



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Saman Belizario Broering

**ESTIMATIVA DA INFILTRAÇÃO E DO AFLUXO DEVIDO À PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA EM UMA BACIA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM REGIÃO  
COSTEIRA**

Florianópolis  
2023

Saman Belizario Broering

**ESTIMATIVA DA INFILTRAÇÃO E DO AFLUXO DEVIDO À PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA EM UMA BACIA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM REGIÃO  
COSTEIRA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental.

Orientador (a): Prof. (a) Alexandra Rodrigues Finotti  
Dr. (a)

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Broering, Saman Belizario  
Estimativa da infiltração e do afluxo devido à  
precipitação pluviométrica em uma bacia de esgotamento  
sanitário em região costeira / Saman Belizario Broering ;  
orientadora, Alexandra Rodrigues Finotti, 2023.  
104 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Hidrologia e hidráulica  
aplicada. 3. Infiltração. 4. Afluxo. 5. Sistemas de esgoto.  
I. Finotti, Alexandra Rodrigues. II. Universidade Federal  
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Ambiental. III. Título.

Saman Belizario Broering

**Estimativa da infiltração e do afluxo devido à precipitação pluviométrica em uma  
bacia de esgotamento sanitário em região costeira**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 30 de outubro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marco Valério de Albuquerque Vinagre, Dr.  
Instituição Universidade da Amazônia

Prof. Iran Eduardo Lima Neto, Dr.  
Instituição Universidade Federal do Ceará

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental.

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Prof.(a) Alexandra Rodrigues Finotti, Dr.(a)  
Orientador(a)

Florianópolis, 2023.

Dedico esse trabalho à minha mãe Vergínia, à minha família e aos meus  
ancestrais.

## **AGRADECIMENTOS**

À professora Alexandra pelo incentivo e acolhimento; aos amigos e colegas de programa e laboratório, pelas trocas e suporte; à CASAN, pelo apoio e parceria institucional e; à FAPESC, pela concessão da bolsa de estudos.

Quando a gente acha que tem todas as respostas, vem a vida e muda todas as perguntas (VERÍSSIMO, Luis Fernando).

## RESUMO

Contribuições indevidas nas redes de esgotos podem ocorrer no subsolo (infiltração) ou no encaminhamento de águas pluviais (afluxo). A infiltração nestas redes é um fato muitas vezes inevitável, gerando sobrecargas no sistema e ocasionando extravasamentos. Os desafios que envolvem a avaliação da infiltração e afluxo podem ser estruturais (condições de construção e de assentamento das tubulações), econômicos (aquisição de equipamentos e materiais de medição), bem como, sociais (fiscalização e controle de ligações clandestinas). A faixa de valores sugerida pela norma brasileira para o coeficiente de infiltração é bastante ampla, podendo resultar na adoção de valores elevados ou distantes dos que realmente ocorrem, levando ao dimensionamento impreciso e consequentes gastos e problemas operacionais que poderiam ser previstos ou evitados. Além disso, inconsistências no dimensionamento podem levar a problemas crônicos de operação. A aplicação de metodologias para a estimativa da infiltração e do afluxo devido à precipitação pluviométrica (ADP) se apresenta como uma ferramenta importante no enfrentamento destes desafios. O objetivo deste trabalho é testar metodologias, desenvolvidas a partir das condições de operação disponíveis na companhia de saneamento, para estimar a infiltração e o ADP em uma bacia de esgotamento sanitário em uma região costeira (Florianópolis/SC). Para isto foram aplicadas duas metodologias distintas; uma para a quantificação do afluxo e, outra para a medição da infiltração subterrânea e determinação do coeficiente de infiltração. Para quantificação do afluxo foi utilizada a metodologia que considera a diferença entre volumes acumulados em um dia chuvoso significativo e em período seco; para medição da infiltração e determinação do coeficiente, foi utilizada a associação metodológica hidráulica das vazões mínimas noturnas com a química, baseada na concentração de demanda química de oxigênio (DQO). Os resultados mostraram uma relação diretamente proporcional entre a intensidade de precipitação e o valor do ADP, evidenciando a influência da precipitação pluviométrica no sistema, que variou de 69 a 183% sobre a vazão média bombeada em tempo seco na bacia. A infiltração encontrada ficou na faixa 0,6 a 0,9  $L.s^{-1}.km^{-1}$ , ficando acima da faixa de valor entre 0,2 e 0,4  $L.s^{-1}.km^{-1}$ , adotada para o dimensionamento de redes abaixo do lençol freático na empresa concessionária de esgoto. A avaliação gráfica dos dados de altura de maré e nível da elevatória revelou a influência de marés com altura acima de 1m no comportamento da elevatória. Os resultados desta pesquisa podem subsidiar a operação do sistema de forma a reduzir a sobrecarga na rede e encorajar a incorporação pelas concessionárias de rotinas de medição e avaliação de afluxo e infiltração, bem como contribuir cientificamente no entendimento das contribuições indevidas em regiões costeiras.

**Palavras-chave:** Infiltração; Afluxo; Sistemas de Esgoto.



## ABSTRACT

Undue contributions to sewage systems can occur underground (infiltration) or come from accidental routing of rainwater (inflow). Infiltration in these networks is often unavoidable, generating system overloads and causing overflows. The challenges involved in the assessment of infiltration and inflow can be structural (construction conditions and laying of pipes), economic (acquisition of equipment and measurement materials), as well as social (inspection and control of clandestine connections). The range of values suggested by the Brazilian standard for the infiltration coefficient is quite wide, which may result in the adoption of high values or values that are far from what actually occurs, leading to inaccurate sizing and consequent operational costs and problems that could be predicted or avoided. In addition, inconsistencies in sizing can lead to chronic operating problems. The application of methodologies for estimating infiltration and inflow due to rainfall precipitation (IDP) presents an important tool for tackling these challenges. The aim of this work is to test methodologies, developed on the basis of the operating conditions available at the sanitation company, to estimate infiltration and IDP in a sanitary sewage basin in coastal region (Florianópolis/SC). For this, two different methodologies will be applied: one for the quantifying inflow and the other for measuring underground infiltration and determining the infiltration coefficient. To quantify the inflow, the methodology that considers the difference between the accumulated volumes on a significant rainy day and during a dry period was used. To measure the infiltration and determine the coefficient, the hydraulic methodological association of minimum night flow rates with the chemical method was used, based on the concentration of chemical oxygen demand (COD). The results showed a directly proportional relationship between rainfall intensity and the IDP value, highlighting the influence of rainfall on the system, which varied from 69 to 183% of the average flow pumped in dry weather in the basin. The infiltration found was in the range 0.6 to 0.9 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>, which is above the range of values between 0.2 and 0.4 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> adopted for sizing networks below the water table by the sewage utility company. The graphical evaluation of the tidal height and lift level data revealed the influence of tides over 1m on the lift's behavior. The results of this research can support the operation of the system in order to reduce the network overload and encourage the incorporation by the concessionaires of routines for measuring and evaluating inflow and infiltration, as well as contributing scientifically to the understanding of undue contributions in coastal regions.

**Keywords:** Infiltration; Inflow; Sewer Systems.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema Sistema Unitário. ....	16
Figura 2 – Esquema Separador Parcial.....	17
Figura 3 – Esquema Separador Absoluto.....	18
Figura 4 – Ilustração da rede de esgoto e da rede de drenagem.....	19
Figura 5 – Partes constituintes do Esgoto Sanitário.....	20
Figura 6 – Representação das fontes de entrada das águas pluviais parasitárias.....	21
Figura 7 – Representação das fontes de entradas das águas de infiltração na tubulação de rede coletora de esgoto.....	22
Figura 8 – Imagens das entradas das águas de infiltração na tubulação de rede coletora de esgoto.....	22
Figura 9 – Representação ilustrativa referente a infiltração e afluxo em uma rede coletora de esgoto.....	23
Figura 10 – Identificação gráfica de Infiltração e Afluxo.....	24
Figura 11 – Aplicação do teste de fumaça em rede coletora de esgoto.....	30
Figura 12 – Aplicação do teste de corante nas instalações prediais.....	31
Figura 13 – Instalação do aparelho de vídeo monitoramento de rede coletora de esgoto.....	32
Figura 14 - Medidores de vazão tipo área-velocidade.....	37
Figura 15 - Produção científica disponível (Scopus) acerca do tema infiltração e afluxo em sistemas de esgoto.....	38
Figura 16 – Etapas metodológicas realizadas na pesquisa.....	47
Figura 17 – Área de estudo: Bacia do Santa Mônica em Florianópolis/SC. .	49
Figura 18 – Mapa de uso e ocupação da área de estudo.....	50
Figura 19 – Geologia da área de estudo.....	51
Figura 20 – Ilustração indicando a proximidade da área de estudo com o mar. ....	52
Figura 21 – Rede de esgoto e hidrografia da área de estudo.....	52
Figura 22 – Planta EEE SB9-A.....	53
Figura 23 – Fluxograma da EEE SB9-A.....	55
Figura 24 – Imagem aérea do ponto de monitoramento e estação pluviométrica.....	56

Figura 25 – Imagem aérea do ponto de monitoramento e localização do marégrafo.....	57
Figura 26 – Planta EEE SB9-A com cotas.....	59
Figura 27 – Medidor de Vazão. ....	60
Figura 28 – Instalação do medidor. ....	60
Figura 29 – Nível de esgoto no poço de bombeamento e acionamento da elevatória SB9 em tempo seco (m/min) .....	68
Figura 30 – Nível de esgoto no poço de bombeamento e acionamento da elevatória SB9 em tempo chuvoso (m/min).....	69
Figura 31 - Gráficos de aferição do medidor. ....	72
Figura 32 – Histograma de precipitações no período de estudo do ADP. ....	74
Figura 33 – Gráfico consolidado de nível de esgoto no poço de bombeamento da EE no dia 12/04/2018 (m/min).....	77
Figura 34 – Volumes diários bombeados, ADP e precipitação pluviométrica .....	78
Figura 35 – Concentração horária de DQO do esgoto ao longo de 24h de dias livres de interferência de águas pluviais e maré no sistema. ....	80
Figura 36 – Vazão horária de esgoto medida.....	80
Figura 37 – Despejo desconhecido. ....	81
Figura 38 – Salinidade de esgoto e Altura da Maré medidos junto a EEESB9-A.....	84
Figura 39 – Altura do nível de esgoto na elevatória e da maré na Campanha A.....	86
Figura 40 – Altura do nível de esgoto na elevatória e da maré na Campanha B.....	88
Figura 41 – Altura do nível de esgoto na elevatória e da maré na Campanha C.....	89
Figura 42 – Teste de corante realizados na bacia no ano de 2014. ....	90
Figura 43 – Aplicação do Teste de Fumaça realizado na bacia de estudo no ano de 2019. ....	91
Figura 44 – Identificação de ligação irregular na bacia em estudo – imagem capturada em 25/06/2018. ....	92
Figura 45 – Imagem de gordura na rede de esgoto sentido shopping.....	93
Figura 46 – Imagem de gordura na rede de esgoto sentido elevatória,.....	93

Figura 47 – Imagem de gordura na entrada da EE e na rede. ....	94
Figura 48 – Imagens do PV antes e depois da limpeza.....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de infiltração em esgotos.....	27
Tabela 2 - Trabalhos que estudaram infiltração e afluxo em rede coletora de esgoto considerados relevantes para o estudo de caso. ....	39
Tabela 3 - Contribuições de águas pluviais em sistemas de esgoto. ....	42
Tabela 4 - Índice de infiltração em redes coletoras de esgoto e metodologias de medição empregadas. ....	44
Tabela 5 – Características de projeto SB9-A.....	54
Tabela 6 – Parâmetros adotados para quantificação do ADP.....	64
Tabela 7 – Testes de aferição do medidor - Bomba 1.....	70
Tabela 8 – Testes de aferição do medidor - Bomba 2.....	71
Tabela 9 – Aferição da vazão de bombeamento das Bombas 1, 2 e associação. ....	73
Tabela 10 – Campanhas selecionadas para Infiltração.....	75
Tabela 11 – Características dos eventos de precipitação A, B e C, volumes diários, ADP calculado e taxa de contribuição de ADP.....	76
Tabela 12 – Comparativo dos resultados de porcentagem sobre QMPS e taxa de contribuição de ADP.....	79
Tabela 13 – Resultados experimentais para Infiltração, referente ao ano de 2018.....	82
Tabela 14 – Comparativo dos resultados de porcentagem e coeficiente de infiltração.....	83
Tabela 15 – Campanhas selecionadas para avaliação da maré.....	85
Tabela 16 – Sugestões de melhorias.....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADP	Afluxo Devido à Precipitação Pluviométrica
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I/A	Infiltração e Afluxo
PV	Poço de Visita
PVC	Policloreto de Vinila
QMPS	Vazão Média do Período Seco
NBR	Norma brasileira
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>15</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1	SISTEMAS DE ESGOTOS .....	15
2.1.1	<b>Sistema Unitário ou Combinado</b> .....	<b>16</b>
2.1.2	<b>Sistema Separador Parcial</b> .....	<b>17</b>
2.1.3	<b>Sistema Separador Absoluto</b> .....	<b>17</b>
2.2	ESGOTO SANITÁRIO .....	19
2.2.1	<b>Águas Pluviais Parasitárias</b> .....	<b>20</b>
2.2.2	<b>Águas de Infiltração</b> .....	<b>21</b>
2.3	INFILTRAÇÃO E AFLUXO .....	23
2.3.1	<b>Infiltração Subterrânea</b> .....	<b>25</b>
2.3.1.1	<i>Coeficiente de infiltração</i> .....	25
2.3.2	<b>Afluxo devido à precipitação</b> .....	<b>28</b>
2.4	MEDIÇÃO DA INFILTRAÇÃO.....	28
2.4.1	<b>Métodos Qualitativos</b> .....	<b>29</b>
2.4.2	<b>Métodos Quantitativos Hidráulicos</b> .....	<b>32</b>
2.4.3	<b>Métodos Quantitativos Químicos (Concentração de DQO)</b> .....	<b>34</b>
2.5	MEDIÇÃO DO AFLUXO DEVIDO A PRECIPITAÇÃO (ADP) .....	36
2.6	MEDIDORES DE VAZÃO .....	37
2.7	ESTADO DA ARTE.....	38
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>47</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	48
3.2	COLETA DE DADOS .....	55
3.2.1	<b>Coleta de dados de precipitação</b> .....	<b>55</b>
3.2.2	<b>Coleta de dados de altura da maré</b> .....	<b>56</b>
3.2.3	<b>Coleta de dados de vazão de esgoto bombeada</b> .....	<b>57</b>
3.2.3.1	<i>Aferição do medidor DFM</i> .....	58
3.2.3.2	<i>Aferição do sistema de bombeamento</i> .....	61
3.3	ANÁLISES E TRATAMENTO DOS DADOS .....	62

3.3.1	<b>Análises de DQO</b> .....	62
3.3.2	<b>Tratamento dos dados</b> .....	62
3.3.3	<b>Avaliação da interferência da maré</b> .....	62
3.4	<b>QUANTIFICAÇÃO DO ADP E INFILTRAÇÃO</b> .....	63
3.4.1	<b>Quantificação do Afluxo</b> .....	64
3.4.2	<b>Quantificação da Infiltração</b> .....	65
3.4.3	<b>Determinação do coeficiente de infiltração</b> .....	66
3.5	<b>ANÁLISE QUALITATIVA</b> .....	66
3.5.1	<b>Teste de Fumaça</b> .....	66
3.5.2	<b>Inspeção por Vídeo</b> .....	67
3.6	<b>INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	67
4	<b>RESULTADOS</b> .....	67
4.1	<b>VAZÃO DE ESGOTO BOMBEADO</b> .....	67
4.1.1	<b>Análise do histórico de nível e determinação do intervalo médio de funcionamento das bombas</b> .....	67
4.1.2	<b>Aferição do medidor</b> .....	70
4.1.3	<b>Determinação das vazões médias de bombeamento – aferição das bombas</b> .....	72
4.2	<b>ADP E COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO</b> .....	74
4.2.1	<b>Dados de precipitação e seleção dos eventos</b> .....	74
4.2.2	<b>Afluxo devido à precipitação</b> .....	76
4.2.3	<b>Infiltração</b> .....	79
4.3	<b>INTERFERÊNCIA DO NÍVEL DO MAR</b> .....	83
4.3.1	<b>Relação com a salinidade</b> .....	83
4.3.2	<b>Avaliação gráfica da interferência da maré no nível da elevatória</b> .....	85
4.4	<b>ANÁLISE QUALITATIVA</b> .....	90
4.4.1	<b>Teste de Corante</b> .....	90
4.4.2	<b>Teste de Fumaça</b> .....	91
4.4.3	<b>Teste de Vídeo</b> .....	92
4.5	<b>FATORES CRÍTICOS DA METODOLOGIA E SUGESTÕES DE MELHORIAS</b> .....	95
4.5.1	<b>Fatores Críticos</b> .....	95
4.5.2	<b>Sugestão de melhorias</b> .....	96
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	97

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>100</b>
--------------------------	------------

## 1 INTRODUÇÃO

Contribuições indevidas nas redes de esgotos podem ser originárias do subsolo ou podem provir do encaminhamento accidental ou clandestino de águas pluviais. A infiltração e o afluxo (I/A) são reconhecidos há muito tempo como os principais problemas hidráulicos em sistemas de esgoto, podendo contribuir para a sobrecarga no sistema e aumento nos custos de bombeamento, chance de extravasamento, diluição do efluente e redução da eficiência das instalações de tratamento (ZHANG et al, 2018; WANG et al., 2019). Além disso, a troca de água entre esgotos e o solo circundante acelera o processo de envelhecimento dos sistemas de esgoto (DE BÉNÉDITTIS; BERTRAND- KRAJEWSKI, 2005) e o extravasamento representa um grande risco para a infraestrutura e a saúde pública (OWOLABI, 2022). Para a eficiência do sistema de esgoto adotado no Brasil, sistema separador absoluto, é necessário um efetivo controle para evitar que a água pluvial seja encaminhada junto com as águas residuais. Caso contrário, o sistema separador absoluto funciona como separador parcial ou combinado sem que as estruturas de transporte e tratamento estejam preparadas para tal. A integridade estrutural e a eficiência funcional dos sistemas são parâmetros fundamentais para a garantia contínua da saúde pública e da economia, em termos de transporte efetivo e tratamento de efluentes domésticos, industriais e de águas pluviais (ELLIS, 2001).

