BR-101. Poucos meses depois, em 5 de dezembro de 2013, o tema passou a repercutir também na imprensa local, que noticiou o pleito das universidades e o processo de negociação em curso.

O impasse encontrou encaminhamento em maio de 2014, quando a UDESC e a Univille chegaram a um acordo para divisão da área, estabelecendo a partilha do terreno entre as duas instituições de ensino superior. Por fim, em 2015, foi promulgada a Lei municipal 8057/2015 (Joinville, 2015) que oficializou a doação de parcela do terreno à UDESC, consolidando o processo de ampliação da universidade e permitindo que o espaço fosse utilizado para atividades de ensino, pesquisa e extensão.

A legislação de 2015 estabeleceu, entretanto, prazos específicos para o início e a conclusão das obras neste terreno, sob pena de reversão da doação. Diante das dificuldades enfrentadas para a ocupação do terreno, a UDESC protocolou, em 2021, um pedido de prorrogação desses prazos, apresentando um novo cronograma: protocolo da licença ambiental até junho de 2022; instalação da infraestrutura básica em até 18 meses após a obtenção da licença; e conclusão do primeiro edifício em até 30 meses.

As justificativas para o atraso relacionaram-se a diferentes fatores: (i) a complexidade da topografia, que eleva os custos para a construção do acesso e a implantação de infraestrutura

essencial; (ii) a presença de nascentes, áreas alagadiças, afluentes do Rio Vermelho II e cobertura vegetal em estágio médio a avançado de regeneração, impondo restrições ambientais significativas; (iii) a necessidade de um Estudo de Impacto Ambiental, cuja tramitação junto ao Instituto Municipal do Meio Ambiente pode levar de dois a três anos; (iv) as limitações impostas pela legislação municipal, que não caracterizava na época a área como urbana consolidada; e (v) os impactos decorrentes da pandemia de COVID-19, que dificultaram a mobilização institucional.

Com base nessas justificativas, em 2022 a Prefeitura de Joinville aprovou a Lei nº 9.164/2022 (Joinville, 2022c), que alterou os prazos originalmente fixados. A nova redação passou a estabelecer que a UDESC deveria iniciar as obras no prazo de 10 anos e concluí-las em até 12 anos, a contar da assinatura da escritura de doação, mantendo a finalidade de instalação de laboratórios e a possibilidade de reversão da doação em caso de descumprimento.

Esse histórico evidencia que, embora o terreno represente uma conquista estratégica para a UDESC, sua efetiva ocupação depende de um processo de longo prazo, permeado por desafios técnicos, ambientais e administrativos que ainda condicionam a concretização da expansão do campus. Os registros aqui reunidos apresentam o histórico recente da área em estudo, elaborados a partir de documentos oficiais e de relatos de professores envolvidos no processo.

De forma complementar, de acordo com as observações de campo, pode-se deduzir que este terreno foi utilizado pela indústria têxtil vizinha para passar a adutora que a alimenta. O histórico sobre os demais usos do terreno feitos por esta empresa não foi encontrado, entretanto, é possível perceber que parte do terreno foi aterrado há muitas décadas. Também, sabe-se que até o ano de 2022, o terreno foi ocupado indevidamente por um posseiro. Observando-se as obras abandonadas deixadas no terreno (Figura A.1), e considerando evidências de fotos da época, este ocupante utilizava o terreno para a criação de animais como gado e galinhas. As questões jurídicas relacionadas a esta ocupação indevida foram definitivamente resolvidas apenas entre os anos de 2022 e 2023.

Figura A.1 – Registros fotográficos de estruturas abandonadas na área de estudo; a) Estrutura de alvenaria e madeira; b) Estrutura de madeira.



Fonte: Elaborado pela autora.

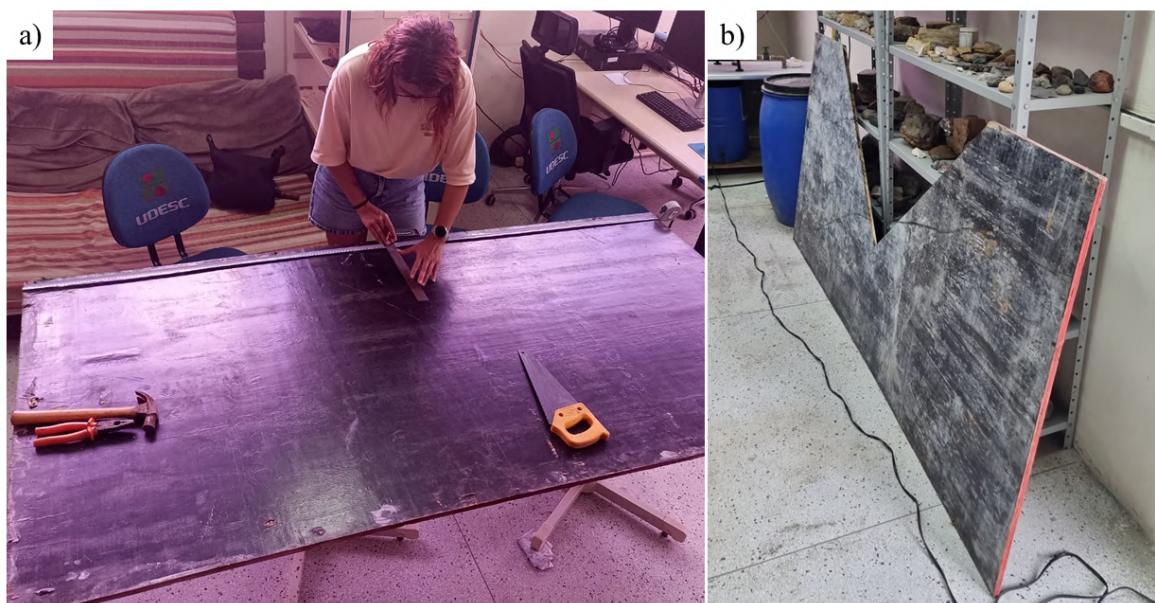
APÊNDICE B – DESAFIOS E APRENDIZADOS DO TRABALHO DE CAMPO

A realização deste trabalho envolveu diferentes etapas de campo e de articulação institucional, que resultaram em aprendizados importantes para pesquisas futuras na mesma área de estudo ou em contextos semelhantes. A seguir, são apresentados alguns relatos a partir das experiências práticas que, embora não tenham sido incorporadas diretamente aos resultados do presente trabalho, contribuíram para o amadurecimento do projeto.

Um primeiro ponto a se destacar foi a importância dos relatórios de campo. O registro detalhado das observações possibilitou identificar inconsistências em medições e ajustar a metodologia em tempo hábil. Esses relatórios foram fundamentais para a organização interna da equipe e, principalmente, como instrumento de memória das atividades, auxiliando na tomada de decisões ao longo do processo.

Com base nas idas a campo, observou-se que o canal principal de estudo apresentava baixa vazão. Assim, houve a tentativa de instalação do vertedor triangular, que revelou-se um grande desafio. O dimensionamento do vertedor foi realizado e o protótipo da estrutura provisória foi criado a partir de um tapume de 18 mm de espessura (Figura B.1).

Figura B.1 – Preparação do protótipo de Vertedor triangular; a) Marcação na chapa de madeira para realizar o corte; b) Vertedor provisório pronto para a instalação.



Fonte: Elaborado pela autora.