A infiltração em uma rede de esgotos é geralmente de origem difusa, podendo penetrar as canalizações por meio de fissuras, rachaduras, juntas de tubulações, defeitos das instalações, desgaste do material, etc. Enquanto o afluxo se origina principalmente de entradas singulares: tampas mal vedadas de poços de visita, conexões irregulares e ligações clandestinas de canalizações e galeria pluviais, ou ainda ligações abandonadas (AZEVEDO NETTO, 1979; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986; DIRCKX et al., 2019; ZHAO et al., 2020). Intrusão de rios, de marés extemporâneas, ou de comportas são outras fontes de entradas diretas (METCALF e EDDY, 2016) que podem ocasionar sobrecargas e estão inclusas no afluxo. A contribuição das águas indevidas é maior nos locais em que a precipitação pluviométrica é intensa e o aquífero subterrâneo elevado. (PEREIRA e SOARES, 2006). Em áreas em que a rede coletora de esgoto está abaixo do nível do lençol freático, a vazão de água subterrânea infiltrada pode variar de 30% até 72% da vazão de esgoto (ZHAO, 2020). O afluxo e a infiltração podem ser estimados e calculados

por alguns métodos tradicionais baseados em fluxo. Em geral, tais abordagens podem ser divididas entre quantitativas e qualitativas (KARPF; KREBS, 2011). Os métodos qualitativos incluem os métodos visuais e de interpretação de hidrogramas com foco, principalmente, na origem da infiltração e afluxo. Já os métodos quantitativos, podem ser divididos em hidráulicos e químicos. Os métodos hidráulicos geralmente se utilizam do balanço de taxas de descargas atuais e das parcelas de esgotos residuais teóricas para a determinação das águas de infiltração (KRETCHMER et al., 2008), enquanto que os químicos são aqueles cuja determinação se dá pela concentração de parâmetros relacionados com águas residuárias.

Os métodos tradicionalmente adotados para a estimativa da infiltração estão sujeitos a incertezas consideráveis, devido aos seus pressupostos subjetivos e princípios gerais que não são estimados. E a análise dos estudos comparativos existentes entre estes métodos, revela os desafios da aplicabilidade, como: o desconhecimento de sua existência ou da prática em outros países; a disponibilidade insuficiente de séries de dados de longo prazo de vazões e concentrações de poluentes (DE BÉNÉDITTIS; BERTRAND- KRAJEWSKI, 2005). Em regiões costeiras, esses desafios mostram-se ainda mais latentes. Em muitas cidades os problemas na rede de esgoto estão relacionados ao envelhecimento da rede, falta de reabilitação, problemas de execução e tipos de materiais não recomendados (ZHAO et al., 2020). O parâmetro recomendado para o dimensionamento da rede de esgoto também é um fator que pode ser refinado; no Brasil, a margem para adoção do coeficiente de infiltração ( $0,05$  a  $1,0 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ ) pode levar a dimensionamentos imprecisos da rede e distantes da realidade. Além disso, como a reabilitação da rede de esgoto para reduzir infiltração e afluxo é geralmente onerosa, os gestores do setor não só precisam de métodos para medir com precisão a infiltração e afluxo, mas também, precisam de abordagens sólidas para avaliar o desempenho real das medidas de reabilitação implementadas (STAUFER, P. et al., 2012); fato ainda incipiente em regiões em desenvolvimento e uma demanda latente no Brasil. Os desafios que envolvem a avaliação da infiltração e afluxo nessas regiões podem ser estruturais (compreender condições de construção e de assentamento das tubulações), econômicos (aquisição de equipamentos e materiais de medição de fluxo); bem como sociais (realizar fiscalização e controle de ligações pluviais clandestinas). A hipótese desta pesquisa é que a estimativa da I/A, aplicando metodologias adaptadas às condições locais e que utilizam associação de métodos qualitativos, químicos e hidráulicos podem auxiliar no

enfrentamento destes desafios supracitados e contribuir com o gerenciamento, apoiado em dados efetivos de medição do saneamento local. Cabe ressaltar que a pesquisa sobre o tema está alinhada ao objetivo 6 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, especificamente com as metas 6.3.1 e 6.3.2, que abordam o incremento na proporção de águas residuais tratadas de forma segura e melhoria na produção de corpos hídricos com boa qualidade ambiental.

Logo, o objetivo deste trabalho é ofertar subsídios para melhoria do gerenciamento do saneamento local e do avanço científico acerca do tema, através da estimativa da infiltração e do afluxo devido à precipitação pluviométrica (ADP) em uma bacia de esgoto sanitário na ilha de Santa Catarina, caracterizada por apresentar histórico de precipitação pluviométrica intensa e nível de lençol freático elevado. Para isto foram aplicadas duas metodologias distintas: uma para a quantificação do afluxo e, outra, para a medição da infiltração subterrânea e determinação do coeficiente de infiltração. Para quantificação do afluxo foi utilizada a metodologia proposta por Metcalf & Eddy (2016), na qual o afluxo é medido considerando a diferença entre o volume acumulado em um dia chuvoso significativo e o volume acumulado em período seco. Para medição da infiltração e determinação do coeficiente foi associada a metodologia hidráulica das vazões mínimas noturnas com metodologia química que utiliza a concentração de demanda química de oxigênio (DQO). Resultados de abordagens qualitativas, como teste de vídeo e corante, também, foram conduzidas para auxílio nas medições e identificação das possíveis origens de infiltração e afluxo.

Em termos de gestão, as contribuições indevidas apresentam-se como um desafio muito presente no cotidiano dos municípios e das empresas de saneamento por interferir sobremaneira no gerenciamento de águas residuais integradas e sustentáveis e no fechamento do ciclo da água urbana (ELLIS, 2001). Ao final da pesquisa os valores de infiltração e afluxo medidos foram confrontados com os valores já praticados na região, e um levantamento de medidas de redução de contribuições indevidas e sugestão de melhorias no sistema estudado foi recomendado. Os resultados contribuem diretamente para a compreensão científica do problema e desta forma possibilitam a tomada de decisão com vistas à redução da sobrecarga na rede, melhoria da gestão do saneamento local e subsídio na escolha de coeficientes de projeto.

## 1.1 OBJETIVOS

Diante da problemática e contexto apresentados, definem-se os seguintes objetivos para verificação da hipótese do projeto.

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do projeto é ofertar subsídios para melhoria do gerenciamento do saneamento local e do avanço científico acerca do tema, através da estimativa da infiltração e do afluxo devido à precipitação pluviométrica em uma bacia de esgotamento sanitário em região costeira.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para viabilizar a proposta de pesquisa foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- i. Aplicar uma adaptação metodológica para obtenção de dados de vazão de esgoto bombeado a partir das condições de operação disponíveis;
- ii. Quantificar valores do afluxo devido à precipitação pluviométrica e do coeficiente de infiltração;
- iii. Avaliar a interferência da maré no sistema de esgoto avaliado;
- iv. Sugerir medidas para a redução das contribuições indevidas e melhorias no sistema avaliado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico serão abordados os conceitos fundamentais inerentes ao tema de pesquisa e à fundamentação teórica da metodologia adotada.

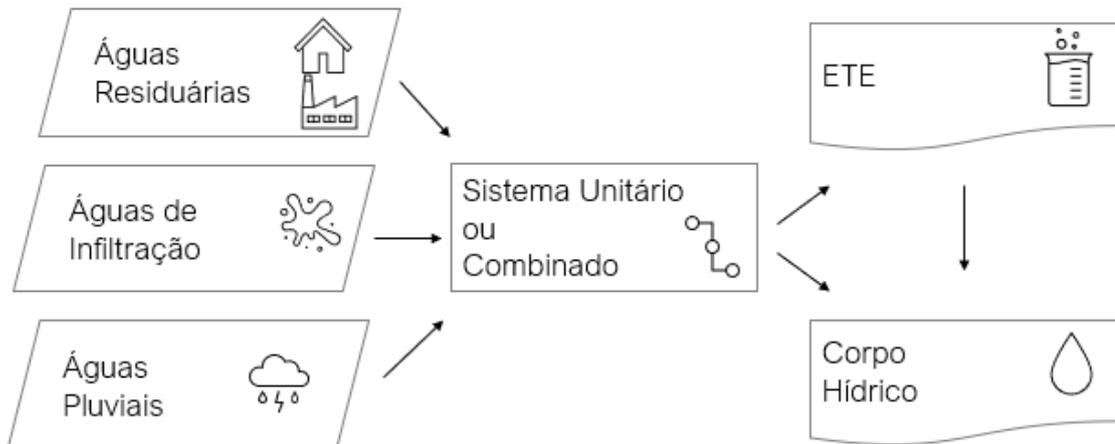
### 2.1 SISTEMAS DE ESGOTOS

Para o estudo da infiltração e afluxo é necessário o conhecimento dos tipos de esgotamento existentes; os quais podem ser de três tipos: unitário ou combinado, separador parcial e separador absoluto.

### 2.1.1 Sistema Unitário ou Combinado

As águas residuárias, águas de infiltração e as águas pluviais veiculam por um único sistema (Figura 1).

Figura 1 – Esquema Sistema Unitário.



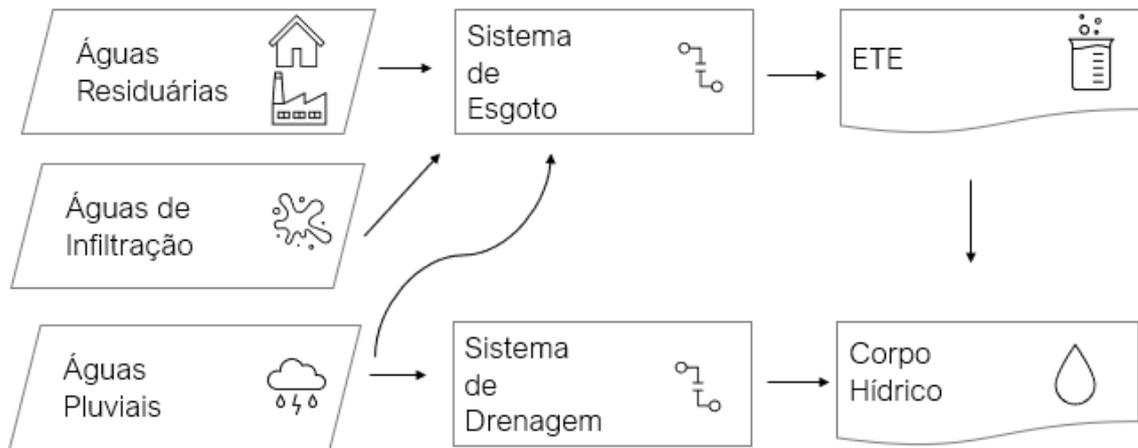
Fonte: Autora.

O sistema de esgotamento unitário foi construído em grande parte das cidades mais antigas e mais povoadas do mundo todo para coletar e transportar águas residuais e pluviais para reduzir à vulnerabilidade da cidade às inundações e à poluição em geral (LUO et al., 2022). Teve bom desempenho, em regiões frias e subtropicais, com baixo índice de pluviosidade, atendendo ruas pavimentadas e com bom nível econômico (TSUTYIA e SOBRINHO, 2011). Atualmente muitos países da Europa utilizam esse sistema, ou ainda, o sistema separador parcial. Devido ao custo elevado dos tanques de equalização de águas pluviais, os países que utilizam o sistema unitário, de modo geral, limitam a vazão afluyente às estações de tratamento de esgoto (ETEs) sendo que, o valor típico situa-se na faixa de 2 a 10 vezes a vazão de período seco. A vazão que excede esse limite é extravasada para os corpos de água (TSUTYIA e BUENO, 2004).

### 2.1.2 Sistema Separador Parcial

Uma parcela das águas pluviais, provenientes de telhados e pátios das economias, são encaminhadas juntamente com as águas residuárias e as águas de infiltração do subsolo para um único sistema (Figura 2).

Figura 2 – Esquema Separador Parcial.



Fonte: Autora.

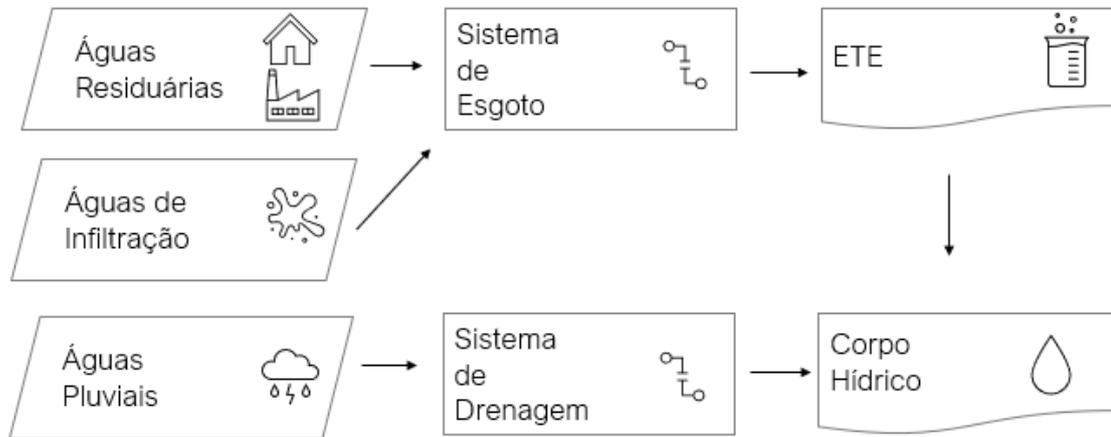
O sistema separador parcial pode ocorrer tanto oficialmente, por opção dos gestores de saneamento, ou através das ligações clandestinas (MACHADO et al., 2013). Dias e Rosso (2011) elencam possíveis causas dessas interconexões indevidas: a) reminiscências de sistemas antigos: separador parcial ou unitário; b) defasagem na implantação e ampliação das etapas dos componentes do sistema; c) falta de prioridade aos serviços de operação, manutenção e conservação; d) modelo de urbanização e falta de planejamento urbano; e) dificuldades na fiscalização de obras; f) descontrole sobre as ligações prediais irregulares; g) custos na implantação das ligações prediais; h) instalações prediais inadequadas; i) aspectos culturais e educativos.

### 2.1.3 Sistema Separador Absoluto

As águas residuárias e as águas de infiltração veiculam em um sistema, denominado sistema de esgoto sanitário; enquanto as águas pluviais são coletadas e

transportadas em um sistema de drenagem pluvial totalmente independente (Figura 3).

Figura 3 – Esquema Separador Absoluto.



Fonte: Autora.

No Brasil, utiliza-se prioritariamente o sistema separador absoluto que apresenta, dentre outras vantagens: menor custo de investimento (tubos mais baratos e de menor diâmetro, menor extensão das canalizações, etc.), não condicionamento a pavimentação das ruas, não prejuízo a depuração dos esgotos, além de se adequar melhor ao clima brasileiro com elevado índice de pluviosidade (TSUTYIA e SOBRINHO, 2011). Além disso Lepot et al. (2017) destacam que esse sistema pode reduzir os riscos à saúde, redução da carga hidráulica na ETE e redução da descarga descontrolada de águas residuais no corpo receptor.

Na Figura 4 apresenta-se uma ilustração do sistema separador absoluto. É possível observar que o esgoto oriundo das residências veicula pela rede de esgoto, passando pela estação de tratamento e seguindo o efluente tratado para disposição final. A água da chuva adentra pelas residências, bocas de lobo e galerias; passa pela rede de drenagem e retorna ao mar, rios ou lagos.

Entretanto, nesse sistema, deve-se atentar às ligações irregulares que contribuem para o extravasamento de esgoto nos corpos receptores. Tsutyia e Bueno (2004) publicaram pesquisa demonstrando que em grande parte das cidades brasileiras o sistema separador absoluto é, de fato, separador parcial.

Figura 4 – Ilustração da rede de esgoto e da rede de drenagem.



Fonte: Adaptado de Floripa Se Liga na Rede (2023).

## 2.2 ESGOTO SANITÁRIO

Água residuária é a massa líquida que apresenta partículas, compostos químicos ou microrganismos que tornam imprópria sua utilização ou aproveitamento, requisitando condicionamento ou tratamento antes do reuso ou destinação final. Na engenharia sanitária utiliza-se a denominação esgoto sanitário para a água residuária formada por contribuições de esgoto doméstico e esgoto industrial, acrescida da água do subsolo que penetra através das tubulações e órgãos acessórios (águas de infiltração) e da contribuição pluvial parasitária (águas pluviais parasitárias) (PEREIRA e SOARES, 2006); (TSUTYIA e SOBRINHO, 2011); (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986). Na Figura 5 ilustram-se as parcelas que constituem o esgoto sanitário.

Figura 5 – Partes constituintes do Esgoto Sanitário.



Fonte: Autora.

As águas, ou contribuições indevidas são compostas pelas águas pluviais parasitárias e águas de infiltração que serão definidas nos tópicos a seguir.

### 2.2.1 Águas Pluviais Parasitárias

As águas pluviais parasitárias representam a parcela de deflúvio superficial que encontra caminho para o sistema coletor de esgoto através de ligações (acidentais ou clandestinas), de canalizações e galerias pluviais, tampões de poços de visita e ligações abandonadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986); (AZEVEDO NETTO, 1979). Faz-se necessário um intenso controle e fiscalização para minimizar os efeitos dessas águas indesejadas no sistema de esgoto. Na Figura 6 ilustram-se algumas das fontes de entrada de águas pluviais parasitárias no sistema de esgoto.

A norma brasileira 12207 da ABNT (1992) recomenda que a contribuição de águas pluviais parasitárias deva ser determinada com base em medições locais. Inexistindo tais medições, pode ser adotada uma taxa cujo valor deve ser justificado e não ultrapasse o valor de  $6 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  de coletor contribuinte ao trecho em estudo. De acordo com a mesma norma técnica, a contribuição pluvial parasitária deve ser adicionada à vazão final para análise de funcionamento do interceptor e para o dimensionamento dos extravasores. Todavia, para o dimensionamento em si do interceptor, a vazão parasitária não é levada em consideração (FESTI, 2005).

Figura 6 – Representação das fontes de entrada das águas pluviais parasitárias.



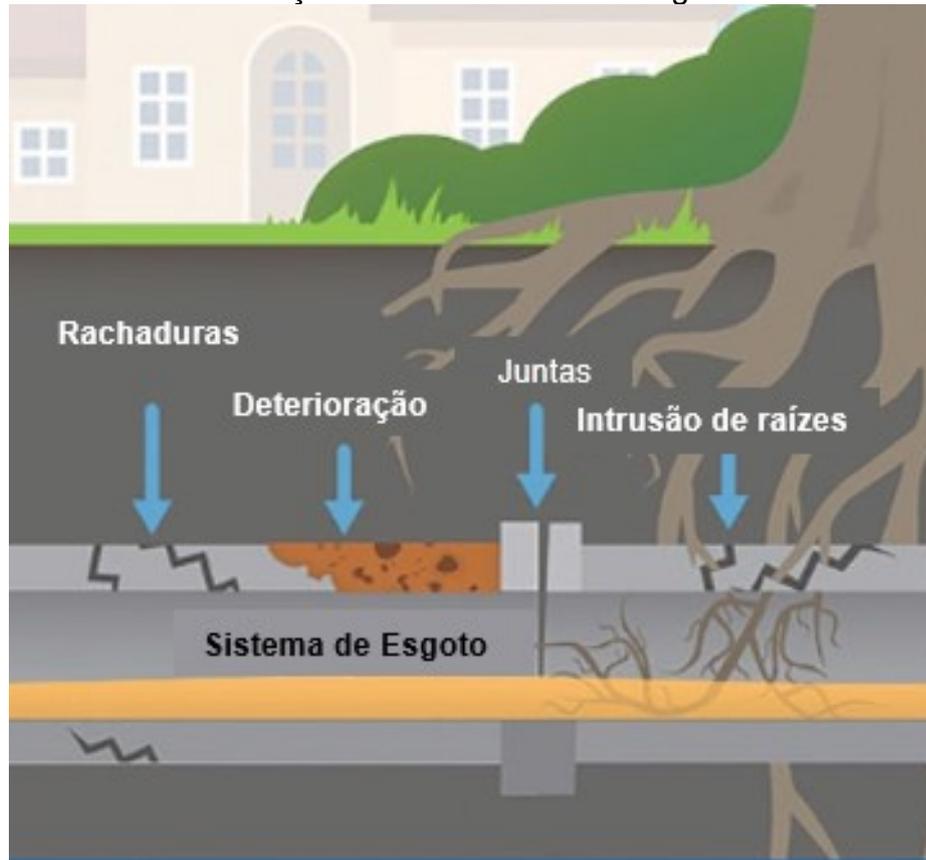
Fonte: Adaptado de Metropolitan Council (2018).

### 2.2.2 Águas de Infiltração

As águas de infiltração são águas subterrâneas originárias do subsolo que penetram indesejavelmente nas canalizações da rede coletora de esgotos por diversos meios: pelas paredes das tubulações, pelas juntas mal executadas, pelas tubulações defeituosas (fissuradas ou rachadas, por exemplo), pelas estruturas dos poços de visita e das estações elevatórias, etc. (HANAI e CAMPOS, 1997). Nas Figura 1, Figura 7 e Figura 8 é possível visualizar as fontes de entradas dessas águas e como o fenômeno ocorre nas tubulações.

Na Figura 7 ilustra-se uma representação das principais entradas de águas de infiltração no sistema de esgoto, com destaque para rachaduras, deteriorações/corrosões, juntas de tubulações e fissuras provocadas pela intrusão de raízes de árvores.

Figura 7 – Representação das fontes de entradas das águas de infiltração na tubulação de rede coletora de esgoto.



Fonte: Adaptado de Metropolitan Council (2018).

Figura 8 – Imagens das entradas das águas de infiltração na tubulação de rede coletora de esgoto.



Fonte: Adaptado de Envirosight (2023).

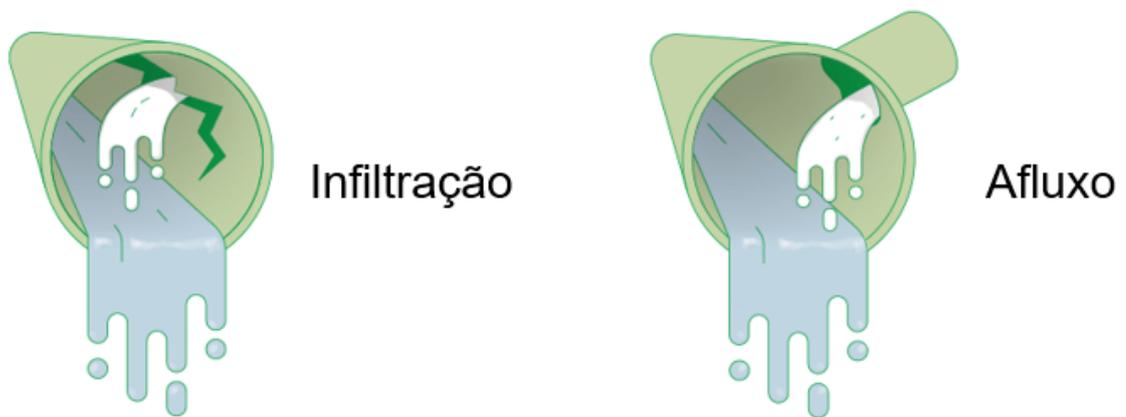
Na Figura 8 é possível visualizar a água infiltrando na imagem à esquerda, pela parede da tubulação; e à direita, pela junta.

Para o projeto de redes coletoras deve-se observar que a contribuição das águas de infiltração é maior nos locais em que a precipitação pluviométrica é intensa e o aquífero subterrâneo elevado (PEREIRA e SOARES, 2006).

### 2.3 INFILTRAÇÃO E AFLUXO

As contribuições indevidas nas redes de esgotos podem ocorrer de duas maneiras: através do subsolo (infiltração) ou provir do encaminhamento acidental ou clandestino de águas pluviais, também denominadas águas pluviais parasitárias (afluxo). A avaliação tanto das águas de infiltração quanto das águas pluviais parasitárias tem fundamental importância no dimensionamento do sistema de esgoto e dos órgãos extravasores (AZEVEDO NETTO, 1979). Na Figura 16 representa-se, ilustrativamente, a infiltração e o afluxo, de acordo com sua origem.

Figura 9 – Representação ilustrativa referente a infiltração e afluxo em uma rede coletora de esgoto.



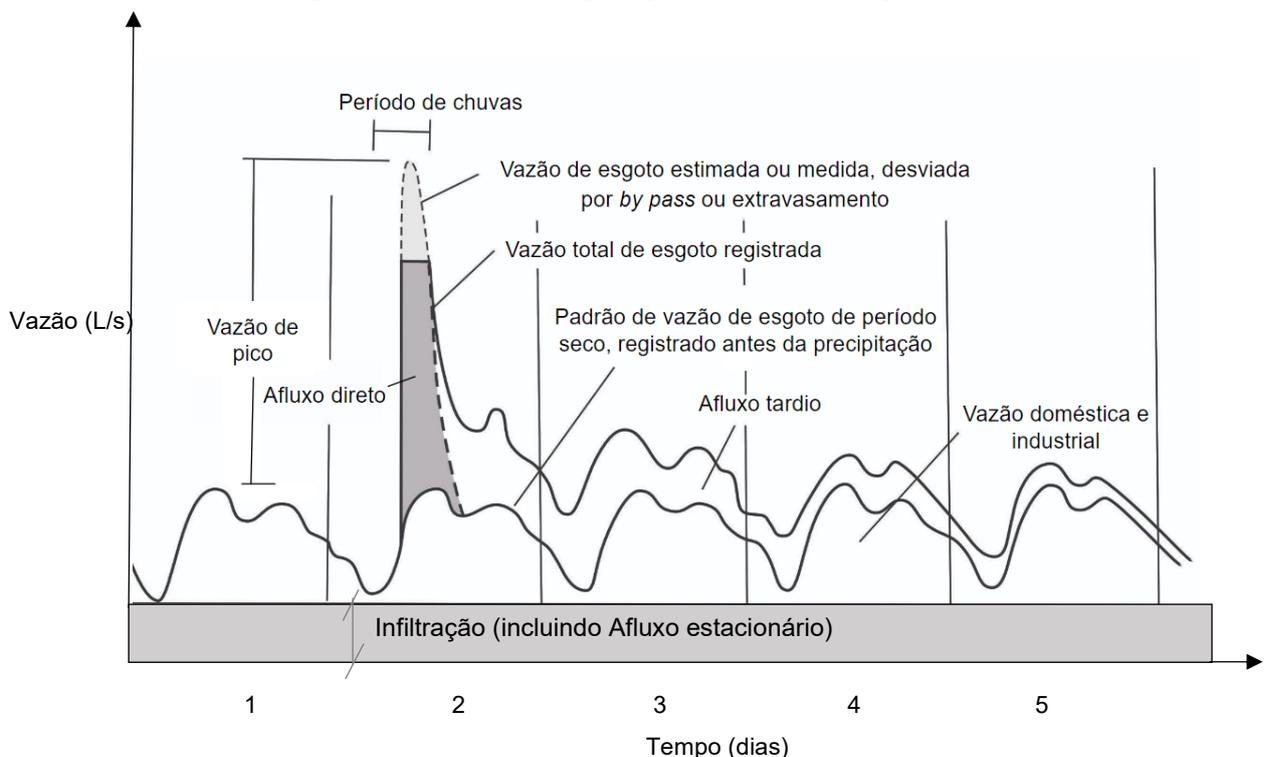
Fonte: Adaptado de EnviroSight (2023).

Vários métodos de medição de infiltração foram desenvolvidos e aplicados em diferentes países, com definições de infiltração específicas para cada autor (pesquisador e/ou operador). No Reino Unido, os termos infiltração e afluxo são usados para distinguir as várias características espaciais e temporais dessas contribuições. Nenhum método pode ser considerado ideal porque os métodos desenvolvidos consideram parcialmente, completamente ou sem distinção, os vários componentes da "infiltração": infiltração de águas subterrâneas, mas também todas

as outras fontes de águas claras, como drenagem de águas pluviais, vazamento de redes de água potável, etc. (BERTRAND- KRAJEWSKI et al., 2005). A Agência Americana de Proteção Ambiental (US EPA, 2014) reconhece três componentes principais do fluxo de águas em um sistema de esgoto sanitário, que serão assumidos neste trabalho: fluxo sanitário básico (ou águas residuárias), infiltração subterrânea e; influxo e infiltração derivados de chuvas, mais comumente referido como afluxo (ou afluxo devido à precipitação).

Metcalfe e Eddy (2016) fizeram a caracterização das parcelas de vazões contribuintes à vazão de esgoto sanitário conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Identificação gráfica de Infiltração e Afluxo.



Fonte: Adaptada de Metcalfe e Eddy (2016).

Onde:

- i. **Infiltração:** água que adentra na rede coletora de esgotos por diversos pontos, incluindo trincas nas tubulações, através das juntas de tubos, conexões ou paredes e juntas de poços de visitas.
- ii. **Afluxo estacionário:** águas descarregadas de drenos do subsolo e de fundações, e conexões diretas de áreas pantanosas. Este tipo de

contribuição é constante e, é identificada e medida em conjunto com a infiltração.

- iii. Afluxo direto: entradas que resultam de conexões diretas de escoamento superficial de águas pluviais no sistema de esgoto, causando um aumento quase imediato das vazões de esgoto.
- iv. Afluxo total: soma do afluxo direto em qualquer ponto do sistema mais qualquer vazão descarregada a montante por meio de extravasores, *bypasses* de estações elevatórias, etc.
- v. Afluxo tardio: água que demora alguns dias para ser drenada ao sistema de coleta de esgoto. Podem incluir descargas de bomba de rebaixamento de lençol, e a lenta entrada de água superficial em poços de visita, em áreas alagadas.

### **2.3.1 Infiltração Subterrânea**

Do volume de água precipitada que escoar superficialmente, parcela é absorvida pela vegetação, outra parcela escoar rapidamente para o sistema de drenagem, e o restante percola no solo, tornando-se água subterrânea. Conforme exposto, a infiltração de águas subterrâneas que compreende as parcelas de vazões contribuintes: infiltração e afluxo estacionário, será assumida nesse estudo como infiltração subterrânea, ou simplesmente infiltração. A quantidade de água infiltrada depende de diversos fatores, como extensão da rede coletora, diâmetro e material das tubulações, material utilizado nas juntas, idade do sistema, área servida, tipo de solo, profundidade do lençol freático, topografia, densidade populacional (número de conexões por unidade de área) (METCALF e EDDY, 2016), profundidade e condições de assentamento da rede. Em regiões litorâneas, como é o caso de Florianópolis, com lençol freático a pequena profundidade e terrenos arenosos, as condições são mais propícias à infiltração (BRUNO e TSUTIYA, 1983).

#### **2.3.1.1 Coeficiente de infiltração**

No dimensionamento do sistema de esgoto sanitário, a carga de contribuição dos efluentes do sistema é determinada em função da população da bacia de contribuição e da vazão de infiltração ao longo das redes coletoras, conforme é

apresentado na Equação 1 (Vazão) e Equação 2 (Vazão doméstica). Quando do dimensionamento dos coletores tronco, dos emissários, das estações elevatórias de esgoto e das estações de tratamento de esgoto, a contribuição das águas pluviais deve também ser considerada (TSUTYIA e SOBRINHO, 2011).

$$Q = Q_d + Q_i \quad (1)$$

$$Q_d = \frac{p*q*k1*k2*C}{86400} \quad (2)$$

Onde:

$Q$  = vazão de esgoto ( $m^3.dia^{-1}$ )

$Q_i$  = vazão de infiltração ( $m^3.dia^{-1}$ )

$Q_d$  = vazão doméstica ( $m^3.dia^{-1}$ )

$p$  = população atendida (habitantes)

$q$  = consumo *per capita* ( $m^3.hab^{-1}.dia^{-1}$ )

$k1$  = coeficiente de máxima vazão diária

$k2$  = coeficiente de máxima vazão horária

$C$  = coeficiente de retorno

A vazão de infiltração é um valor significativo no cálculo das vazões de projeto e pode ser calculado partindo do coeficiente de infiltração. Tal coeficiente é um importante parâmetro utilizado em projetos de sistemas de esgotos, definido pela razão da vazão infiltrada por metro linear da rede coletora (TSUTYIA e SOBRINHO, 2011).

A seguir apresenta-se a Tabela 1 com taxas de infiltrações em redes de esgotos sanitários obtidas por medições ou recomendações para projetos.

Algumas das metodologias de medição da infiltração em rede de esgotos, utilizadas nos trabalhos apresentados na Tabela 1, serão descritas no tópico 2.7.

Tabela 1 - Coeficiente de infiltração em esgotos.

Autor	Local	Ano	Coeficiente de infiltração (L.s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup> )
Saturnino de Brito	Santos e Recife	1911	0,1 a 0,6
Jesus Netto	São Paulo	1940	0,3 a 0,7
Azevedo Netto	São Paulo	1943	0,4 a 0,9
Greeley & Hansen	São Paulo	1952	*0,5 a 1,0
Des. Sursan	Rio de Janeiro	1959	0,2 a 0,4
Hazen & Sawyer	São Paulo	1965	*0,3 a 1,7
SANESP/Max A. Veit	São Paulo	1973	0,3
Dario P. Bruno & Milton T. Tsutiya	Cardoso, Ibiúna, Lucélia, e São João da Boa Vista	1983	0,02 a 0,10
SABESP	Estado de São Paulo	1984	0,05 a 0,5
Carlos A. Santos & Adejalmo F. Gazen	Canoas, Santa Maria, Tramandaí, Capão da Canoa, Guaíba e Alvorada (RS)	1985	0,013 a 0,720
NBR 9649 – ABNT	Brasil	1986	0,05 a 1,0
Luis P. Almeida Neto, Gilberto o. Gaspar, João B. Comparini & Nelson L. Silva	Cardoso, Indiaporã, Guarani d' Oeste e Valentil Gentil (SP)	1989	0,010 a 0,116
João B. Comparini	Cardoso, Indiaporã, Guarani d' Oeste e Pedranópolis (SP)	1990	0,021 a 0,038
Lineu R. Alonso, Rodolfo J. Costa e Silva Jr., Francisco J. F. Paracampus	São Paulo	1990	0,24 a 0,35
Milton T. Tsutiya & Orlando Z. Cassettari	Tatuí (SP)	1995	0,33
T. Merriman	EUA	1941	0,03 a 1,4
E. W. Steel	EUA	1960	0,40 a 1,37
I. W. Santry	EUA	1964	0,3 a 1,4
WPCF	EUA	1969	0,27 a 1,09
Metcalf & Eddy Inc.	EUA	1981	*0,15 a 0,60

\*Valores para 160 m de rede por ha. Dados originais em função da área esgotada

Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A faixa de valores sugerida pela norma brasileira 9649 da ABNT (1986) para o coeficiente de infiltração é bastante ampla, devendo esse estar no intervalo entre 0,05 e 1,0 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>. Tal amplitude pode resultar na adoção de valores elevados ou distantes dos que realmente ocorrem, levando ao dimensionamento impreciso e consequentes gastos e problemas que poderiam ser previstos ou evitados. Entretanto, apesar da faixa ampla de valores sugeridos pela norma, ainda foram encontrados locais com valores medidos que superaram a faixa, como mostrado na Tabela 1 onde o coeficiente variou de 0,01 a 1,7 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>.

A empresa concessionária de água e esgotos do município de Florianópolis, CASAN (Companhia de Águas e Saneamento), adota o valor de 0,4 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> para redes submersas ou próximas ao lençol freático e 0,2 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> para rede assentada distante do lençol. Essa é uma recomendação de projeto adotada pela empresa não baseada em medições locais. A análise da tabela nos indica uma grande variação de

valores em diferentes regiões, o que ratifica a importância da medição em campo para um dimensionamento mais eficiente.

### **2.3.2 Afluxo devido à precipitação**

O afluxo devido à precipitação (ADP) foi a denominação assumida neste trabalho para caracterizar a sobrecarga no sistema de esgoto provocada pela contribuição pluvial parasitária. Para Barbassa (2006, *apud* FESTI, 2006) o ADP difere do escoamento subterrâneo, mas sua distinção é muito difícil, principalmente em áreas com nível de lençol freático elevado. Intrusão de rios, de marés extemporâneas, ou de comportas são outras fontes de entradas diretas (METCALF e EDDY, 2016) que podem ocasionar sobrecargas e estão inclusas no afluxo.

Von Sperling (2005) alerta que a contribuição de águas pluviais não é levada em consideração no projeto de ETEs vinculadas a sistemas separadores, mas ela é uma realidade na maior parte delas. Estudos apontam que a contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário é muito variável, atingindo valores que variam de 26 a 283% sobre a vazão máxima de período seco (TSUTIYA e BUENO, 2004) e é maior em locais em que a precipitação pluviométrica é intensa (PEREIRA e SOARES, 2006).

## **2.4 MEDIÇÃO DA INFILTRAÇÃO**

Atualmente diferentes abordagens para estimar e determinar a parcela de infiltração no sistema de esgoto são conhecidas. Em geral podem ser divididas entre quantitativas e qualitativas (KARPF e KREBS, 2011).

Os métodos qualitativos incluem os métodos visuais (ex: teste de fumaça e corante, câmera de inspeção por vídeo) e de interpretação de hidrogramas (descarga de esgoto) com foco principalmente na origem da infiltração. Já os métodos quantitativos podem ser divididos em químicos e hidráulicos (ex: vazão mínima noturna, condutividade hidráulica e diferença de fluxos).

Vale salientar que estudos nesse tema vem avançando gradativamente e existem investigações utilizando métodos com sensores de temperatura, traçadores, modelagem matemática, entre outros. Especialmente no campo da modelagem, o uso do modelo *Storm Water Management Model* (SWMM) associado à uma ferramenta de

sistema de informação geográfica tem mostrado potencial para auxiliar na gestão integrada de águas rurais, urbanas e costeiras (ROCHA, PEREIRA e LIMA NETO, 2021). Tais métodos não serão aprofundados nessa revisão por não serem considerados oportunos para o estudo de caso da bacia escolhida, ou ainda por não estarem dentro do campo de atuação da pesquisadora.; o que não deslegitima a contribuição promissora dessas outras abordagens para investigação das contribuições indevidas.

#### **2.4.1 Métodos Qualitativos**

Os métodos qualitativos têm por objetivo a identificação da origem da infiltração e também das entradas de afluxo, auxiliando principalmente na investigação das ligações cruzadas. Aliados a outros métodos podem melhorar o nível de confiança dos dados, validando os resultados através do contexto qualitativo. Os três métodos qualitativos mais conhecidos são: teste de fumaça, teste de corante e inspeção por vídeo.

O teste de fumaça é um método de levantamento utilizado para localizar, identificar e classificar as fontes potenciais de infiltração em um sistema de coleta de águas residuárias. É o modo mais antigo de testar infiltração (BENNINGER, 1984). Uma bomba de fumaça (à base de vegetais, não tóxica e inodora) com um ventilador é lançada na rede suspeita de ligação irregular ou infiltração a fim de forçar a fumaça através de uma parte do sistema. Esse tipo de teste é projetado para detectar fontes de águas pluviais oriundas de telhados, drenos de jardins, além de conexões ilícitas diretamente na rede de esgoto (BERTRAND-KRAJEWSKI, 2005). Deve ser utilizado aparelho apropriado e líquido insuflador; e o teste deve ser realizado por corpo técnico treinado. Aliado ao procedimento, é necessária uma campanha de divulgação prévia no local a ser aplicado, uma vez que a fumaça pode retornar dentro das residências. Na Figura 11 é possível visualizar o teste sendo aplicado em um poço de visita da CASAN.