Foram realizadas 3 tentativas de instalação da estrutura provisória em campo (Figura B.2). A primeira, em 20/01/2025, consistiu na fixação da estrutura no leito, que se manteve estável na posição, porém sem o funcionamento adequado. Isso foi decorrente da caracterização do solo arenoso no leito à direita do rio, de modo que rapidamente foi erodido pelo escoamento, abrindo uma passagem lateral ao vertedor. Na segunda tentativa, em 24/01/2025, buscou-se aprimorar a instalação por meio do aumento do número de estacas de fixação e da adição de

uma madeira perpendicular ao vertedouro. Ainda assim, a estrutura não funcionou conforme esperado, pois novamente houve erosão no fundo arenoso do leito, permitindo a passagem de água sob a instalação. Nessa ocasião, o vertedouro foi deixado no leito do rio. Já na terceira tentativa, em 07/02/2025, ao chegar ao terreno verificou-se que a estrutura provisória do vertedor e outras madeiras foram empregadas por invasores como apoio na ponte em ruínas. Após nova instalação, a água chegou a verter adequadamente pela estrutura, configurando a tentativa mais promissora.

Figura B.2 – Instalação do vertedor provisório; a) Primeira tentativa; b) Segunda tentativa; c) Terceira tentativa.



Fonte: Elaborado pela autora.

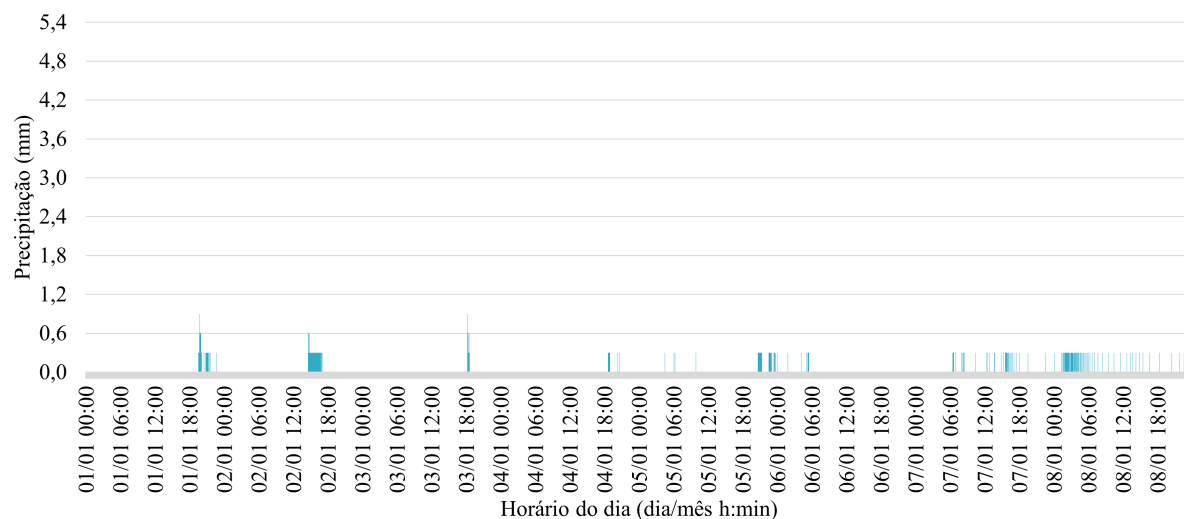
Contudo, em visita posterior, em 19/02/2025, constatou-se novamente a presença de invasores, com o vertedouro deslocado para a ponte e sinais de uso indevido da área. Além disso, foram registradas condições adversas no local, como queda de árvores possivelmente provocada por ventos fortes, acúmulo de areia no exutório e detritos lenhosos a jusante. Diante desses fatores, optou-se por recolher o vertedor e transportá-lo de volta ao laboratório, encerrando os testes em campo. Após essa reflexão, e considerando a geometria da bacia, mais arredondada, em que os escoamentos convergem quase que simultaneamente para o exutório, compreendeu-se que o vertedouro não seria a melhor opção para o monitoramento. Diante disso, cabe sugerir alternativas para futuras pesquisas no mesmo local. A instalação de uma calha Parshall ou de outra estrutura capaz de resistir aos picos de cheia poderia representar uma solução mais adequada e duradoura para a medição de vazão. Essa experiência reforça, portanto, a importância de conciliar precisão científica e adaptação às particularidades do ambiente urbano.

Outro aspecto relevante refere-se à segurança da equipe durante as visitas de campo. Em determinadas ocasiões, foram identificadas situações de risco que levaram à adoção de medidas

preventivas, como o acompanhamento de vigilantes da universidade. Essa experiência reforça a importância de incluir protocolos de segurança no planejamento das atividades de campo, assegurando tanto a integridade da equipe quanto a continuidade do trabalho. Em síntese, as situações vivenciadas neste trabalho evidenciam que a implementação de uma bacia-escola exige não apenas rigor metodológico, mas também flexibilidade, planejamento de segurança, atenção às condições locais e forte articulação institucional. Esses aprendizados representam uma contribuição prática que pode orientar e facilitar futuras iniciativas semelhantes.

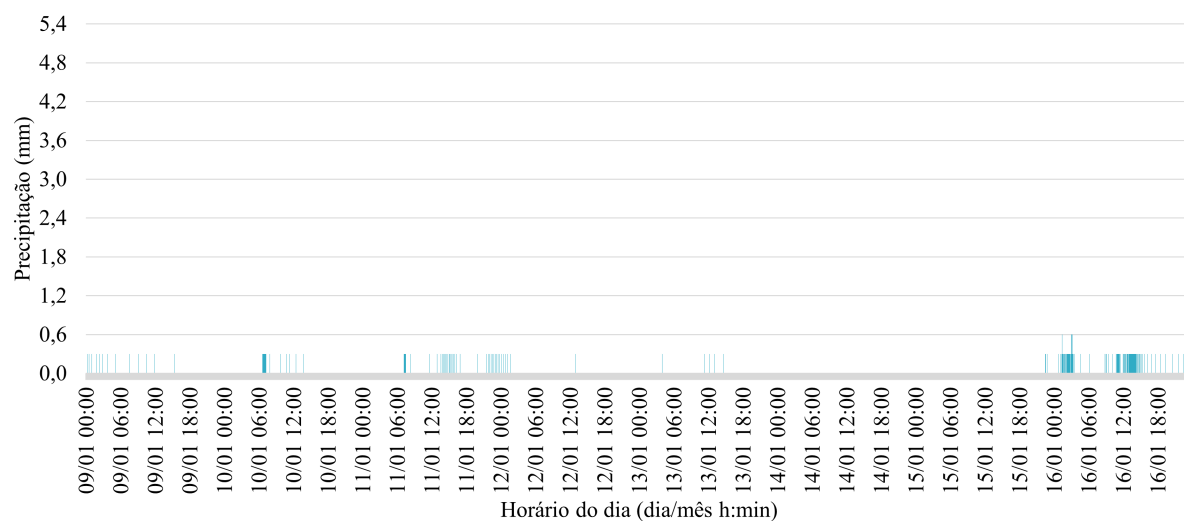
APÊNDICE C – GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO POR MINUTO

Figura C.1 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 08 de janeiro de 2025.