O teste de corante pode ser descrito como método de rastreamento para detectar o caminho do fluxo do efluente e determinar as conexões ilícitas existentes nos sistemas de esgoto. Neste método, um corante não-tóxico é adicionado a uma fonte de água, que é suspeita como fonte de infiltração no sistema de esgoto. Ao mesmo tempo, um período de fortes chuvas é simulado inundando o sistema de

drenagem de águas pluviais com água bombeada de uma mangueira, balde ou descarga, por exemplo (BEHESTI et al., 2015).

Figura 11 – Aplicação do teste de fumaça em rede coletora de esgoto.



Fonte: Adaptado de Floripa Se Liga na Rede (2023).

Corantes de cores diferentes podem ser aplicados em locais diferentes. O sistema de esgoto pode ser monitorado simultaneamente por uma câmera de vídeo ou um observador fica à espera no local de saída de água e a conexão de águas pluviais é confirmada pela descoberta de corante no sistema de esgoto. Esse teste é comumente utilizado no Brasil, especialmente por ser de baixo custo; mas requer mão de obra intensiva, exigindo a entrada nas residências.

Desde 2000 a CASAN mantém equipes de inspeção predial de esgoto na cidade de Florianópolis, conhecidas na empresa como equipes de fiscalização de esgoto; que realizam vistorias nos imóveis atendidos pelos SES (Sistema de Esgotos), e caracterizam a situação da ligação de esgoto conforme sua regularidade com as normas pertinentes. Esse trabalho fornece à operação informações sobre o uso da rede por parte dos usuários do sistema, e tem demonstrado que a contribuição de água pluviais muitas vezes tem origem nas ligações domiciliares privadas. Os trabalhos de inspeção da CASAN foram reforçados nos últimos anos com o programa

“Floripa Se Liga Na Rede”, implantado em agosto de 2013 por meio de uma parceria entre Secretaria de Habitação e Saneamento Ambiental (SMHSA), Vigilância Sanitária, Fundação Municipal do Meio Ambiente (Floram) e CASAN. Na Figura 12 apresentam-se duas imagens ilustrativas da aplicação do teste, realizada pela equipe do Floripa Se Liga na Rede.

Figura 12 – Aplicação do teste de corante nas instalações prediais.



Fonte: Adaptado de Floripa Se Liga na Rede (2023).

À esquerda, na imagem da Figura 12, o corante sendo despejado no tanque; e à direita, o líquido com a respectiva coloração chegando na caixa de inspeção.

A inspeção de tubos por vídeo, além de oferecer a oportunidade de detectar defeitos nas redes, mostra possíveis obstruções que podem alterar os resultados das medições de infiltração. Além de poder auxiliar na busca por conexões irregulares. Opta-se por um horário em que a rede não esteja inundada e instala-se uma câmera de vídeo) com alcance variável e envia-se imagens para um receptor. Dependendo do alcance do aparelho é preciso escolher pontos específicos da rede (como esquinas) para abranger a área desejada. Pode dar informações importantes sobre a quantidade e a posição da infiltração. Juntamente com outras ferramentas pode atuar como uma boa base para a reabilitação, que consistem em medidas de recuperação da rede e sistemas acessórios. Na Figura 13 ilustra-se a instalação do aparelho de vídeo.

Figura 13 – Instalação do aparelho de vídeo monitoramento de rede coletora de esgoto.



Fonte: Autora.

#### 2.4.2 Métodos Quantitativos Hidráulicos

Os métodos hidráulicos são aqueles que geralmente se utilizam do balanço de taxas de descargas atuais e parcelas de esgotos residuais teóricas para a determinação das águas de infiltração. O grande desafio é a determinação correta da vazão de águas residuárias e obtenção desses dados primários. A vantagem é a necessidade de poucos dados; normalmente apenas dados de chuva, dados de entrada de vazão na estação de tratamento ou elevatória, bem como informações sobre a população conectada ao sistema de esgoto são necessários. (KRETSCHMER et al., 2008).

Para De Bénédittis e Bertrand-Krajewski (2005), qualquer que seja o método, geralmente aplicado em período de tempo seco, se faz necessária a medição da vazão total de água residual ( $Q_T$ ). De acordo com a Equação 3 (Vazão de infiltração), a estimativa da infiltração consiste em dividir a  $Q_T$  em dois componentes: i) a taxa de vazão de água residual restrita ( $Q_{WW}$ ) que inclui esgoto doméstico e industrial, e ii) a taxa de vazão de infiltração ( $Q_{INF}$ ). A taxa de infiltração também é frequentemente expressa como a porcentagem da vazão de tempo seco, denominada fração de infiltração ( $F_{INF}$ ) conforme expresso na Equação 4.

$$Q_{INF} = Q_T - Q_{WW} \quad (3)$$

$$F_{INF} = 100 \frac{Q_{INF}}{Q_T} \quad (4)$$

De acordo com o método utilizado pelos autores, a equação pode ser aplicada em escala anual, diária, horária ou na escala de valores instantâneos (ex: método da vazão mínima noturna) da taxa de vazão de esgoto. O cálculo da infiltração resulta na estimativa de uma vazão teórica de águas residuárias rigorosa que pode ser aferida com variadas técnicas:

- i. Vazão média diária de águas residuárias baseada no consumo anual de água potável na bacia hidrográfica estudada;
- ii. Número de habitantes na bacia estudada e os valores de referência da descarga de esgoto per capita;
- iii. Características das medidas de captação ou de vazão de águas residuárias em período de baixa vazão para a estimativa de um fluxo residual noturno;
- iv. Medições contínuas ou diárias da concentração de poluentes (DQO, DBO, amônia, etc.) na saída da bacia hidrográfica estudada e valores de referência das descargas poluentes per capita.

No tópico 2.7, algumas dessas técnicas serão descritas a partir de estudos de casos em diferentes regiões.

Outra metodologia utilizada para a obtenção da taxa de infiltração é a proposta por Metcalf e Eddy (2016) a qual considera a diferença entre a vazão média diária de um período úmido e a vazão média diária de período seco. Sendo o período úmido, o período em que a umidade do solo é bastante elevada, excluindo os dias com eventos chuvosos significativos. E o período seco considerou-se a semana na qual ocorreu a menor vazão de esgoto do mês e o período mais distante da ocorrência do último dia do evento de chuva significativo. Ressalta-se que para ambos os eventos se utilizam o mesmo dia da semana para alimentar a Equação 5. Utiliza-se a seguinte classificação dos dias:

- i. Chuvoso significativo:  $P > 10\text{mm}$ ;
- ii. Úmido: dois dias subsequentes a  $P > 10\text{mm}$ ;
- iii. Chuvoso não significativo:  $P < 10\text{mm}$ ;
- iv. Seco:  $P < 4\text{mm}$ .

Onde

$P$  = precipitação (mm).

Então:

1. Obtém-se, do dia identificado com a menor vazão de tempo seco, a vazão média diária de esgoto sanitário, denominando-se  $Q_{MDS}$ ;
2. Obtém-se do dia úmido a vazão média diária de esgoto sanitário, denominando-se  $Q_{MDU}$ ;
3. Calcula-se a extensão total da rede de esgoto sanitário da malha urbanizada ( $L$ );
4. Calcula-se o índice de infiltração lenta ( $i$ ) dado pela Equação 5.

$$i = \frac{Q_{MDU} - Q_{MDS}}{L} \quad (5)$$

Onde:

$i$  = índice de infiltração lenta ( $\text{L.s}^{-1}.\text{km}^{-1}$ )

$Q_{MDU}$  = vazão média diária de tempo úmido ( $\text{L.s}^{-1}$ )

$Q_{MDS}$  = vazão média diária de tempo seco ( $\text{L.s}^{-1}$ )

$L$  = Comprimento total da rede (km)

### 2.4.3 Métodos Quantitativos Químicos (Concentração de DQO)

Os métodos químicos são aqueles cuja determinação se dá pela concentração de parâmetros relacionados com águas residuárias.

Tais métodos podem ser associados ao método da vazão mínima noturna, onde considera-se que toda vazão de esgoto bombeada durante um período noturno determinado (normalmente período com menor registro e vazão de esgoto) é na

verdade vazão de infiltração, uma vez que se espera que nesse período não haja contribuição de esgoto, ou este seja mínimo (AZEVEDO NETTO, 1979).

Hanai e Campos (1997) aplicaram em seu estudo em Araraquara essa associação da metodologia da vazão mínima noturna com a determinação da concentração da DQO. Todavia, os autores consideraram que somente uma parcela das vazões medidas é devida à infiltração que ocorre continuamente na rede coletora; e que a vazão mínima noturna do esgoto é composta de 2 parcelas principais: a contribuição do esgoto (esgoto propriamente dito, resultante de utilização de aparelhos na madrugada e vazamentos), e a contribuição das águas de infiltração.

Para computar somente a vazão contribuinte de infiltrações que ocorrem no período noturno, os autores basearam-se no princípio de que as águas de infiltração diluem o esgoto, diminuindo os valores médios de suas concentrações, a exemplo da DQO.

Portanto os cálculos da vazão de infiltração partem da concentração do esgoto no período noturno ( $DQO_{m\u00e9dia}$ ), que é a média ponderada entre a concentração de esgoto sem diluição ( $DQO_{esg}$ ) e, a concentração das águas de infiltração ( $DQO_{inf}$ ), sendo que os respectivos pesos são: a vazão de esgoto ( $Q_{esg}$ ) e a vazão de infiltração ( $Q_{inf}$ ), conforme mostra a Equação 6.

$$DQO_{m\u00e9dia} = \frac{(Q_{esg} * DQO_{esg}) + (Q_{inf} * DQO_{inf})}{(Q_{esg} + Q_{inf})} \quad (6)$$

Para determinar as vazão de esgoto puro e a vazão de infiltração ( $Q_{esg}$  e  $Q_{inf}$ ), os dados utilizados são:

- i.  $DQO_{m\u00e9dia}$ : concentração da DQO do esgoto no período noturno (DQO média no período de menor vazão afluyente) ( $mgO_2.L^{-1}$ );
- ii.  $DQO_{inf}$ : concentração da DQO das águas de infiltração, considerada nula ( $mgO_2.L^{-1}$ );
- iii.  $DQO_{esg}$ : concentração da DQO do esgoto puro (DQO média do esgoto no período de maior vazão afluyente (LAMIN e SEZERINO, 2012)) ( $mgO_2.L^{-1}$ );
- iv.  $(Q_{esg} + Q_{inf})$ : soma da vazão do esgoto puro com a vazão de infiltração, que é a vazão mínima medida no período noturno ( $L.s^{-1}$ ).

Como a  $DQO_{inf}$  será considerada nula o termo da equação que multiplica a  $Q_{inf}$  se anula restando como incógnita apenas a  $Q_{esg}$  puro. Após encontrada a  $Q_{esg}$  pode-se retornar à Equação 6 e determinar a  $Q_{inf}$ .

## 2.5 MEDIÇÃO DO AFLUXO DEVIDO A PRECIPITAÇÃO (ADP)

Metcalf e Eddy (2016) propuseram a determinação do ADP, baseada em volumes, considerando a diferença entre o volume acumulado em um dia chuvoso significativo e o volume acumulado em período seco. Sendo utilizados o mesmo dia da semana de cada evento para alimentar Equação 7 (Afluxo devido à precipitação).

$$ADP = V_{Chuva} - V_{Seco} \quad (7)$$

Onde:

$V_{Chuva}$  = volume acumulado do esgoto em um dia chuvoso significativo ( $m^3$ );

$V_{Seco}$  = volume acumulado do esgoto no dia correspondente no período de tempo seco ( $m^3$ ).

A definição dos períodos de tempo seco e chuvoso influenciam diretamente nos resultados de medição. Em sua pesquisa, Festi (2006) considerou o período de tempo seco a semana na qual ocorreu a menor vazão de esgoto do mês, e o período mais distante da ocorrência do último dia do evento de chuva significativo. Naquela semana foram aferidos os volumes diários de esgotos, e estes foram subtraídos dos volumes diários de períodos chuvosos nos dias da semana correspondentes.

Lamim e Sezerino (2012), por sua vez, consideraram o período de tempo seco como a média aritmética dos três últimos dias que antecederam a ocorrência de um evento chuvoso, com uma permanência mínima de sete dias anteriores sem incidência de chuvas. Podendo assim associar cada evento chuvoso com o seu respectivo evento de tempo seco, minimizando os interferentes relativos às possíveis alterações na rede coletora. Além disso, a média aritmética mencionada reduz os erros relativos à diferença de consumo de água nos diversos dias da semana.

De acordo com a Agência Americana de Proteção Ambiental (2014), os dados de fluxo durante um evento significativo de tempestade devem ser comparados aos dados de clima seco imediatamente antes da tempestade, quando as condições das águas subterrâneas são semelhantes.

De fato, em termos de metodologia de medição, há um consenso na diferença de hidrogramas em dias secos e úmidos. As especificidades surgem na caracterização do evento seco e chuvoso e da incidência e intensidade de precipitação pluviométrica onde o estudo será realizado, fato que influencia diretamente a quantidade do afluxo. Outro fato relevante é a eficiência das ações de fiscalização de ligações clandestinas no local.

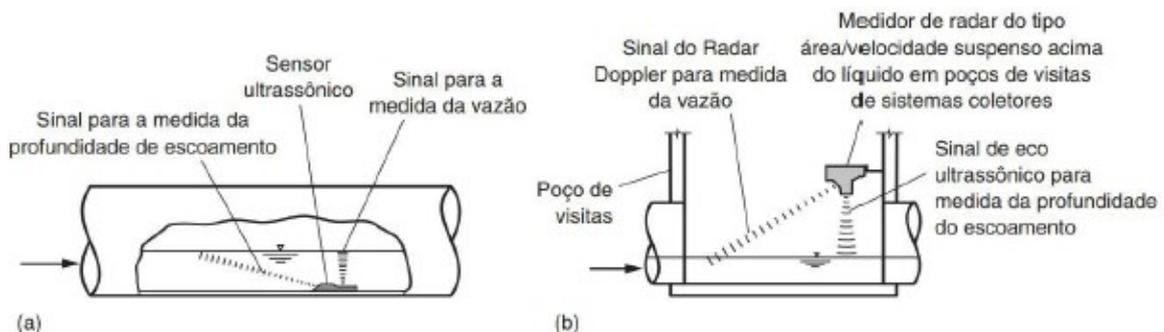
Não há método de medição ideal, mas um conjunto de métodos que pode ser aplicado de acordo com as condições experimentais do local de estudo (BERTRAND-KRAJEWSKI et al., 2005).

## 2.6 MEDIDORES DE VAZÃO

Para o estudo da infiltração e afluxo nos sistemas de esgoto, as vazões são geralmente determinadas com dados existentes ou por meio de medidas em campo. As medidas de vazão em coletores por gravidade podem ser efetuadas pela instalação de medidores de vazão em poços de visita. No caso do uso de sensores, é importante garantir que o nível do efluente no ponto de medição nunca fique abaixo do nível necessário para o funcionamento do sensor utilizado. Deve-se atentar principalmente quando o método escolhido for o da vazão mínima noturna, período em que os fluxos costumam ser menores. Embora canais e vertedores sejam ainda utilizados, a maior parte das medições de vazão em sistemas coletores são, atualmente, efetuadas utilizando medidores tipo área-velocidade (METCALF e EDDY, 2016).

Esses equipamentos são utilizados para medir, simultaneamente, a profundidade e a velocidade de escoamento nos sistemas coletores e podem ser baseados em ultrassom (a) ou em radar (b) conforme demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Medidores de vazão tipo área-velocidade.



Fonte: Adaptada de Metcalf e Eddy (2016).

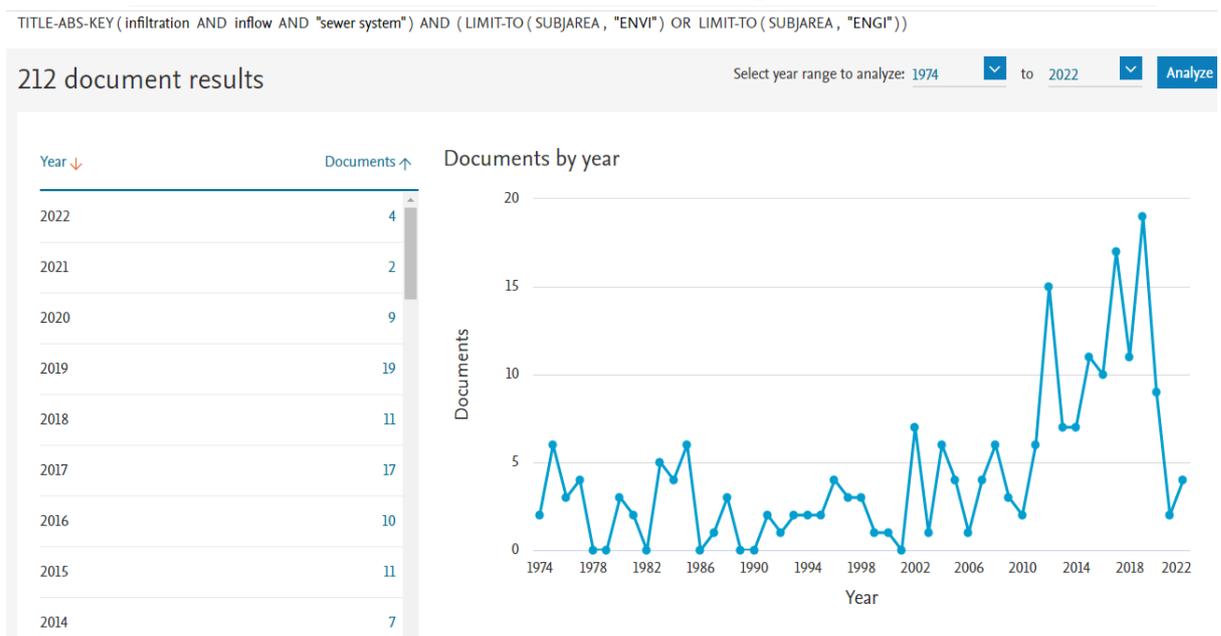
Metcalf e Eddy (2016) afirmam que estações de bombeamento sem medidores, instaladas em sistemas coletores, também podem ser utilizadas para coletar dados de vazão, medindo o volume no poço de recalque e determinando o tempo entre partidas e paradas das bombas.

## 2.7 ESTADO DA ARTE

Estudos têm avaliado a influência da infiltração e afluxo na rede coletora de esgoto. Na Figura 15 apresenta-se o gráfico de produção científica disponível na plataforma Scopus, em setembro de 2022, sobre o tema em investigação. Utilizou-se o buscador para Título, Resumo e Palavras-chave, e as palavras-chave utilizadas foram: infiltration, inflow e sewer system com o operador booleano "AND". As subáreas de pesquisa foram: environmental "OR" engineering, totalizando 212 documentos encontrados.

Observa-se um aumento expressivo das publicações a partir de 2012; porém, os dados demonstram que há na literatura atual uma necessidade de avanços na investigação da estimativa da infiltração e afluxo nos sistemas de esgoto.

Figura 15 - Produção científica disponível (Scopus) acerca do tema infiltração e afluxo em sistemas de esgoto.



Fonte: Scopus, 2022.

Tabela 2 - Trabalhos que estudaram infiltração e afluxo em rede coletora de esgoto considerados relevantes para o estudo de caso.

TÍTULO	AUTORES	TIPO DE ESTUDO	LOCAL DE ESTUDO	ANO
Contribuições Indevidas para a Rede de Esgotos	AZEVEDO NETTO, J.M.	Revisão Bibliográfica	Várias cidades brasileiras	1979
Infiltração de água nos coletores de esgotos sanitários	BRUNO e TSUTYIA	Estudo de caso	Várias cidades brasileiras	1983
Avaliação da infiltração na rede coletora de esgotos na bacia do Ribeirão do Ouro da cidade de Araraquara-SP	HANAI e CAMPOS	Estudo de caso	Araraquara, Brasil	1997
Contribuição de Águas Pluviais em Sistemas de Esgoto Sanitário no Brasil	TSUTYIA, M. T. e BUENO, R. C. R.	Revisão Bibliográfica	Estado de São Paulo	2004
Infiltration in sewers systems: comparison of measurement methods	DE BÉNEDITTIS e BERTRAND-KRAJEWSKI	Revisão Bibliográfica	Diferentes cidades da Europa	2005
Estimativa da infiltração e do afluxo devidos a precipitação na rede de esgoto sanitário em município de pequeno porte	FESTI, A. V.	Estudo de caso	Borborema, Brasil	2006
Monitoramento e determinação de água de infiltração em sistemas de esgoto	KRETSCHEMER et al	Estudo de caso	Edinburgh, Scotlan, UK	2008
Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach	KARPF, C.; KREBS, P.	Estudo de caso	Dresden, Alemanha	2011
Estimativa das infiltrações e afluxo devido a precipitação em uma rede coletora de esgoto	LAMIM e SEZERINO	Estudo de caso	Herval do Oeste, Brasil	2012
Quantifying rainfall-derived inflow and infiltration in sanitary sewer systems based on conductivity monitoring	ZHANG, M. et al	Estudo de caso	Wuxi, China	2018
Pin-pointing groundwater infiltration into urban sewers using chemical tracer in conjunction with physically based optimization model	ZHAO, Z. et al	Estudo de caso	Chaohu, China	2020
Combining a statistical model with machine learning to predict groundwater flooding (or infiltration) into sewer networks	LIU, T. et al	Estudo de caso	Hoboken, EUA	2021

Fonte: Autora.

Foi feito um refinamento nos trabalhos encontrados, através da leitura dos resumos propositivos e exclusão daqueles documentos que não teriam contribuição para este trabalho; seja por conta das características da região de estudo ou do sistema de esgotamento adotado. Após aplicação dos critérios de exclusão restaram 12 trabalhos, que estão listados na Tabela 2, e que mais se destacaram como referência para este trabalho. Vale destacar, que conforme ilustrado na Figura 15, desde 1974 existem registros de investigações sobre o tema no mundo; e os estudos elencados na Tabela 2 representam um recorte do que se considerou referência para o estudo de caso da presente pesquisa.

Saturnino de Brito fez as primeiras medições, em Santos e Recife. Por volta de 1940 o Eng. Jesus Netto realizou medições em redes novas com um número reduzido de ligações, antes de entrar em uso (AZEVEDO NETTO, 1979). Desde então alguns estudos e medições da infiltração foram realizados no Brasil, a destacar-se: a) medição de vazão em redes que ainda não entraram em serviço; b) medição de vazão em rede de uma área bem delimitada onde simultaneamente é medido o consumo de água; c) medições de vazões mínimas noturnas em tempo seco (em alguns casos com estudo da concentração do efluente); d) medição de vazão na rede em dias que ocorra falta total e prolongada de água (TSUTIYA e BUENO, 2004). Todas essas medições em tempo seco tem a finalidade de se excluir a interferência do afluxo devido a precipitação. Em termos de afluxo, medições comparando hidrogramas em dias próximos (um em tempo seco e outro em tempo chuvoso) realizadas na rede coletora de esgoto de São Paulo apresentaram como resultado um acréscimo aproximado de 30% na vazão, em função da contribuição de água pluvial na rede de esgoto, com relação à vazão máxima de tempo seco (AZEVEDO NETTO, 1979). Bruno e Tsutiya (1983), publicaram os resultados de um estudo realizado entre os anos de 1981 e 1983 em oito cidades localizadas no interior do Estado de São Paulo. As medições foram realizadas em rede seca através da medição direta com cronômetro digital. Foram efetuadas em local conveniente, normalmente o ponto de extravasão da bacia em estudo, com um recipiente aferido medindo 24x24x34 cm. Também foram feitas medições em rede em carga com medidor *Parshall* em algumas cidades e utilizando vertedor triangular em outras. Os locais de medição variaram entre: antes do emissário, no extravasor da sub-bacia e a montante da ETE. Estas medições foram a cada meia hora, 24h.dia<sup>-1</sup>. Com os dados obtidos determinaram a taxa de infiltração como sendo a vazão mínima noturna, apesar de reconhecer que as taxas

determinadas são normalmente maiores que a vazão de infiltração; pois em uma cidade sempre há alguma atividade noturna, seja utilização de aparelhos na madrugada, ou ainda vazamentos nas boias, torneiras, etc. Como resultado desta pesquisa foram propostos os seguintes valores de coeficiente de infiltração:  $0,2 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-1}$  para os coletores situados acima do lençol freático e  $0,1 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-1}$  para os coletores situados abaixo do lençol. As vazões de projeto baseadas em coeficientes de infiltração adotados a partir de normas foram de 35% a 318% maiores que as vazões de esgoto efetivamente medidas.

Na investigação de Hanai e Campos (1997), as vazões mínimas noturnas foram medidas no emissário de esgotos da bacia do Ribeirão do Ouro, em Araraquara, por meio de um medidor *Parshall* instalado numa seção da tubulação do emissário da bacia. As leituras das vazões de esgoto foram feitas de 15 em 15 minutos, durante 24 horas para 3 dias da semana (Domingo, Quarta-feira e Sábado). Através das curvas geradas pela medição da vazão diária observou-se comportamentos diferentes para cada dia da semana escolhido e que o período com menor vazão era entre 3h e 6h. Nesse período também observou-se que o efluente apresentava aparência clarificada devido à infiltração. Como resultado, obteve-se que aproximadamente 90% do total das vazões mínimas no período noturno eram provavelmente devidas às águas de infiltração (HANAI E CAMPOS, 1997). A partir da vazão de infiltração obtida e com o dado de comprimento da rede eles puderam estimar uma taxa de infiltração de  $0,171 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}^{-1}$  naquele local. A adoção da DQO do esgoto (DQO<sub>esg</sub>) como sendo a DQO média do esgoto no período de 24 horas, resulta num valor aproximado, sendo influenciado, de um lado, pelas diluições que ocorrem continuamente devidas à infiltração, que diminuem o valor verdadeiro e, de outro lado, pelas atividades industriais que ocorrem somente durante o período do dia, aumentando o valor verdadeiro (HANAI E CAMPOS, 1997).

Tsutiya e Bueno (2004) avaliaram as contribuições de águas pluviais (afluxo) em sistemas de esgoto. Na Tabela 3 apresentam-se os principais dados levantados nesse estudo.

Observa-se que os dados de contribuição sobre a vazão máxima do período seco variaram de 26 a 242%, mostrando o quanto tais contribuições podem variar a depender da região, condições de assentamento da tubulação, material empregado, etc. Os resultados apontam para a necessidade de considerar as contribuições no

dimensionamento e importância dos estudos locais para adoção de medidas de gerenciamento condizentes com a realidade local, que pode variar muito.

Tabela 3 - Contribuições de águas pluviais em sistemas de esgoto.

Autor	Local	Ano	Dados originais	Taxa de contribuição de águas pluviais (L.s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup> )
Greeley & Hansen	São Paulo	1952	32% sobre QMPS	0,15
Hazen & Sawyer	São Paulo	1965	35% sobre QMPS	0,16
Des, Sursan	Rio de Janeiro	1959	6,0 L.s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup>	6,00
SANESP	São Paulo	1973	6,0 L.s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup>	6,00
Alonso et. al	RMSP	1990	1,57 a 12,01 L.s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup>	1,57 – 12,01
Pauli	São Paulo	1998	242% sobre QMPS	3,90
Mello	Santo André	2002	100 a 283% sobre QMPS	nd
AMPI	Tatuí	1992	31% sobre QMPS	2,13 – 2,20
Tsutiya e Bueno	Franca	2003	26,76% sobre QMPS	6,00
ABNT	Brasil	1992	6,0 L.s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup>	6,00

\*nd = não disponível.

\*QMPS = vazão máxima de período seco.

Fonte: TSUTIYA e BUENO, 2004.

Os autores deixaram como recomendação deste estudo que valores acima de 3 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> (metade do valor preconizado pela NBR12207 de 1992) devem ser extravasados ao corpo receptor para não prejudicar o funcionamento do sistema de esgoto, de modo que o projeto já deva prever essa contribuição adicional. Alertaram ainda sobre a necessidade de modificação na legislação ambiental para permitir o extravasamento das contribuições de águas pluviais nos corpos receptores, de modo semelhante ao que ocorre em países europeus. Por fim, os autores apontam que devem ser incentivadas medições em outros sistemas de esgotos, para que se possa definir novos parâmetros decorrentes das contribuições de águas pluviais. E assim subsidiar a comunidade técnica a discutir e rever o sistema atualmente utilizado no Brasil, pois o mesmo não é adequado para a realidade de muitas cidades brasileiras; em especial as regiões costeiras.

De Bénédictis e Bertrand-Krajewski (2005) afirmaram que as infiltrações têm impacto sobre o desempenho econômico, técnico e ambiental dos sistemas de esgotos, respectivamente, i) com a diminuição da eficiência das estações de tratamento devido à diluição do esgoto bruto e à diminuição da capacidade hidráulica, e ii) com a poluição de solo e águas subterrâneas potencialmente utilizadas para o abastecimento de água potável. No estudo comparativo em diferentes cidades da

Europa, concluíram que a infiltração varia perto de 20% da vazão de tempo seco. Outra conclusão desse trabalho foi a de que a incerteza varia de acordo com o número de dias secos utilizados na metodologia do fluxo noturno, devendo ser entre 8 e 10 dias para se obter uma incerteza aceitável.

Festi (2006) monitorou as vazões de esgoto e precipitação da cidade de Borborema-SP utilizando pluviógrafo eletrônico, sensor de nível, conversor e coletor de dados. Para a medição de vazão foi construída uma calha *Parshall* em alvenaria e concreto ao longo do coletor tronco de esgotos e a montante do poço de sucção da estação elevatória de esgotos. O sistema de gradeamento a montante do poço precisou ser desativado e substituído por um cesto metálico pois ocasionava remanso, causando interferências nas leituras do sensor. Para a calibração foi monitorado o nível de água escoada pela calha e o volume armazenado no poço de sucção, no mesmo instante da medição do nível. Ocorreram limitações da medida de vazão na calha fazendo com que o autor optasse por medir a vazão de esgoto através do monitoramento diário das horas de funcionamento do sistema de bombeamento, com a bomba aferida pelo volume médio obtido e volume reservado no poço durante o período de parada da bomba. O período de coleta de dados foi de outubro de 2005 a janeiro de 2006. O índice de infiltração obtido foi de  $0,518 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ , valor situado no meio do intervalo recomendado pela norma brasileira.

Kretschmer et al. (2008) avaliaram uma campanha de cinco meses de medição num sistema que atendia cerca de 40.000 pessoas. Dezoito medidores de vazão ultrassônicos foram dispostos nas entradas e saídas de 8 estruturas do sistema de esgoto, bem como 5 medidores de chuva foram operados. Antes de instalar os medidores o sistema foi limpo por jateamento e realizada a inspeção por câmera de vídeo. Durante o período seco, a vazão de águas residuais foi estimada como sendo  $150\text{L}\cdot\text{PE}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ; onde os equivalentes populacionais (PEs) eram conhecidos. A vazão de tempo seco foi obtida através das leituras dos medidores nos pontos de saída no período de tempo seco, e a diferença resultou na vazão de infiltração. Em seguida, em vez de estimada, a vazão de águas residuais foi determinada através de diferentes métodos hidráulicos presentes na literatura: balanço entre consumo de água e quantidade de esgoto produzido; método do mínimo noturno; entre outros. Para cada sub-área de captação, os diferentes métodos hidráulicos produziram diferentes valores de infiltração. A variação dos resultados foi de aproximadamente 20%. Além disso, os autores inferiram que a infiltração média nas sub-bacias hidrográficas foi

diferente dos resultados obtidos pelo equilíbrio da vazão de tempo seco e fluxos atuais de águas residuais. A seguir apresenta-se na Tabela 4, os resultados para o índice de infiltração subterrânea de acordo com a metodologia adotada.

Tabela 4 - Índice de infiltração em redes coletoras de esgoto e metodologias de medição empregadas.

Método Geral	Metodologia Adotada ou Autor	Vazão de Tempo Seco	Vazão de Esgoto	Vazão de infiltração	Índice de Infiltração Subterrânea (%)
Balanço entre consumo de água e esgoto gerado	Balanço anual	2.522.665 (m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> )	2.283.373 (m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> )	239.292 (m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> )	<b>10,5</b>
	Mínimo noturno de consumo de água	58,03 (L.s <sup>-1</sup> )	50,05 (L.s <sup>-1</sup> )	7,98 (L.s <sup>-1</sup> )	<b>15,9</b>
	Consumo de água diário	7.222 (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> )	6.266 (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> )	956 (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> )	<b>15,3</b>
Mínimo Noturno (L.s <sup>-1</sup> )	HAGER	58,03	37,64	20,39	<b>36,7</b>
	FISCHER	58,03	11,64	46,39	<b>83,6</b>
	ATV	58,03	29,10	28,93	<b>52,1</b>
	OWAV	58,03	13,03	44,99	<b>81,1</b>

Fonte: Adaptado de Kretshemer et al. (2008).

Karpfs e Krebs (2011) propuseram uma metodologia de identificação e estimativa de quantificação de I/A na rede coletora de esgoto de Dresden, na Alemanha. O método utilizado neste estudo foi baseado em modelagem com dados de vazão de infiltração e afluxo medidos, além de dados de vazão de esgoto em um modelo integrado em que os parâmetros podem ser otimizados pelo método dos mínimos quadrados. O modelo se mostrou adequado para quantificar a dinâmica de vazão de tempo de seco de I/A, de acordo com as variações temporais. Foi possível perceber a relação entre as características da rede (ano de execução e nível do lençol freático) e o maior potencial de infiltração de água no sistema. O estudo em questão foi realizado a partir de uma base de dados consistente, e por isso obteve êxito na correlação do modelo com valores reais. Porém, para que esta metodologia seja utilizada em outros estudos, para a calibração do modelo é necessário que se tenha uma variedade de dados de entrada com no mínimo um ano de observação de condições extremas de vazões de tempo seco e períodos de muita chuva, o que nem sempre é viável para as companhias de saneamento.

Lamin e Sezerino (2012), estudaram a rede coletora de esgoto em Herval d'Oeste-SC entre julho de 2010 e agosto de 2011. Os dados de vazão afluente foram obtidos a partir do monitoramento da elevatória principal que recebe todo o esgoto do

município. Tal monitoramento foi feito via sistema de supervisão e telemetria da autarquia que faz registros do funcionamento da elevatória a cada cinco minutos. A aferição do sistema de bombeamento foi feita determinando-se a vazão média de bombeamento, através da relação entre o tempo de funcionamento da bomba e volume succionado durante esse período, somado ao volume reservado no poço elevatório durante o período de parada da bomba.

Foram realizados pelos autores supracitados onze ensaios de bombeamento, obtendo-se como resultado uma vazão média de  $297,90 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  com um desvio padrão de  $\pm 22,80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , valor este próximo à vazão teórica da bomba que seria de  $304,56 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Os dados pluviométricos foram medidos em um pluviômetro localizado a 5 km da estação (LAMIN; SEZERINO, 2012).

Para determinar a parcela de infiltração foram levantados os dados de concentração, em termos de DQO, do efluente proveniente da elevatória durante períodos de 24 horas, através de coletas pontuais realizadas de hora em hora. Foram selecionadas três campanhas válidas que caracterizaram a concentração horária de DQO do esgoto ao longo do dia, por se tratar de períodos sem incidência prévia significativa de precipitação pluviométrica, por pelo menos sete dias consecutivos a fim de garantir a menor interferência possível de resquícios de água de chuva sob a forma de afluxos com atraso de tempo (LAMIN; SEZERINO, 2012). Diferente do proposto por Hanai e Campos (1997) que consideraram a DQO do esgoto (DQO<sub>esg</sub>) como sendo a DQO média do período de 24 horas, ressaltando que isso levaria a um resultado aproximado, optou-se por considerar a DQO<sub>esg</sub> como sendo a média do período do dia com maior vazão de esgoto (período entre as 11 e 20h), reduzindo assim ao máximo as interferências de infiltração. Ainda, com relação à DQO noturna (DQO<sub>média</sub>), optou-se por adotar o valor referente à média do período noturno de menor vazão (período entre as 3 e 6h), com o objetivo de minimizar interferências amostrais em função da baixa produção de esgoto desse período. Os valores obtidos nas três campanhas realizadas estiveram entre  $0,056$  e  $0,136 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ .

Zhang et al. (2018) desenvolveram um método para estimar a I/A baseado em dados de condutividade hidráulica e medidas de vazão de tempo seco e em dias de chuva (de baixa, média e alta intensidade), utilizando dados medidos no sistema de esgotamento sanitário da cidade de Wuxi, na China. Os autores destacam a importância desse tipo de investigação para a operação de sistemas de esgotamento sanitário e como isso pode ser utilizado como potencial indicador para avaliar as

condições da rede, como interconexões com a rede pluvial e vazamentos e falhas na tubulação.

Zhao et al. (2020) apresentaram um método para determinação da origem e quantidade de água infiltrada na rede de esgoto através de medida e rastreamento de um composto químico, onde a quantidade de água infiltrada em cada bacia foi determinada através do balanço de massa. Foi possível identificar na análise da rede coletora de esgoto que apenas 7,9% da extensão total de rede contribui com 58% do total de água infiltrada na rede. Verificou-se que a taxa de infiltração foi maior no período noturno, quando a vazão de esgoto é mínima e conseqüente a altura da lâmina dentro do tubo é menor. Os autores sugerem que o controle da infiltração na rede de esgoto pode ser feito diminuindo a vazão de bombeamento e conseqüentemente aumentando a altura da lâmina de água dentro da tubulação, reduzindo assim a vazão de água infiltrada. Os resultados mostraram que a vazão de água subterrânea infiltrada pode chegar até 72% da vazão de esgoto, em áreas abaixo do lençol freático. Em muitas cidades os problemas na rede de esgoto estão relacionados ao envelhecimento da rede, falta de reabilitação, problemas de execução e tipos de materiais não recomendados (ZHAO et al., 2020).