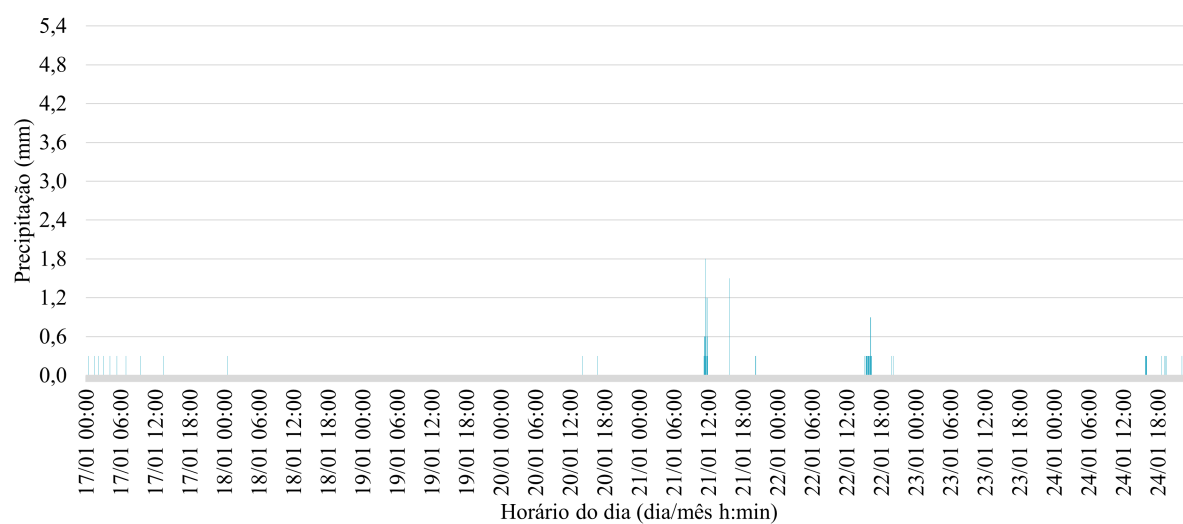
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.2 – Precipitação por minuto dos dias 09 a 16 de janeiro de 2025.



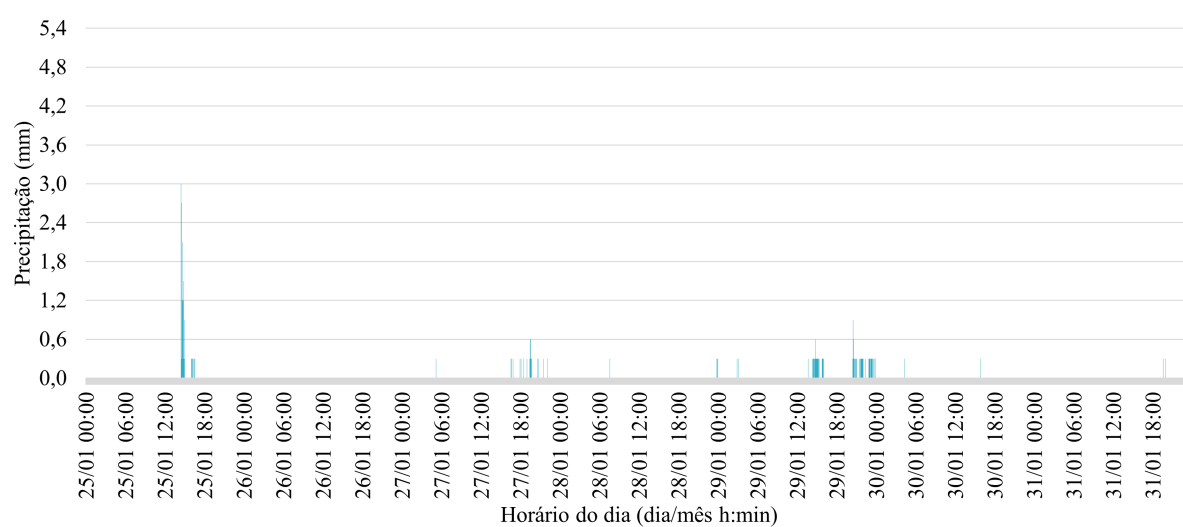
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.3 – Precipitação por minuto dos dias 17 a 24 de janeiro de 2025.



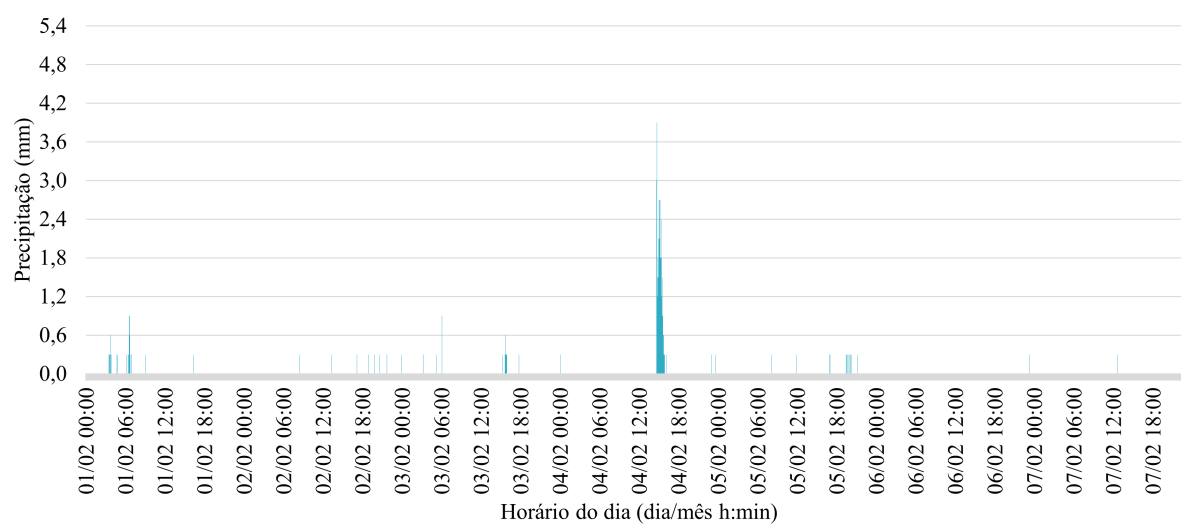
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.4 – Precipitação por minuto dos dias 25 a 31 de janeiro de 2025.



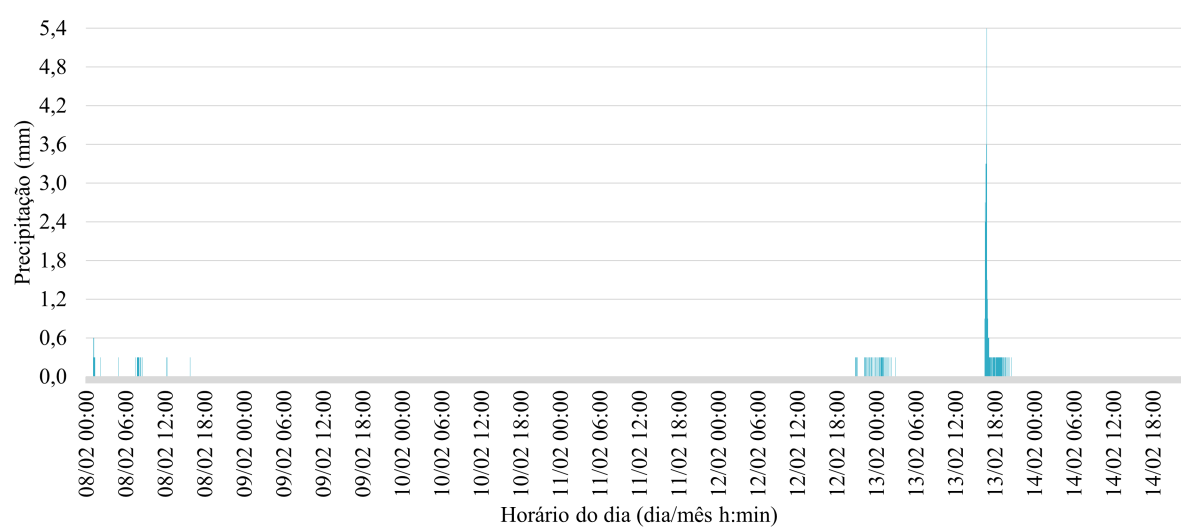
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.5 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 07 de fevereiro de 2025.