Liu (2021) chama a atenção para as cidades com redes envelhecidas ao longo de áreas costeiras, onde os aquíferos são rasos, alertando que estas são particularmente vulneráveis. E aponta que a reabilitação é necessária para mitigar o impacto negativo da infiltração, porém é dispendiosa.

Após revisão sistemática da literatura acerca da investigação sobre estimativa da infiltração e afluxo em esgotos sanitários infere-se que as contribuições indevidas vêm sendo investigadas há muito tempo em diferentes regiões do mundo e caracterizam um problema hidráulico importante e recorrente nos sistemas de esgoto.

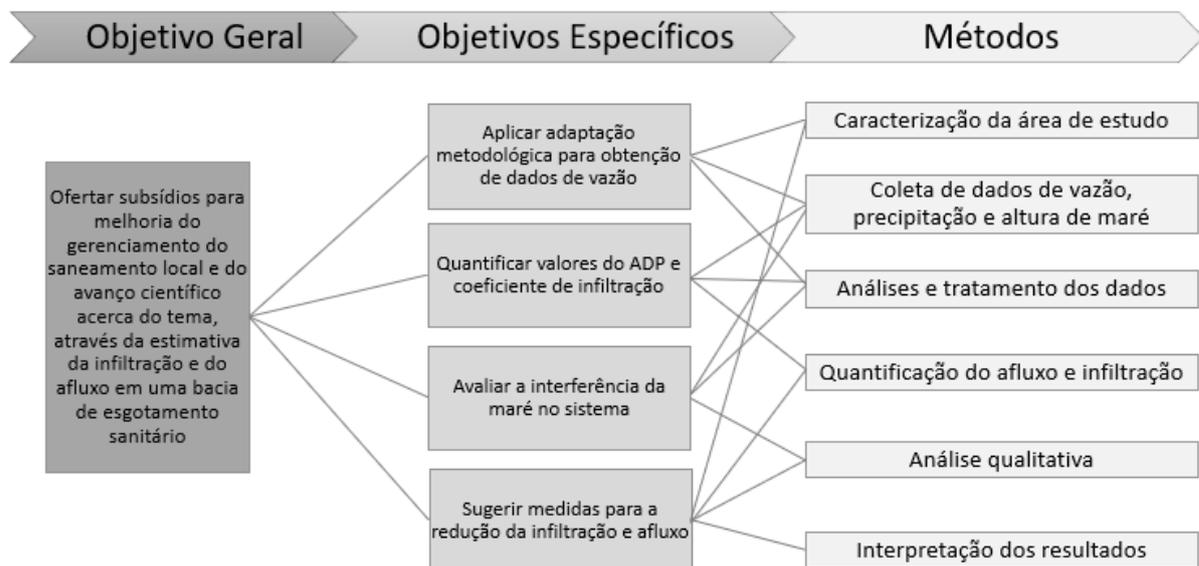
Os métodos para a estimativa da infiltração estão sujeitos a incertezas e a análise dos estudos comparativos existentes revela os desafios da aplicabilidade (DE BÉNÉDITTIS E BERTRAND-KRAJEWSKI, 2005). Em países em desenvolvimento os desafios tornam-se ainda mais latentes, uma vez que as fragilidades vão desde as condições de construção e de assentamento das tubulações, aquisição de equipamentos e materiais de medição; até a implementação de programas de fiscalização e controle de ligações clandestinas. Metcalf e Eddy (2016) alertam que tanto em sistemas antigos, como novos; um fator que influencia na taxa de infiltração é a qualidade real da instalação. De acordo com os autores, mesmos sistemas de

coletas novos podem exibir taxas de infiltração superiores às esperadas, devido às más práticas construtivas.

### 3 METODOLOGIA

Festi (2006) sugere que para o estudo da infiltração e ADP a seguinte sequência de passos deva ser adotada: escolha e caracterização do local da pesquisa; coleta de dados de vazão e volume dos efluentes de esgotos sanitários; coleta de dados de precipitação no local de estudo; seleção e caracterização dos dados coletados; emprego das metodologias e modelagens aplicáveis em função dos dados disponíveis. As etapas metodológicas empregadas foram desenvolvidas seguindo essa sequência de passos, adaptada à metodologia de medição escolhida, a fim de viabilizar os objetivos apresentados. Na Figura 16 apresentam-se os métodos adotados para atender a cada um dos objetivos específicos propostos para o trabalho.

Figura 16 – Etapas metodológicas realizadas na pesquisa.



Fonte: Autora.

Para obter os dados de vazão bombeada, foi necessária a caracterização da área de estudo. É fundamental entender como as características do solo, hidrologia, uso e ocupação se relacionam e influenciam a probabilidade de infiltração e afluxo. A caracterização também se conecta diretamente com o último objetivo de sugerir

medidas de redução das contribuições de I/A, uma vez que essas sugestões serão pautadas nas condições locais.

A partir da caracterização, foi possível determinar o período e os pontos de coleta dos dados de vazão, precipitação e altura de maré. Estes dados serviram de base para a próxima etapa metodológica de análises e tratamento dos dados.

Após as análises químicas e tratamento dos dados, foi possível quantificar a I/A e assim sugerir valores do coeficiente de infiltração. Através da análise qualitativa e quantitativa dos dados, obteve-se subsídio suficiente para avaliar a interferência do nível do mar no sistema.

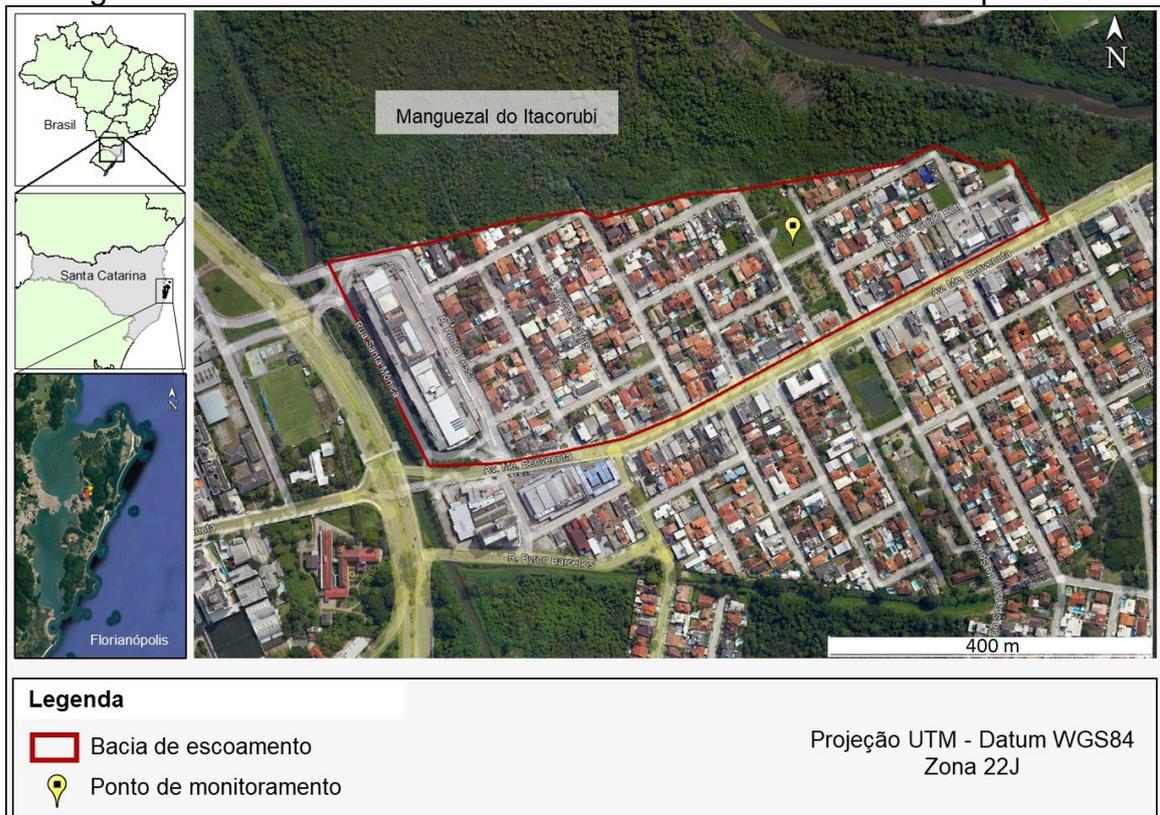
Finalmente, após o desenvolvimento de todas as etapas e a partir da interpretação dos resultados obtidos pôde-se sugerir medidas para a redução da I/A e convergir para a entrega do objetivo geral do trabalho que foi ofertar subsídios para a melhoria do gerenciamento local.

O período de coleta de dados esteve compreendido entre os meses de janeiro e dezembro de 2018, para a avaliação da infiltração e ADP; e de dezembro de 2020 a dezembro de 2021, para avaliação da interferência da maré na bacia. O objetivo foi compreender tanto os meses que caracterizam eventos com histórico de maior precipitação em Florianópolis/SC, ideais para a quantificação do ADP; quanto os meses com histórico de período de estiagem, propícios para a determinação da infiltração.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Dada a complexidade do estudo e obtenção de dados primários, optou-se por monitorar uma bacia de pequeno porte no município de Florianópolis/SC. A bacia de contribuição escolhida foi a afluyente à estação elevatória de esgoto (EEE) SB9-A, que abrange parte do bairro Santa Mônica e é administrada e gerida pela Companhia de Águas e Saneamento (CASAN). A bacia possui 0,26km<sup>2</sup> e recebe contribuições apenas de residências, não recebendo contribuições de outras elevatórias, fato que reduz as perdas de dados por extravasamentos de elevatórias à montante. Na Figura 17 ilustra-se a localização da bacia escolhida e o ponto de monitoramento que corresponde à estação elevatória SB9-A.

Figura 17 – Área de estudo: Bacia do Santa Mônica em Florianópolis/SC.



Fonte: Autora.

O bairro Santa Mônica está localizado na área central da parte insular de Florianópolis. Além do manguezal do Itacorubi ao norte, pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi. De acordo com o zoneamento, a região tem atividades predominantemente urbanas (comercial e residencial) e um shopping center que também contribui para a bacia. Na Figura 18 representa-se o mapa de uso e ocupação da região, no ano de 2018. Observa-se que a área permeável é reduzida, desfavorecendo a infiltração natural.

Figura 18 – Mapa de uso e ocupação da área de estudo.

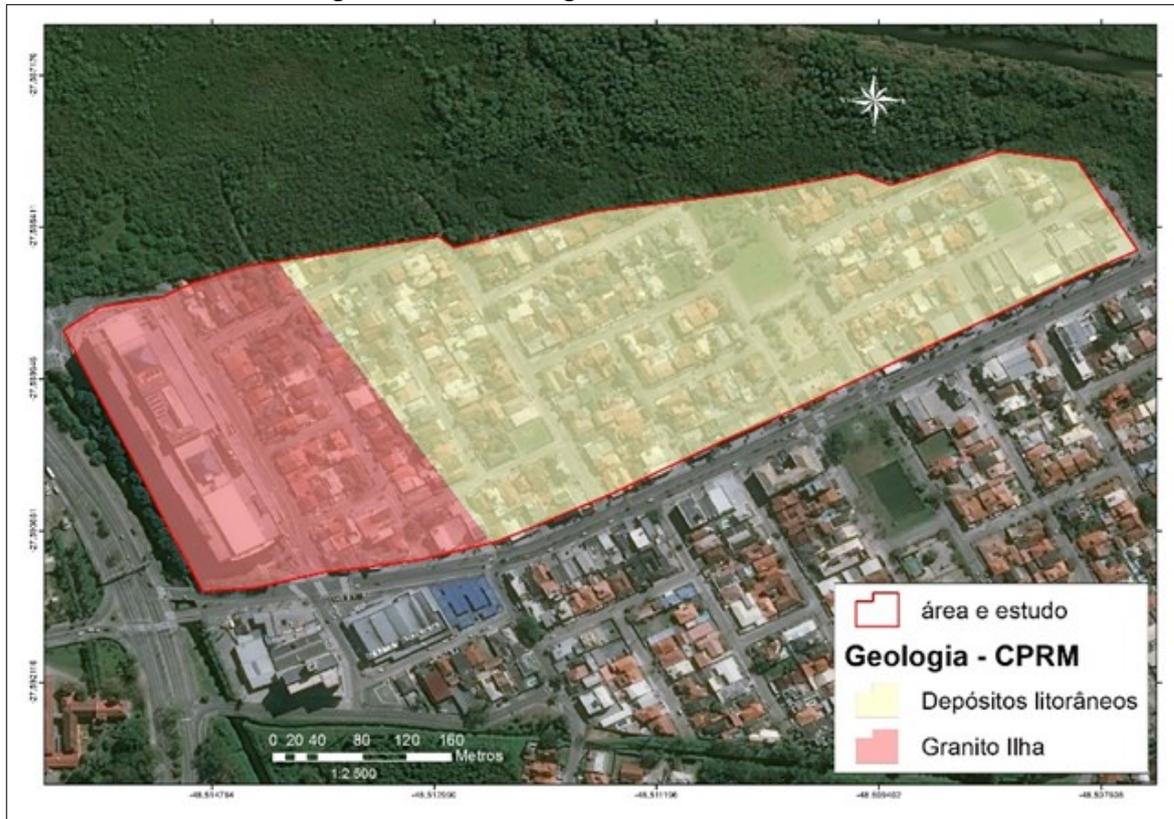


Fonte: Autora.

A área de estudo está localizada sobre uma planície que, na perspectiva geomorfológica, é denominada planície litorânea sendo constituída por áreas alagadiças associadas a manguezais. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) considera que a geologia da área estudada está dividida entre depósitos litorâneos e granito Ilha, conforme ilustrado na Figura 19.

De acordo com estudo hidrogeológico contratado pela CASAN, CH2O Ambiental (2018), para região, o solo é do tipo Gleissolo Hálpico. Esses solos são encharcados, com horizonte A rico em matéria orgânica, seguido por um horizonte profundo chamado de Glei, as cores acinzentadas esverdeadas características são causadas por excesso de água; possui uma textura argilosa com grão de areias fino a médio, subangular. São representados por sedimentos de Manguezais compostos por horizontes de silte arenoso com entulhos cinza escuro, mole a muito mole e com espessura variável, com resistência que se mantém até a profundidade de 7,0m (profundidade investigada).

Figura 19 – Geologia da área de estudo.

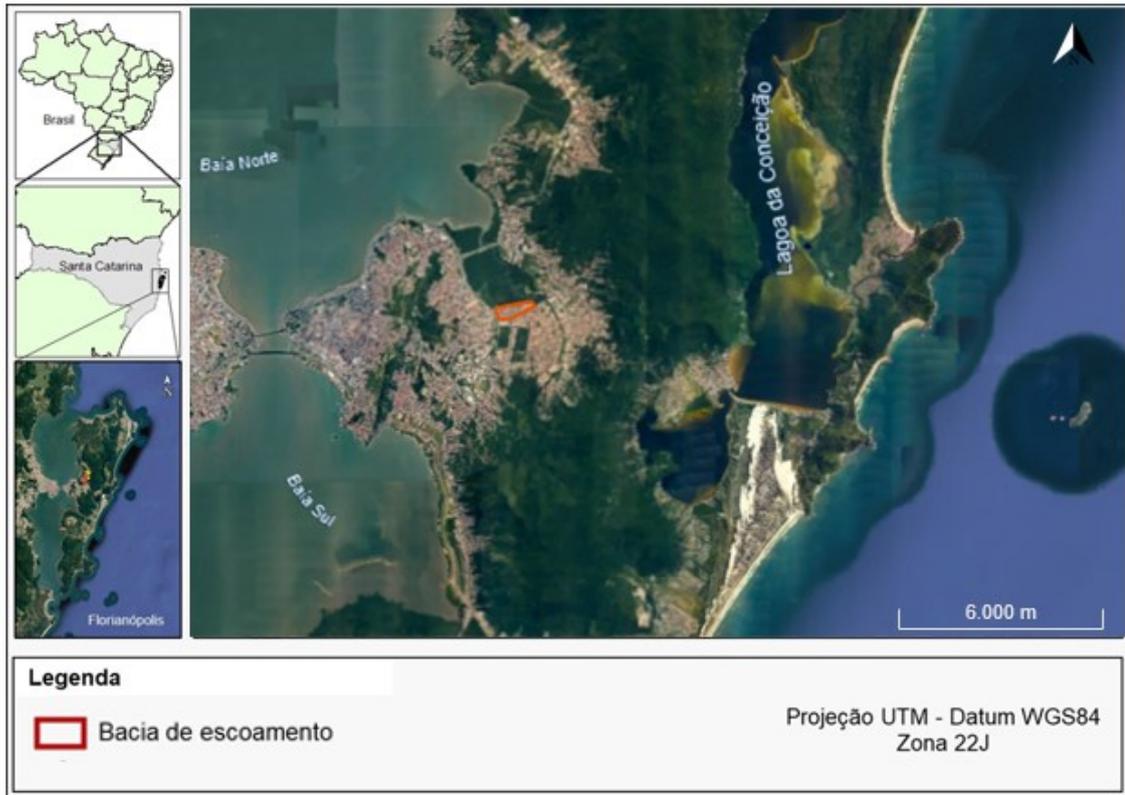


Fonte: Autora.

As sondagens apontaram que o horizonte A foi encontrado em espessura baixíssima variando de 0,3 a 0,5m, e uma espessura alta de 14m do horizonte B (Glei) composto por um solo areno-argiloso com alta plasticidade e alta umidade. O horizonte C foi pouco observado. O nível freático, em grande parte da área de estudo é relativamente superficial, pouco profundo. Exibe baixos gradientes hidráulicos, solos porosos e permeáveis. Foram observados no fundo de algumas drenagens e em pontos localizados da área investigada, rocha são aflorante (CH2O AMBIENTAL, 2018). Todo regime de circulação de fluidos da bacia sofre grande influência de marés, haja vista, que seu ponto de deságue é a Baía Norte (Figura 20).

Segundo dados fornecidos pela CASAN, a rede coletora de esgotos é constituída por tubulação de PVC (ocre, reforçado) com diâmetro de 150mm e comprimento total L=3301,49m. Na Figura 21 ilustra-se a rede de esgoto e hidrografia da área estudada.

Figura 20 – Ilustração indicando a proximidade da área de estudo com o mar.



Fonte: Autora.

Figura 21 – Rede de esgoto e hidrografia da área de estudo.



Fonte: Autora.

A rede de esgoto da bacia atende 428 economias mais o shopping. A região tem 100% de atendimento de abastecimento de água e coleta de esgoto com população atendida de 2041 habitantes. O valor foi estimado a partir do produto da taxa de ocupação domiciliar inferida do Censo de 2010 (IBGE) pelo número de economias somada à população equivalente atendida pelo shopping, relativa ao volume médio de água consumido pelo shopping no ano (Equação 8).

$$Pa = To * E + Pe_s \quad (8)$$

Onde:

$Pa$  = População atendida (hab.)

$To$  = Taxa de ocupação (hab./dom.)

$E$  = Economias (dom.)