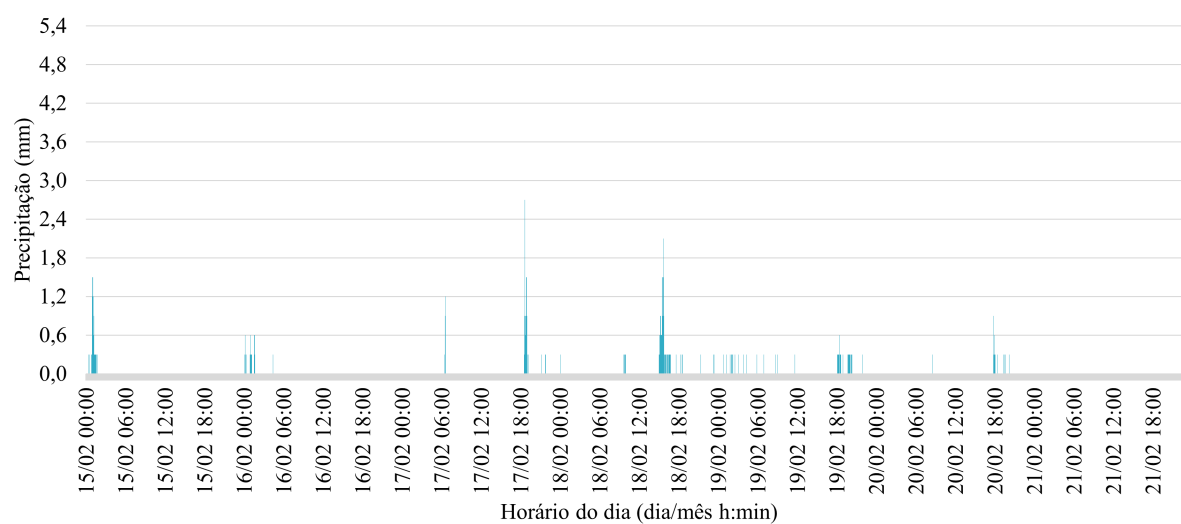
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.6 – Precipitação por minuto dos dias 08 a 14 de fevereiro de 2025.



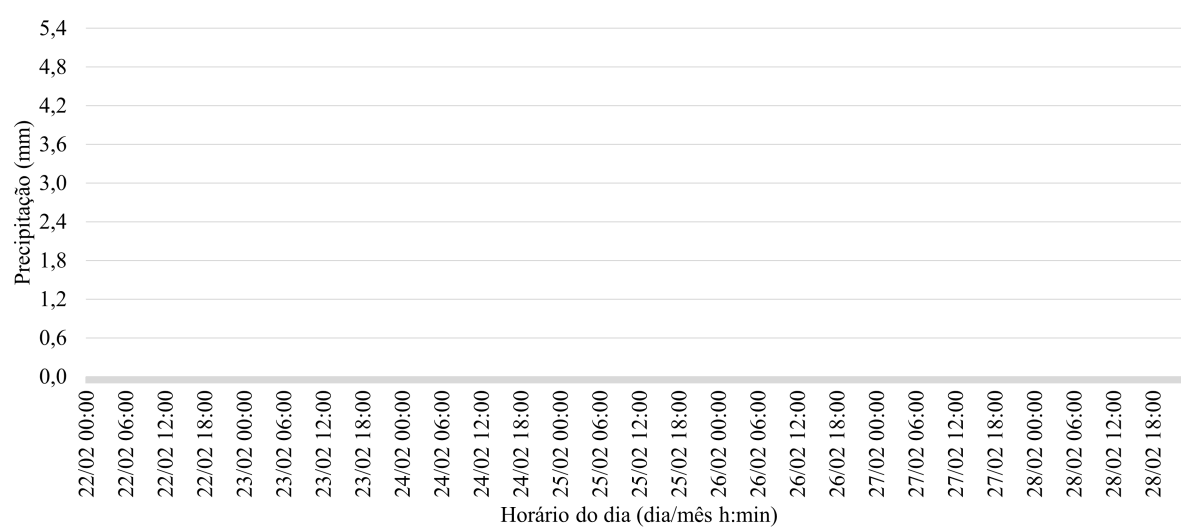
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.7 – Precipitação por minuto dos dias 15 a 21 de fevereiro de 2025.



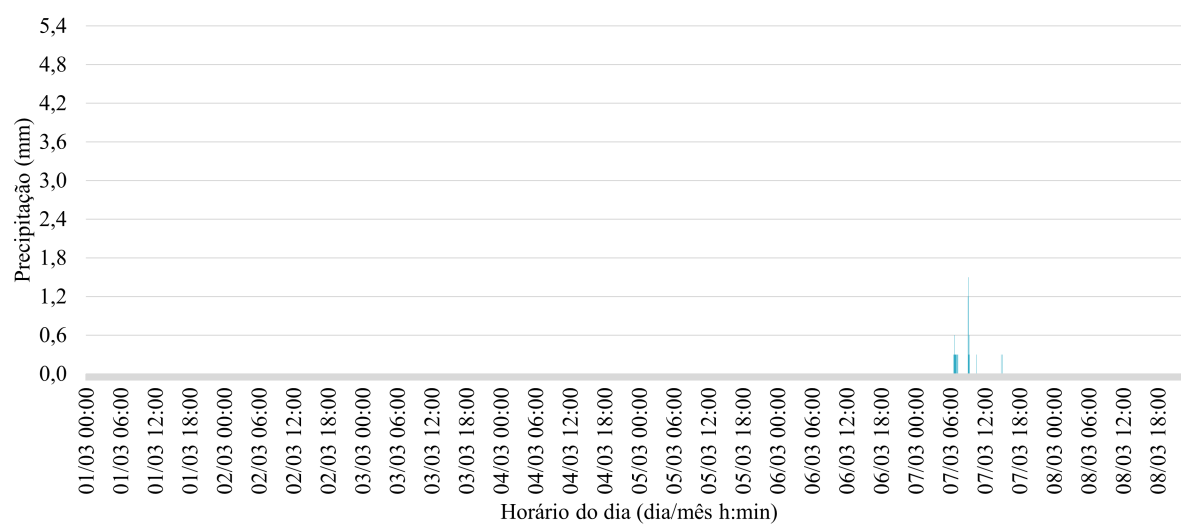
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.8 – Precipitação por minuto dos dias 22 a 28 de fevereiro de 2025.



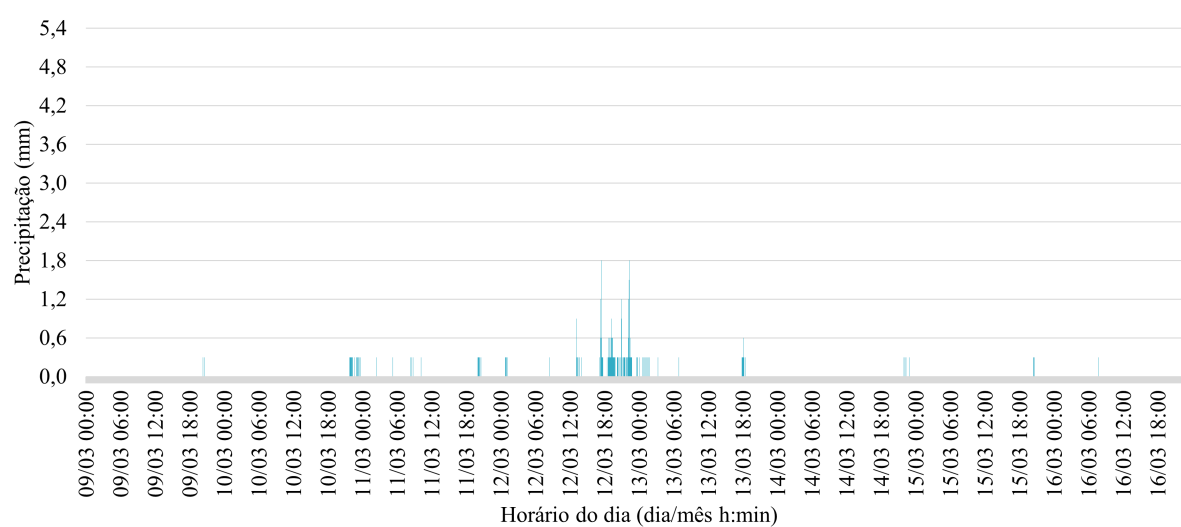
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.9 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 08 de março de 2025.