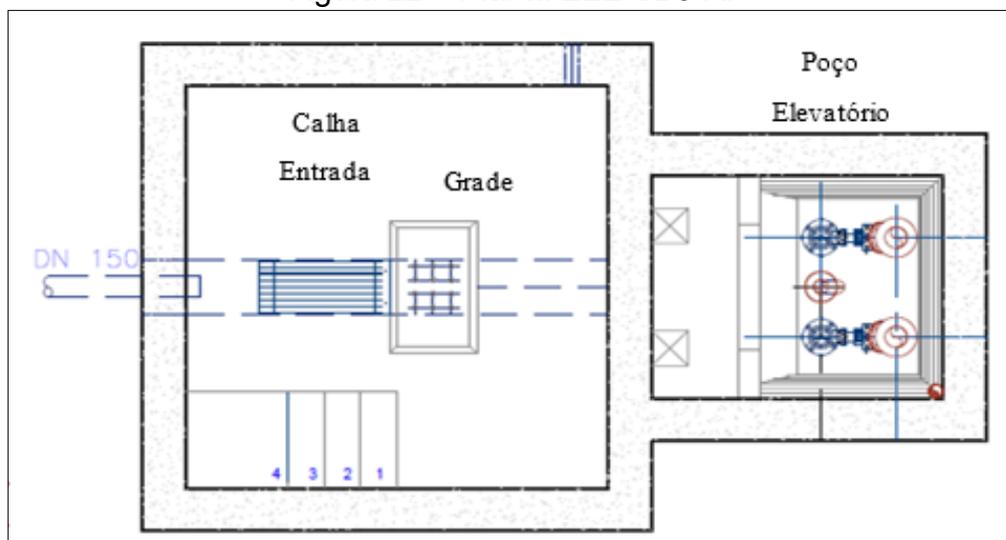
$Pe_s$  = População equivalente atendida pelo shopping (dato fornecido pela CASAN)

$$Pa = (2,83 * 428) + 830$$

$$Pa = 2041 \text{ habitantes}$$

A EEE é do tipo poço retangular, possui sistema de gradeamento com limpeza manual e duas bombas do tipo centrífuga submersível, modelo ABS Scavenger série EJ 10 BX. Na Figura 22 é possível visualizar a planta baixa da estação elevatória sem cotas.

Figura 22 – Planta EEE SB9-A.



Fonte: Adaptada de Arquivo CASAN (2018).

Na Tabela 5 apresentam-se os principais dados de projeto da estação elevatória.

Tabela 5 – Características de projeto SB9-A

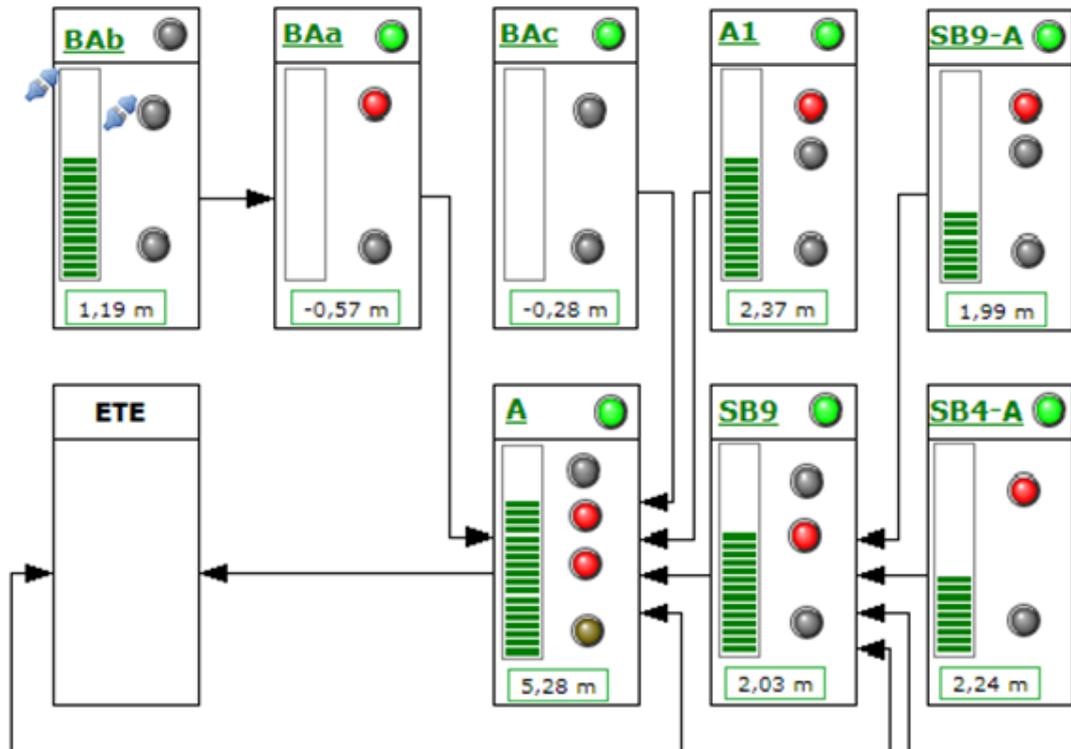
CARACTERÍSTICAS	EEE-SB9-A	UNIDADE
<b>Vazões médias</b>		
Afluente Início de plano (2000)	4,50	L.s <sup>-1</sup>
Afluente Final da 1ª Etapa (2010)	5,44	L.s <sup>-1</sup>
Final de Plano (2020)	5,86	L.s <sup>-1</sup>
Vazão de infiltração (2020)	1,12	L.s <sup>-1</sup>
<b>Vazões Máximas</b>		
Afluente Início de Plano (2000)	7,20	L.s <sup>-1</sup>
Afluente Final da 1ª Etapa (2010)	8,90	L.s <sup>-1</sup>
Final de Plano (2020)	9,66	L.s <sup>-1</sup>
<b>Dados da Elevatória</b>		
Cota do terreno regularizado	1,50	m
Cota de soleira na entrada da Elevatória	-2,55	m
Cota da geratriz superior de chegada do conduto de recalque	0,92	m
Cota de máxima de recalque	2,13	m
Cota máxima de Enchente	2,42	m
NA mínimo da Elevatória	-3,24	m
Desnível Geométrico (Hg)	5,37	m
Diâmetro interno do interceptor, na entrada da elevatória	150	mm
Diâmetro nominal do Emissário de Recalque	125	mm
Extensão total da Linha (Ano 2020)	280,0	m
Número total de conjuntos Elevatórios	1+1	
Volume do poço de sucção	3,15	m <sup>3</sup>

Fonte: Adaptada de Arquivo CASAN (2018).

O esgoto é bombeado para outras duas elevatórias (EE-SB9 e EE-A) de onde é elevado até a estação de tratamento ETE Insular (Figura 23). Na ETE o esgoto é tratado e segue para disposição final.

Dados do sistema supervisório da empresa, que fornece o monitoramento remoto e registro do histórico de operação das elevatórias, mostram que no ano anterior à pesquisa não ocorreram extravasamentos na EEE SB9-A, o que confere maior confiabilidade para os dados de medição da elevatória para a finalidade de estimativa do afluxo e infiltração.

Figura 23 – Fluxograma da EEE SB9-A.



Fonte: Sistema de Telemetria CASAN (2018).

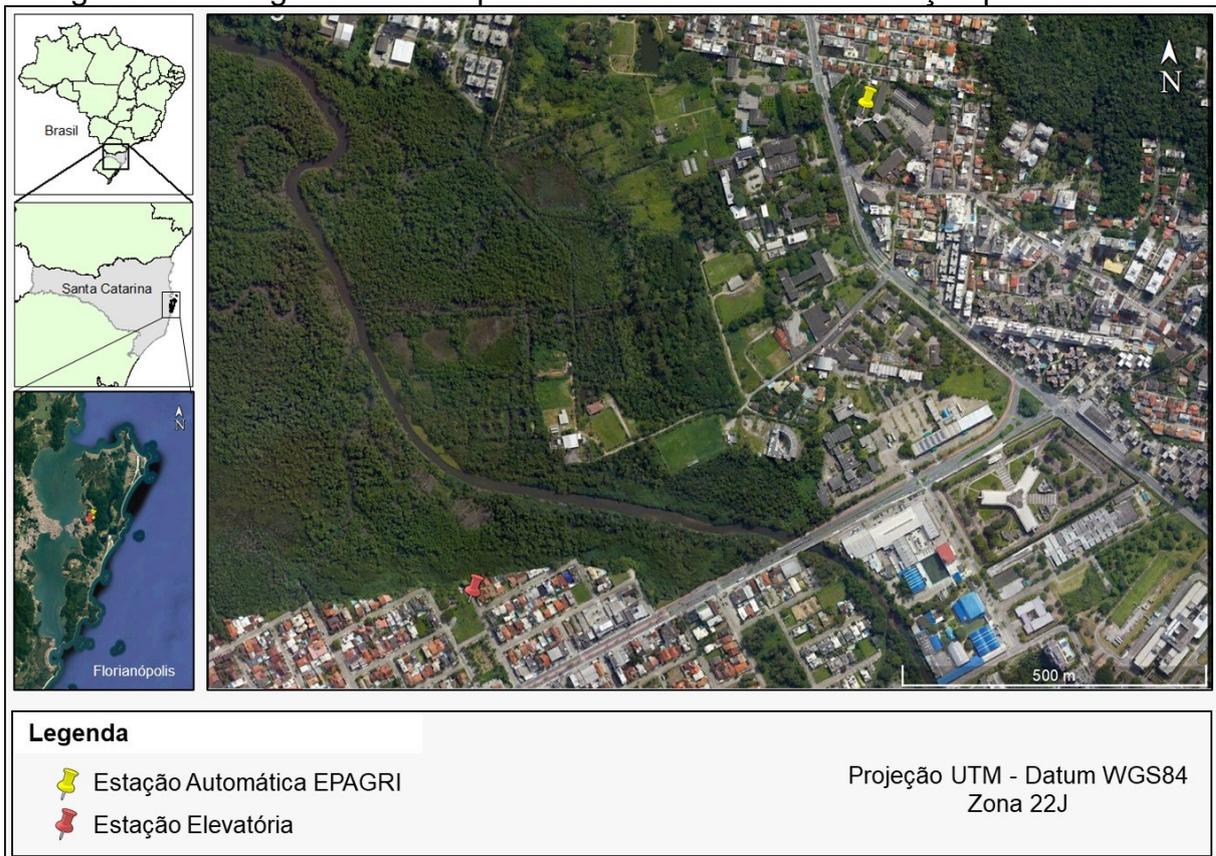
## 3.2 COLETA DE DADOS

Nos seguintes tópicos serão descritos como cada tipo de dado bruto necessário ao desenvolvimento da pesquisa foi coletado.

### 3.2.1 Coleta de dados de precipitação

Os dados pluviométricos foram coletados diariamente, durante o período de estudo, para a caracterização dos períodos de tempo e classificação dos eventos chuvosos. O pluviômetro utilizado pertence à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e é monitorado e controlado pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM) que forneceu formalmente os dados solicitados para a pesquisa. Os dados de precipitação fornecidos foram horários e diários, ambos em milímetros. O instrumento de medição localiza-se aproximadamente um quilômetro de distância do ponto de monitoramento (EEE), conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 – Imagem aérea do ponto de monitoramento e estação pluviométrica.



Fonte: Autora.

### 3.2.2 Coleta de dados de altura da maré

Os dados de altura de maré foram obtidos da Estação 2951 – Florianópolis (Sul da Ilha). De forma análoga aos dados de precipitação, o marégrafo utilizado pertence à EPAGRI e é monitorado e controlado pelo CIRAM, que forneceu formalmente os dados solicitados para a pesquisa. Os marégrafos da Epagri fazem medições automáticas dos dados do nível do mar em intervalos pré-fixados de 5 minutos e transmitidos a cada 15 minutos para um servidor localizado na sede da Epagri (EPAGRI/DEMC, 2021). Os dados de altura de maré fornecidos foram horários e em centímetros. O instrumento de medição localiza-se aproximadamente 26km de distância do ponto de monitoramento (EEE), conforme ilustrado na Figura 25.

Figura 25 – Imagem aérea do ponto de monitoramento e localização do marégrafo.



Fonte: Autora.

### 3.2.3 Coleta de dados de vazão de esgoto bombeada

Os dados de vazão de esgoto foram obtidos a partir do monitoramento da elevatória SB9-A. O monitoramento foi feito através de dados obtidos do sistema de telemetria da CASAN (Sistema Supervisório de Telemetria), o qual faz registros do funcionamento e nível da elevatória por minuto. Para determinação da vazão foi utilizada a relação da vazão média de bombeamento no período em que as bombas estiveram em funcionamento nos dias selecionados para as campanhas. A vazão média de bombeamento foi obtida através da aferição do sistema de bombeamento da elevatória, realizada pela medição direta do esgoto bombeado por meio de medidor de vazão ultrassônico, modelo DFM 5.1 da marca *Greyline*.

### 3.2.3.1 Aferição do medidor DFM

O DFM (*Doppler Flow Meter*) faz a leitura da vazão que passa na tubulação instantaneamente, bem como a vazão acumulada. O sistema funciona por tempo de trânsito de ondas ultrassônicas que são emitidas e captadas pelos sensores que são colocados em contato direto com a tubulação pelo lado de fora. O aparelho pertence à concessionária de esgoto. Como a empresa possuía apenas um medidor portátil que atendia várias demandas, não foi possível instalar o mesmo fixamente durante todo o período de estudo, sendo este, concedido apenas para realização da aferição do sistema de bombeamento.

Como o aparelho já tinha alguns anos de uso, optou-se por fazer a aferição do mesmo no local de medição. O medidor foi instalado na tubulação de saída da elevatória, uma vez que a tubulação de entrada é aterrada. Em seguida, as bombas foram desligadas e o poço elevatório enchido até um nível conhecido (enchimento total da calha de entrada), que corresponde à altura aproximada de 2,75m, denominado ponto A. Então a comporta de entrada foi completamente fechada para que não entrasse nenhuma contribuição de esgoto durante a aferição. Logo, uma bomba foi ligada até esvaziar o poço num outro nível conhecido (esvaziamento total da calha), que corresponde ao valor aproximado de 1,75m, denominado ponto B.

Tanto os valores de enchimento, quanto de esvaziamento total da calha são considerados aproximados por serem inferidos da observação do nível de enchimento da calha visualmente e comparados com o nível apresentado na telemetria. Como a telemetria atualiza de 1 em 1 minuto, esses valores de nível podem variar alguns centímetros.

O volume bombeado no período de esvaziamento do ponto A ao ponto B foi medido e registrado por minuto pelo DFM. Com as dimensões da elevatória conhecidas e os registros do nível do poço (altura decrescida) fornecidos pelo sistema Supervisório, pôde-se inferir o volume acumulado, em metros cúbicos por minuto, e comparar com o volume acumulado dado pelo medidor. Para a determinação do volume da elevatória foram somados o volume do poço (Equação 9) e o volume da calha de entrada (Equação 10).

$$V1 = l1 * b1 * hdec \quad (9)$$

Onde:

$V1$  = volume do poço ( $m^3$ )

$l1$  = lado do poço (2m)

$b1$  = base do poço (1,6m)

$hdec$  = altura decrescida (m)

$$V2 = l2 * b2 * hdec$$

(10)

Onde:

$V2$  = volume da calha de entrada ( $m^3$ )

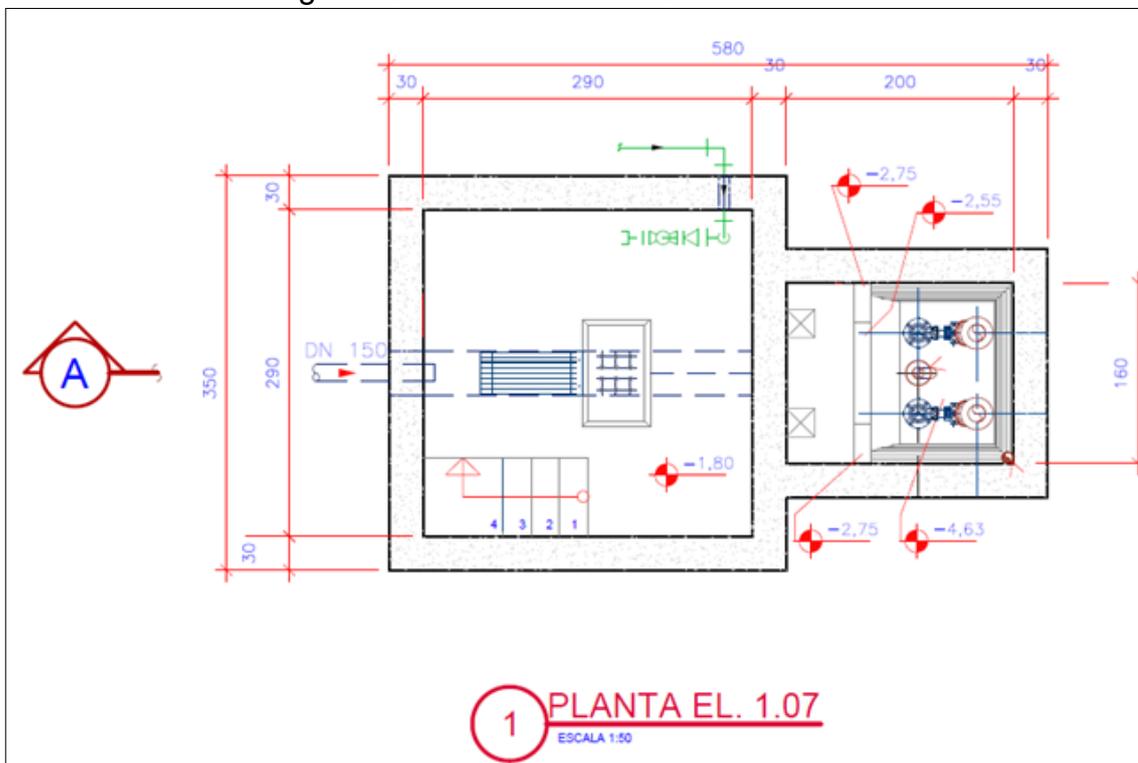
$l2$  = lado da calha (3,5m)

$b2$  = base da calha (0,4m)

$hdec$  = altura decrescida (m)

As dimensões foram medidas no local e confirmadas na planta (Figura 26).

Figura 26 – Planta EEE SB9-A com cotas.



Fonte: Adaptada de Arquivo CASAN (2018).

Nas Figura 27 e Figura 28 ilustram-se o aparelho utilizado e o local de medição e instalação do medidor.

Figura 27 – Medidor de Vazão.



Fonte: Autora.

Figura 28 – Instalação do medidor.



Fonte: Autora.

Na Figura 27 à esquerda o aparelho dentro da maleta com o gel e cabos, e à direita o aparelho com o valor de vazão zerado. Na Figura 28 os passos para instalação, incluindo a demarcação na tubulação, colocação e ajuste da alça metálica, colocação do gel e posicionamento do sensor Doppler.

### 3.2.3.2 *Aferição do sistema de bombeamento*

Como o Sistema Supervisório de Telemetria da autarquia faz apenas registros do funcionamento das bombas (liga e desliga) e do nível do poço por minuto, foi necessário realizar uma aferição do sistema de bombeamento com o objetivo de converter os dados históricos existentes de tempo de funcionamento das bombas e nível do poço em vazão de bombeamento de esgoto para a ETE.