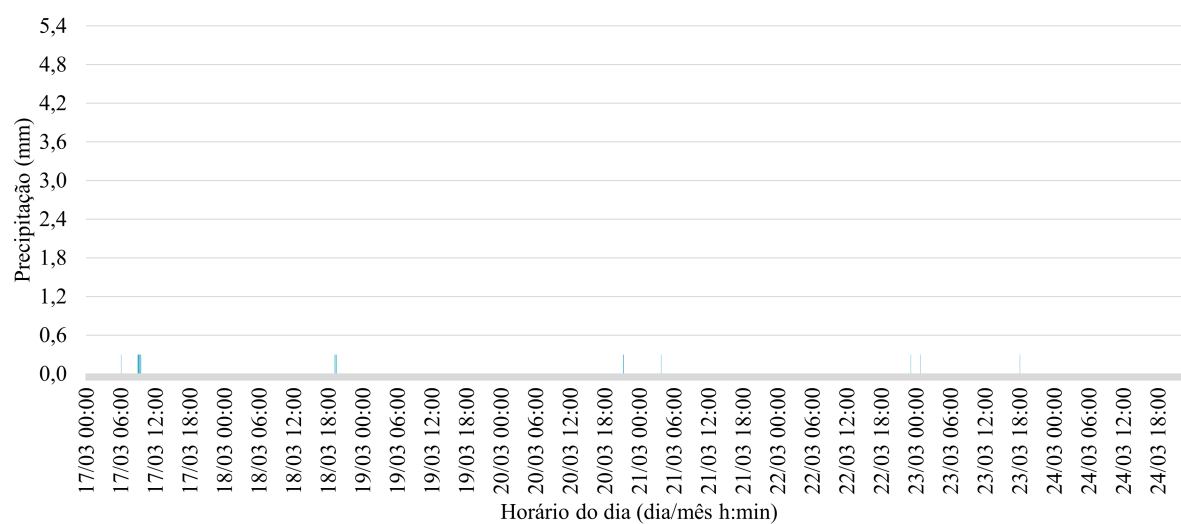
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.10 – Precipitação por minuto dos dias 09 a 16 de março de 2025.



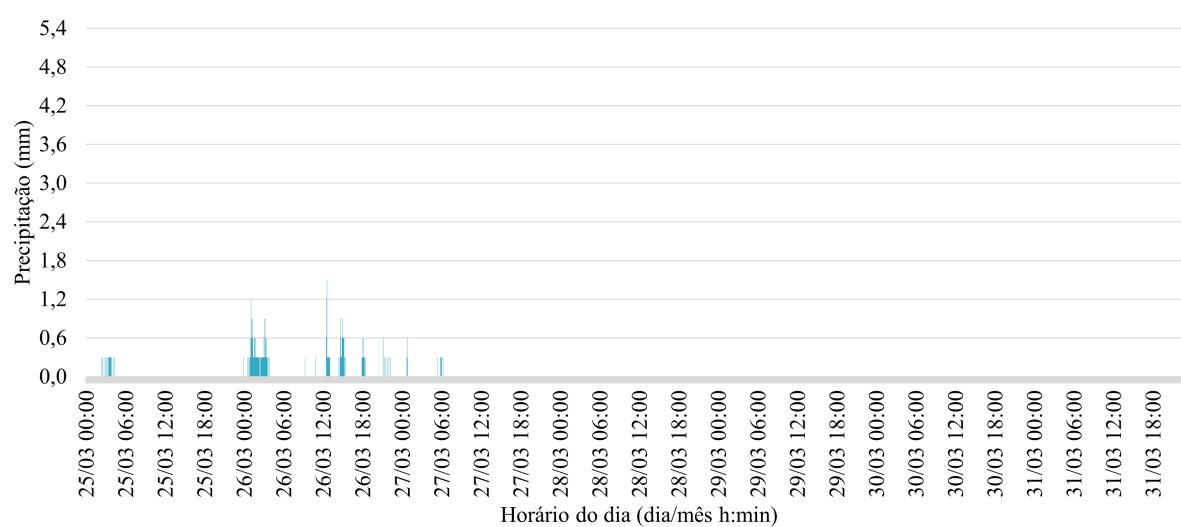
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.11 – Precipitação por minuto dos dias 17 a 24 de março de 2025.



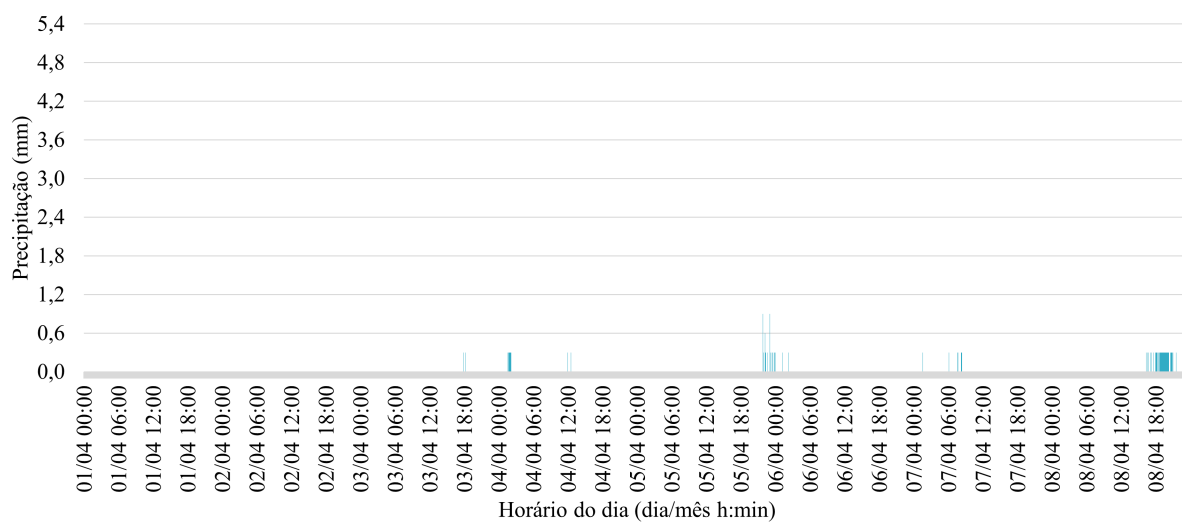
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.12 – Precipitação por minuto dos dias 25 a 31 de março de 2025.



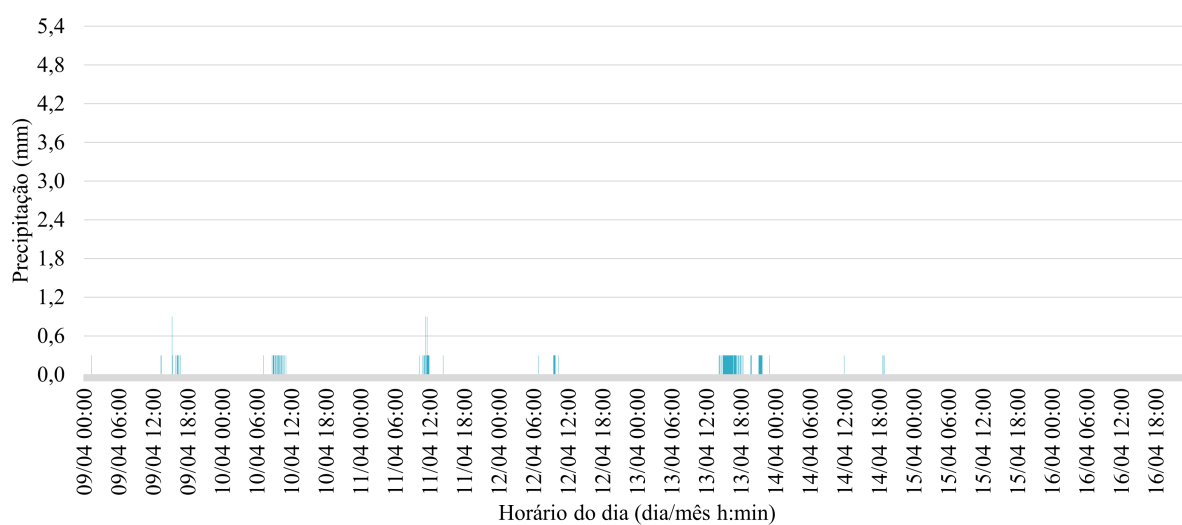
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.13 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 08 de abril de 2025.



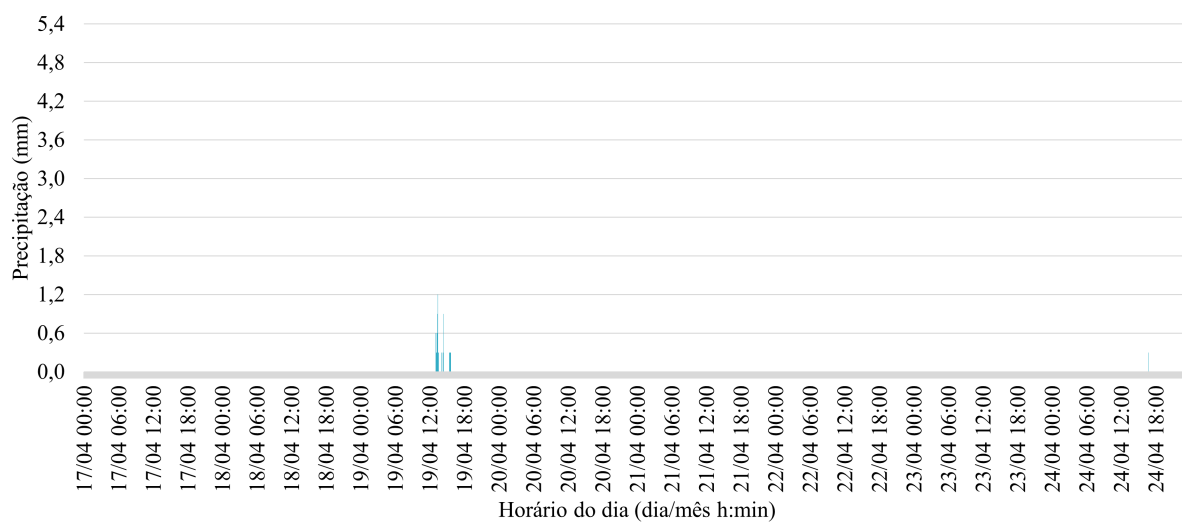
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.14 – Precipitação por minuto dos dias 09 a 16 de abril de 2025.



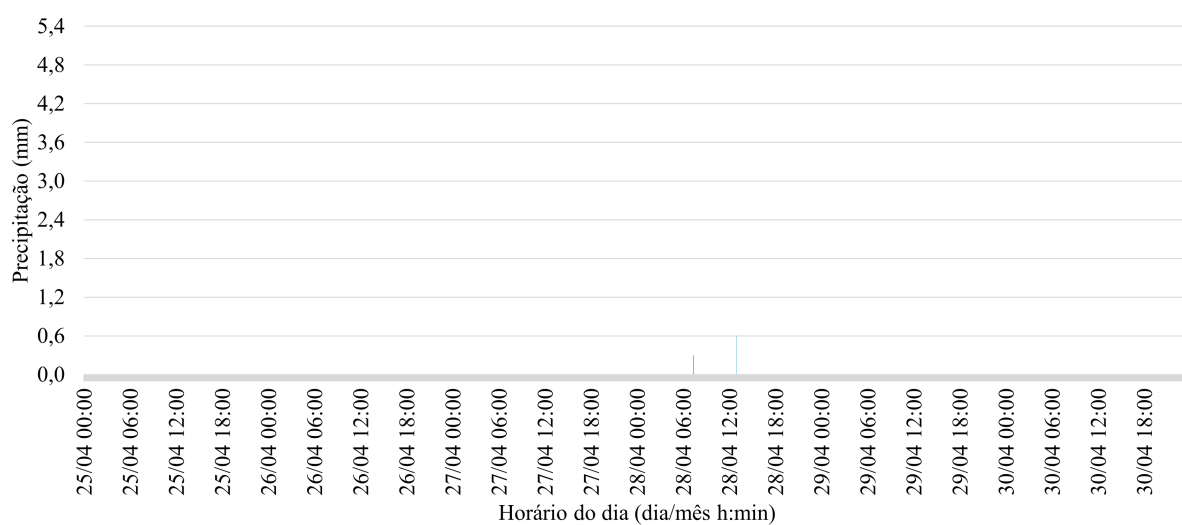
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.15 – Precipitação por minuto dos dias 17 a 24 de abril de 2025.



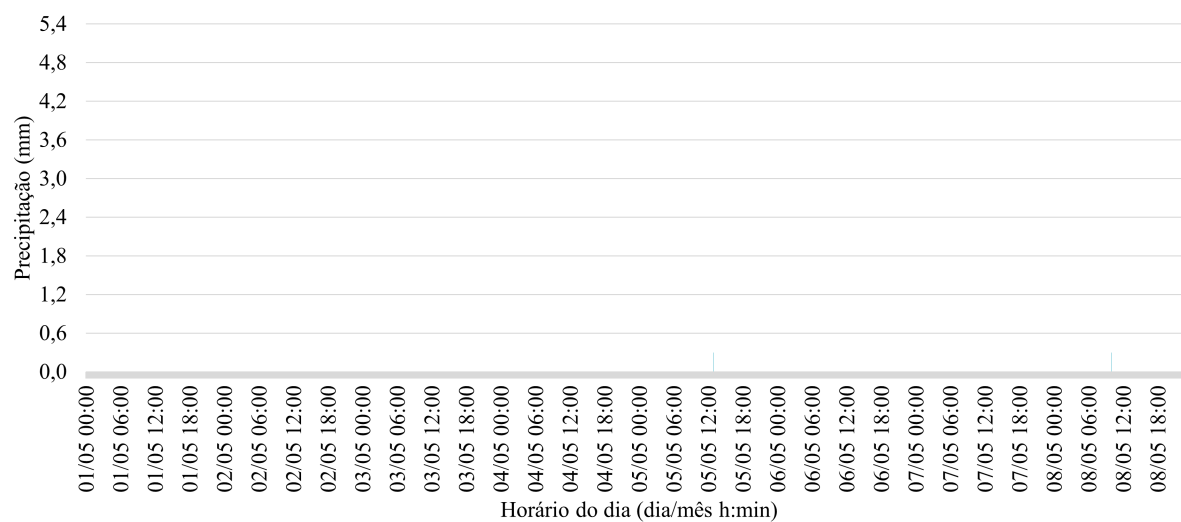
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.16 – Precipitação por minuto dos dias 25 a 31 de abril de 2025.



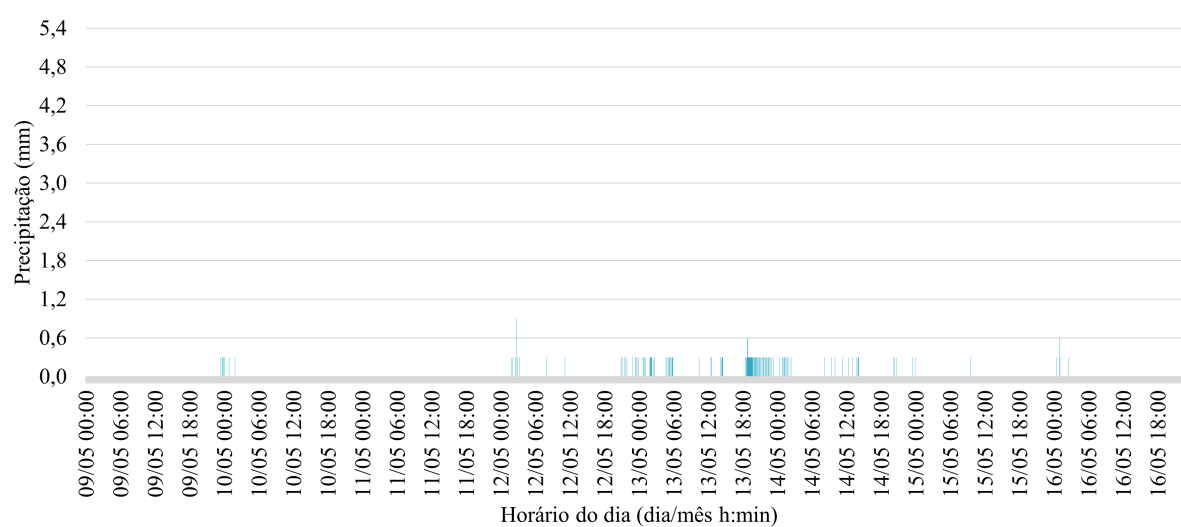
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.17 – Precipitação por minuto dos dias 01 a 08 de maio de 2025.



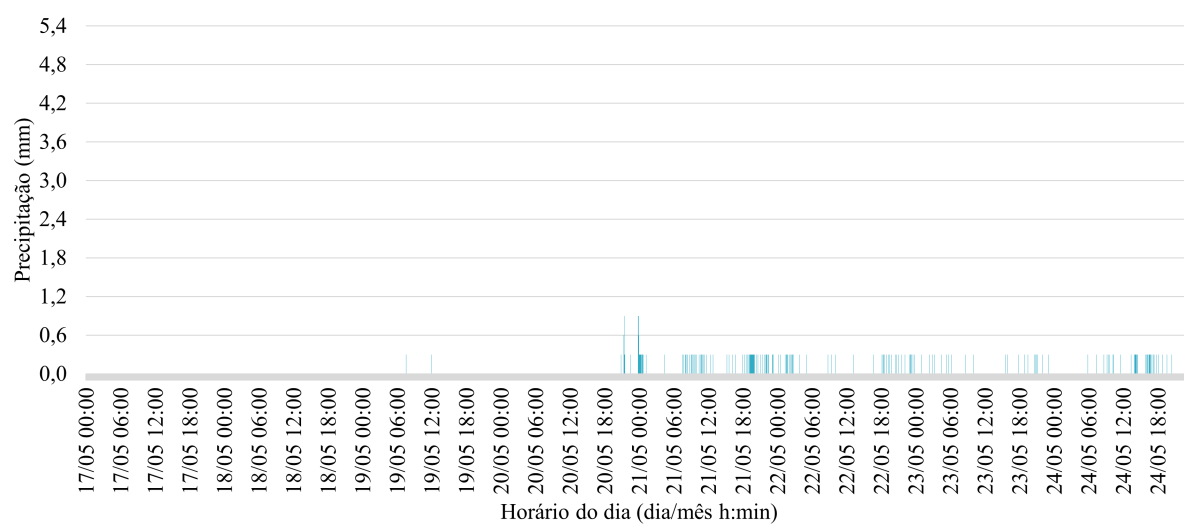
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.18 – Precipitação por minuto dos dias 09 a 16 de maio de 2025.



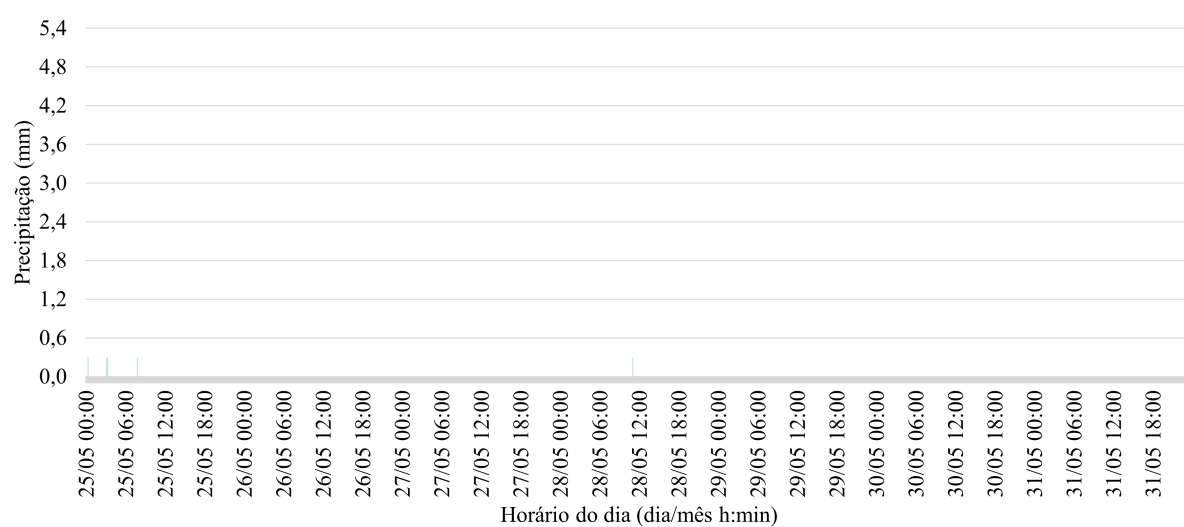
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.19 – Precipitação por minuto dos dias 17 a 24 de maio de 2025.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura C.20 – Precipitação por minuto dos dias 25 a 31 de maio de 2025.



Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE D – ROTEIROS DAS ATIVIDADES DE CIÊNCIA CIDADÃ

D.1 ATIVIDADE — OBSERVAÇÃO DE LEITO DE CANAL COM BRITAS

Nome da atividade: Observação de leito de canal com britas.

Descrição: Atividade prática de ciência cidadã em que os participantes observam e comparam o comportamento da água e das britas no canal principal da bacia hidrográfica. A rugosidade artificial altera a dinâmica do escoamento e também auxilia a sua observação. Assim, abre-se a possibilidade de discutir como pequenas intervenções humanas (ou naturais) podem impactar a hidrodinâmica de um curso d'água. Outro ponto a ser observado é a capacidade de transporte do escoamento, ou seja, o quanto o escoamento está conseguindo carregar as britas do experimento.

Questões norteadoras:

- Por que a bacia hidrográfica é um território importante para compreender a dinâmica da água, e quais as suas particularidades?
- Como pequenas alterações físicas no leito de um canal influenciam o escoamento da água?
- De que forma intervenções humanas em pontos específicos da bacia podem impactar o todo?
- Como a tensão de escoamento é gerada no escoamento e qual a sua capacidade de transportar sedimentos?

Objetivos:

- a) Demonstrar, de forma simplificada, o transporte das britas do canal;
- b) Relacionar intervenções pontuais no canal com alterações no regime de escoamento;
- c) Estimular a interpretação da velocidade do escoamento a partir do deslocamento de materiais flutuantes, bem como das próprias britas;
- d) Estimular o pensamento crítico sobre obras em rios urbanos (canalizações, barragens, etc.).

Público-alvo: Estudantes do Ensino Fundamental II e Ensino Médio; graduandos das disciplinas de Mecânica dos Fluidos/Hidráulica/Hidrologia ou disciplinas similares, e; comunidade em geral. Essa atividade é recomendada para participantes sem dificuldades de locomoção devido ao terreno irregular.

Insumos necessários:

- Equipamento de Proteção Individual (EPI) para campo;
- Objetos flutuantes visíveis (folhas secas, gravetos, bolinhas biodegradáveis) para auxiliar a visualização do fluxo;
- Experimento das britas;
- Fita métrica ou trena;
- Cronômetro;
- Quadro ou caderno de campo para anotações.

Periodicidade sugerida: Atividade prática eventual, aplicada em visitas à bacia-escola ou em eventos de extensão. Atividade semestral para graduandos.

Metodologia: Os participantes observarão inicialmente o escoamento na seção à montante do experimento (antes), registrando a velocidade aproximada (tempo de percurso de um objeto flutuante, por exemplo) e o padrão de fluxo. Em seguida, na seção das britas, o mesmo procedimento é repetido. A comparação entre as situações estimula a reflexão sobre o papel da rugosidade na dissipação de energia e na dinâmica fluvial. Após essa avaliação, os participantes devem procurar por britas à jusante do experimento, registrar seu formato e mensurar a distância do experimento. Para os alunos de Ensino Médio e Ensino Superior, as britas transportadas deverão ser classificadas de acordo com a sua esfericidade e arredondamento. Ressalta-se que, para cada grupo especificado no público-alvo, será adotada linguagem adequada que se aproxime aos termos já conhecidos por eles.

Passo a passo:

- 1) Introdução breve ao conceito de escoamento, precipitação, transporte de sedimentos com apresentação de exemplos reais; Princípio das linhas de tempo em mecânica dos fluidos (para participantes do Ensino Médio e Superior);
- 2) Observação da seção sem britas: medir o tempo de percurso de um objeto flutuante e discutir percepções.
- 3) Observação da seção com britas: medir o tempo de percurso de um objeto flutuante e discutir percepções.
- 4) Comparação dos resultados obtidos (com e sem britas);
- 5) Localização de britas transportadas do experimento;
- 6) Medição da distância percorrida;
- 7) Classificação das britas;

- 8) Discussão coletiva sobre implicações em rios urbanos e importância de intervenções conscientes;
- 9) Discussão coletiva sobre a autoproteção e percepção de escoamentos.

Trabalho de campo (tempo previsto):

- Introdução: 20 min;
- Seção sem britas: 10 min;
- Seção com britas: 10 min;
- Localização e classificação das britas: 15 min;
- Discussão: 20 min;
- Total estimado: 1 h e 15 min.

Documentação das observações:

- Registro dos tempos medidos pelos grupos;
- Registro das distâncias percorridas pelas britas;
- Anotações sobre diferenças percebidas no padrão de fluxo (velocidade, turbulência, espalhamento);
- Produção de um relatório simplificado pelos participantes (ou registro fotográfico do experimento);
- Registro das características das britas para posterior cálculo da tensão crítica de cisalhamento (para os discentes de Hidráulica).

D.2 ATIVIDADE — OBSERVANDO A VELOCIDADE DA ÁGUA COM VÍDEOS (LSPIV)

Nome da atividade: Observando a velocidade da água com vídeos.

Descrição: Atividade prática de ciência cidadã em que os participantes registram pequenos trechos de canal/curso d'água urbano por meio de vídeos feitos com celulares. Esses vídeos permitem estimar a velocidade superficial da água usando técnicas de processamento de imagens (LSPIV). O exercício aproxima a comunidade do monitoramento hidrológico e mostra como a ciência pode ser feita de forma colaborativa e acessível, podendo auxiliar na percepção e

autoproteção dos participantes.

Questões norteadoras:

- Por que a bacia hidrográfica é um território importante para compreender a dinâmica da água, e quais as suas particularidades?
- Como os usos do solo e as intervenções humanas modificam a velocidade da água em um rio urbano?
- Como a percepção da velocidade do escoamento pode ajudar o cidadão em situações de risco?

Objetivos:

- Estimular a observação crítica da dinâmica hídrica local;
- Demonstrar que registros simples (vídeos) podem gerar informações científicas relevantes;
- Incentivar a participação cidadã no monitoramento hidrológico.

Público-alvo: Estudantes do Ensino Médio, graduandos, professores e comunidade em geral. Essa atividade é recomendada para participantes sem dificuldades de locomoção devido ao terreno irregular.

Insumos necessários:

- Equipamento de Proteção Individual (EPI) para campo;
- Celulares com câmera;
- Fita métrica ou trena (para medir largura de referência);
- Tripé para câmera de celular;
- Objetos flutuantes visíveis (folhas secas, gravetos, bolinhas biodegradáveis) para auxiliar a visualização do fluxo;
- Computador com *software* de análise de vídeo (para posterior processamento).

Periodicidade sugerida: Atividade pontual ou semestral (em datas de visitação à bacia-escola).

Metodologia: A partir da filmagem da superfície do escoamento em seção definida do canal, os participantes observarão a velocidade do fluxo. A análise pode ser feita de duas formas: quantitativa, com *softwares* de LSPIV e objetos flutuantes para estimativa da velocidade; e qualitativa, pela comparação entre trechos e condições diferentes, com registro da percepção individual do fenômeno. Ressalta-se que, para cada grupo especificado no público-alvo, será adotada linguagem adequada que se aproxime aos termos já conhecidos por eles.

Passo a passo:

- 1) Introdução com breve explicação sobre o conceito de velocidade do fluxo e precipitação;
- 2) Locomoção até a seção do curso d'água e medição da profundidade e da distância dos pontos de referência;
- 3) Medição da velocidade por objetos flutuantes no canal;
- 4) Filmagem do trecho por no mínimo 30 segundos (45 segundos é uma boa prática) em posição fixa e com boa iluminação;
- 5) Compartilhamento dos vídeos e discussão coletiva dos registros;
- 6) Processamento de pelo menos um dos vídeos no *software* LSPIV para apresentar a estimativa do valor da velocidade;
- 7) Discussão coletiva sobre a autoproteção e percepção de escoamentos.

Trabalho de campo (tempo previsto):

- Introdução: 20 min;
- Objetos flutuantes: 10 min;
- Filmagens: 20 min;
- Locomoção: 20 min;
- Processamento das informações: 30 min;
- Discussão: 20 min;
- Total estimado: 2 horas.

Documentação das observações:

- Registro em caderno de campo coletivo com local, data, condições do tempo e impressões dos grupos;

- Armazenamento dos vídeos em pasta compartilhada;
- Relato final curto (preferencialmente feito pelos participantes da atividade) descrevendo diferenças percebidas na velocidade da água.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA
REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT

ATESTADO DE VERSÃO FINAL

Eu, Leonardo Romero Monteiro, professor do curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil, declaro que esta é a versão final aprovada pela comissão julgadora da dissertação intitulada: **“ESTRUTURAÇÃO DE BACIA-ESCOLA URBANA NO MUNICÍPIO DE JOINVILLE/SC”** de autoria da acadêmica Heloisa Cristina Zimmermann.

Joinville, 04 de setembro de 2025.

Assinatura digital do orientador:

Leonardo Romero Monteiro