O objetivo foi registrar a vazão bombeada por minuto com o DFM dentro do intervalo de funcionamento para definir uma vazão média de bombeamento. Após definido o intervalo médio de funcionamento, foi realizada uma limpeza na elevatória e bombas. O medidor de vazão já calibrado foi instalado na tubulação de saída da EEE. Utilizou-se o mesmo princípio adotado na calibração do medidor, em que o poço foi enchido até um nível conhecido com as bombas desligadas. Desta vez além de ligar a B1 e depois a B2, também foram realizados dois ensaios com a B1 e B2 ligadas ao mesmo tempo. Como o intervalo médio de funcionamento se aproximou do nível de enchimento e esvaziamento da calha de entrada, utilizou-se dois ensaios feitos na calibração (B1T1 e B2T1) também para aferição, dessa forma aferindo a vazão instantânea de bombeamento em vez do volume decrescido. Em outros dois dias foram realizados os demais ensaios de aferição, que são apresentados no item 4.1.3 (Tabela 9).

Foi feita a medição da vazão bombeada por minuto, nesses intervalos médios de funcionamento com o DFM. As vazões médias de bombeamento por minuto, nos intervalos médios de funcionamento de cada bomba (B1 e B2) e, ambas funcionando conjuntamente (B1+B2), foram assumidas para determinação das vazões nos períodos selecionados para o estudo.

### 3.3 ANÁLISES E TRATAMENTO DOS DADOS

#### 3.3.1 Análises de DQO

Foram selecionadas três campanhas com períodos sem incidência prévia de precipitação pluviométrica significativa ( $P > 4\text{mm}$ ) por pelo menos sete dias consecutivos. Isto visa garantir a menor interferência possível de resquícios de água de chuva sob forma de afluxos com atraso de tempo. Em cada campanha foram coletadas 24 amostras durante 24 horas que caracterizaram a concentração horária do esgoto ao longo do dia, em termos de DQO. Nos dias de coleta de efluente foi medida a salinidade horária com o objetivo de isolar esse interferente. Caso a salinidade medida resultasse em valor superior a 2ppm, a coleta era suspensa e remarcada. As amostras foram colocadas em frascos de Winkler de 300ml, acondicionadas em caixa térmica com gelo e levadas para o refrigerador do Laboratório de Águas Urbanas e Técnicas Compensatórias da UFSC. Nos dias seguintes às coletas, foram efetuadas as análises de DQO. O método de análise foi o de refluxo fechado, feito em triplicata, de acordo com o *Standard Methods* (APHA, 1998).

#### 3.3.2 Tratamento dos dados

Os dados foram analisados, tratados e automatizados numa rotina simples em software amplamente difundido a fim de facilitar a replicação em outros sistemas. Como descrito anteriormente, o sistema Supervisório fornece dados de “liga e desliga” da bomba por minuto. Para transformar estes valores em dados de vazão foi preciso somar os períodos em que as bombas permaneceram ligadas, e associar tais períodos com a vazão de bombeamento aferida. Foi utilizado o software Excel para auxiliar no tratamento desses dados, bem como os dados de precipitação e nível do mar.

#### 3.3.3 Avaliação da interferência da maré

Para evitar a salinidade nas amostras que foram analisadas em termos de DQO, considerou-se o valor da altura da maré para agendar a coleta. Nos dias

17/05/2018 e 29/05/2018 foi utilizado um salinômetro digital, para medir a salinidade horária das amostras coletadas para análise de DQO. Os resultados de salinidade foram confrontados com os valores de altura de maré horária e apresentados graficamente. A partir desses resultados determinou-se uma altura de maré limite para as coletas, de modo a evitar a interferência da salinidade na amostra. Não foi possível a medição horária da salinidade em todas as coletas devido a indisponibilidade do equipamento, que pertencia a CASAN e estava sendo demandado para outras coletas da empresa.

Num segundo momento da pesquisa optou-se por fazer a análise da interferência da maré no sistema com uma série de dados anual de altura de maré. Como o sistema supervisorio da CASAN não disponibilizava dados pretéritos superiores a 1 ano; optou-se por fazer essa análise no período de 29/12/2020 a 29/12/2021, no qual haveria a disponibilidade da série completa de dados da elevatória. Baseado nos resultados preliminares de 2018, de altura de maré interferente no sistema, classificou-se os eventos com altura de maré superior a 1m; sem precipitação no dia e com pelo menos dois dias anteriores com  $P=0$ . Inicialmente o objetivo foi adotar, para o período seco, a mesma classificação adotada na determinação da infiltração, a fim de isolar o afluxo com retardo de tempo. Porém não ocorreram eventos de maré alta com mais de 5 dias anteriores sem precipitação pluviométrica. Sendo assim, optou-se por avaliar graficamente diferentes cenários de precipitação e altura de maré elevada a fim de investigar a interferência da maré afluyente à elevatória.

Os dados de altura de maré horária foram confrontados com os dados de nível da elevatória por minuto. Os dados de nível foram fornecidos pela CASAN, e os dados de altura de maré pela EPAGRI/CIRAM.

#### 3.4 QUANTIFICAÇÃO DO ADP E INFILTRAÇÃO

A quantificação do ADP e infiltração envolveram metodologias distintas apresentadas a seguir.

### 3.4.1 Quantificação do Afluxo

Para a quantificação do ADP foi utilizada a metodologia proposta por Metcalf e Eddy (2016), conforme previamente descrito no referencial teórico, na qual o afluxo é medido considerando a diferença entre o volume acumulado em um dia chuvoso significativo e o volume acumulado em período seco (Equação 7), utilizando os dados de vazão e precipitação tratados. Os parâmetros adotados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros adotados para quantificação do ADP.

Parâmetro	Descrição	Unidade
Dia chuvoso significativo	Precipitação > 10	mm
Dia seco	Precipitação < 4	mm
Período seco	7 dias secos	mm
Vchuva	Volume acumulado do esgoto em um dia chuvoso significativo	m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup>
Vseco	Média aritmética dos três últimos dias que antecederem o dia chuvoso significativo	m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup>
ADP	Vchuva - Vseco	m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup>

Fonte: Autora.

O volume do período seco (Vseco) adotado assumiu a adaptação feita por Lamim e Sezerino (2012), e correspondeu a média aritmética dos três últimos dias que antecederem o evento chuvoso significativo com uma permanência mínima de sete dias secos anteriores ao dia chuvoso significativo. Por conta das características da região de estudo, onde são raríssimos períodos prolongados sem chuva seguidos de 1 dia de precipitação intensa, fez-se uma adaptação no período de tempo seco. Assumiu-se a classificação proposta por Metcalf & Eddy (2016), que classifica dia seco como dia com precipitação até 4mm. Então o volume do período seco correspondeu à média aritmética dos volumes diários dos três últimos dias que antecederam o evento chuvoso significativo ( $P > 10\text{mm}$ ) com uma permanência mínima de sete dias anteriores de dias secos ( $P < 4\text{mm}$ ).

O volume do esgoto foi medido em m<sup>3</sup> diário através do monitoramento diário das horas de funcionamento do sistema de bombeamento. E cada evento válido (Vseco) dentro do período seco foi subtraído do volume diário de esgoto do dia chuvoso significativo associado a esse período.

Para determinação da taxa de contribuição de ADP na rede coletora foi feita a divisão da ADP calculada pelo comprimento total da rede, conforme a Equação 11.

$$IADP = \frac{ADP}{L} \quad (11)$$

Onde

IADP = Taxa de contribuição de ADP ( $L \cdot s^{-1} \cdot km^{-1}$ )

ADP = Afluxo devido à precipitação ( $L \cdot s^{-1}$ )

L = Comprimento total da rede (3,3 km)

### 3.4.2 Quantificação da Infiltração

A quantificação da infiltração foi determinada segundo a metodologia das vazões mínimas noturnas com estimativa da concentração de DQO proposta por Hanai e Campos (1997) e adaptada por Lamin e Sezerino (2012), conforme descrito no referencial. Os dados de vazão e concentração de DQO foram analisados, tratados e aplicados conforme a Equação 6.

As etapas metodológicas para obtenção de cada termo da equação foram:

- i. DQOmédia: Foi analisado o histórico de vazão bombeada da elevatória a fim de se determinar o período noturno ideal de menor vazão afluyente. A concentração média de DQO do esgoto nesse período correspondeu a DQOmédia ( $mgO_2 \cdot L^{-1}$ ).
- ii. DQOesg: Para a determinação da DQOesg, por sua vez, foi analisado no histórico de nível o período com maior vazão afluyente; e medida a concentração média de DQO ( $mgO_2 \cdot L^{-1}$ ) nesse período.
- iii. DQOinf: Como os valores de concentração de DQO de esgoto doméstico são geralmente elevados, a concentração de DQO das águas de infiltração foi considerada nula.
- iv. Qesg e Qinf: A soma da vazão do esgoto puro com a vazão de infiltração correspondeu ao menor valor de vazão medida no período noturno ( $L \cdot s^{-1}$ )

### 3.4.3 Determinação do coeficiente de infiltração

A determinação do coeficiente de infiltração será feita dividindo-se a vazão de infiltração estimada pelo comprimento total da rede da bacia avaliada, de acordo com a Equação 12.

$$i = \frac{Q_{inf}}{L} \quad (12)$$

Onde

$i$  = Coeficiente de infiltração ( $L \cdot s^{-1} \cdot km^{-1}$ )

$Q_{inf}$  = Vazão de infiltração ( $L \cdot s^{-1}$ )

$L$  = Comprimento total da rede (3,3 km)

## 3.5 ANÁLISE QUALITATIVA

Os métodos qualitativos geralmente envolvem esvaziamento da rede ou entrada nos imóveis para que sejam realizados. Por este motivo, para a presente pesquisa, tanto o teste de fumaça quanto a vídeo inspeção foram realizados em apenas um ponto para fins de amostragem local. No que concerne o teste de corante, foram sistematizados dados de testes realizados pela concessionária em anos anteriores (2008 a 2014). Por não dotarem de normativa reconhecida para sua execução, os testes foram realizados de acordo com procedimento operacional padrão desenvolvido internamente pela concessionária baseado em manuais dos fornecedores e conhecimento empírico.

### 3.5.1 Teste de Fumaça

Foi realizado um teste no último poço de visita a montante da elevatória. O aparelho utilizado pertence a concessionária. O insuflador é do modelo Power Smoker – SMK 18 da fabricante *Hurco Technologies*. O teste foi realizado conjuntamente com a pesquisadora e um funcionário da empresa.

### **3.5.2 Inspeção por Vídeo**

Para a vídeo inspeção foi escolhido o poço de visita (PV) de esquina mais próximo à elevatória. O equipamento utilizado é a câmera de vídeo inspeção da marca Sondeq, cedida pela CASAN. O teste foi realizado entre meia noite e 1h da manhã, quando a vazão é geralmente mais baixa e foi colocado um balão na rede a fim de evitar entrada de esgoto e viabilizar a filmagem.

### **3.6 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS**

Um dos objetivos desta pesquisa foi realizar um levantamento das medidas de redução de contribuições indevidas no sistema estudado e sugestões de melhorias. Além da comparação dos resultados obtidos com os estudos disponíveis no Brasil e no mundo, foram sugeridas ações de melhoria a partir dos resultados qualitativos e quantitativos.

## **4 RESULTADOS**

Os resultados obtidos para efetivação do objetivo geral e específicos do trabalho foram demonstrados através dos seguintes elementos:

- i. Vazão de esgoto bombeado;
- ii. Valores de sobrecarga de afluxo devido à precipitação na rede de esgoto sanitário e do coeficiente de infiltração;
- iii. Dados que demonstrem a interferência da maré na bacia;
- iv. Levantamento de medidas de redução das contribuições indevidas e de sugestões de melhorias no sistema avaliado.

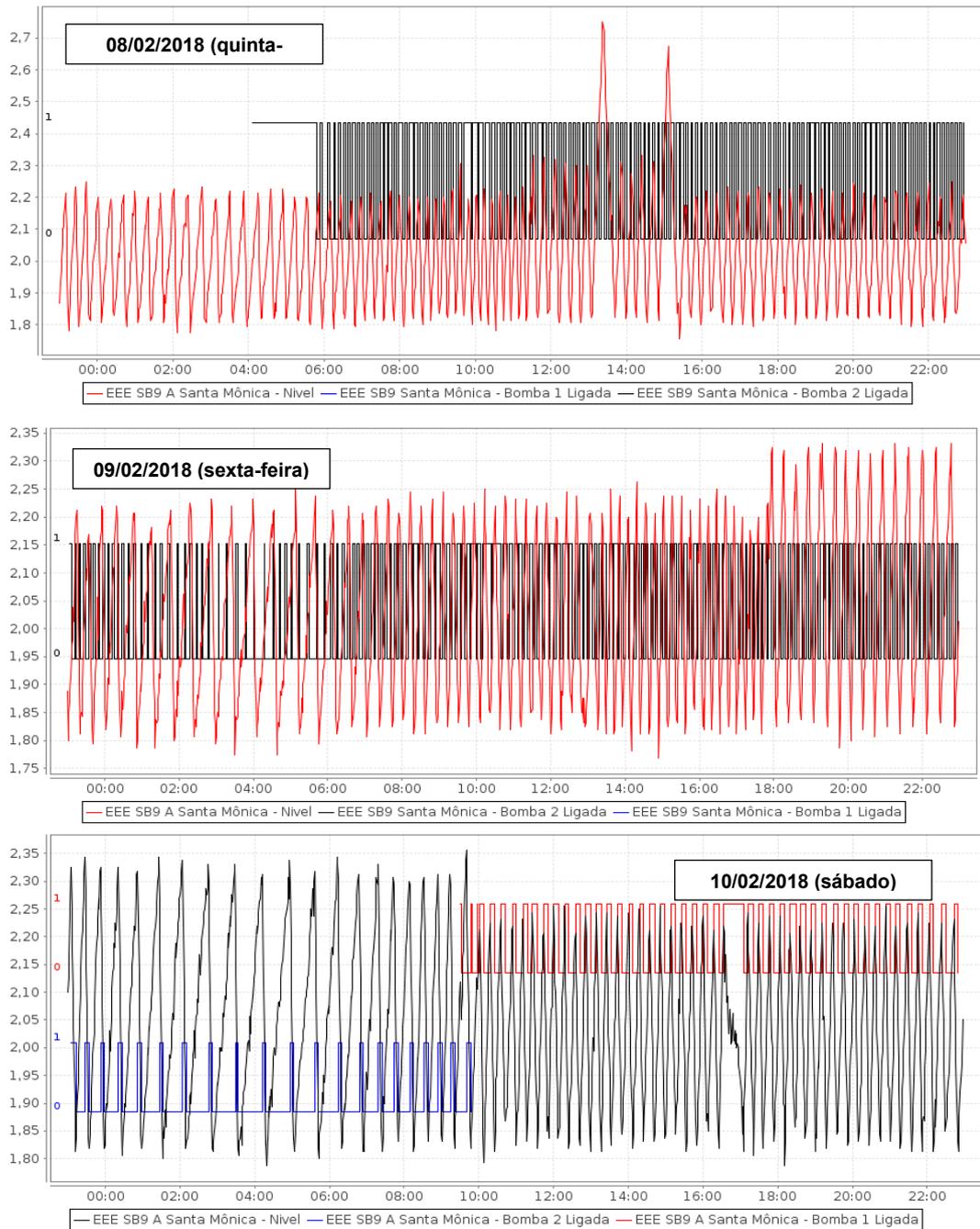
### **4.1 VAZÃO DE ESGOTO BOMBEADO**

#### **4.1.1 Análise do histórico de nível e determinação do intervalo médio de funcionamento das bombas**

Para os testes de aferição do medidor e do sistema de bombeamento, foi analisado o histórico de nível médio diário de funcionamento das bombas, obtendo-se

um intervalo médio entre 1,7m e 2,7m. Esse comportamento é ilustrado na Figura 29, de onde apresenta-se um exemplo de 3 dias de tempo seco com dois dias durante a semana e 1 sábado, a fim de demonstrar uma amostra representativa do comportamento diário das bombas.

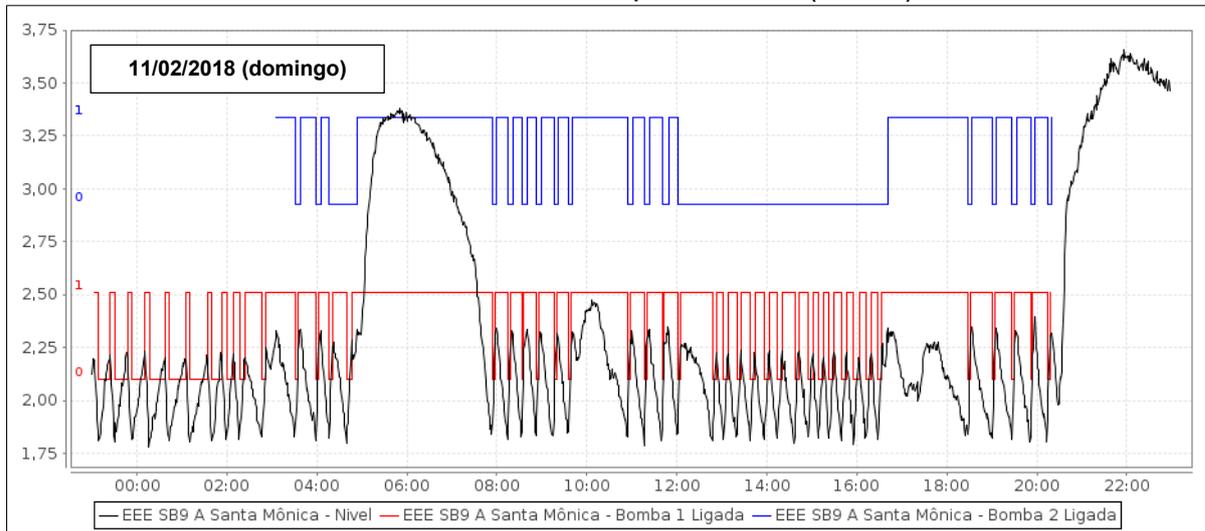
Figura 29 – Nível de esgoto no poço de bombeamento e acionamento da elevatória SB9 em tempo seco (m/min)



Fonte: Sistema de Telemetria CASAN.

Apresenta-se na Figura 30, outro exemplo ilustrativo do comportamento da elevatória, dessa vez em um evento chuvoso, com precipitação diária de 42mm.

Figura 30 – Nível de esgoto no poço de bombeamento e acionamento da elevatória SB9 em tempo chuvoso (m/min)



Fonte: Sistema de Telemetria CASAN.

Nota-se que no evento do dia 11/02/2018 o nível de acionamento da bomba 2 ficou acima de 3,3m; isso ocorreu devido a precipitação intensa no dia, já dando indicativos da interferência da água da chuva no sistema. Porém não foi possível incluir essa abrangência no valor médio de funcionamento, uma vez que as bombas precisariam ficar muitas horas desligadas para que o nível do poço ultrapassasse os 3,0m durante os testes de calibração e aferimento. O teste também não poderia ser realizado em um dia chuvoso; uma vez que, haveria risco de extravasamento a montante.

A análise do histórico de nível da elevatória demonstra a susceptibilidade da bacia de esgotamento às sobrecargas em eventos de precipitações efetivas. Observa-se o aumento quase imediato do nível do poço elevatório nos horários em que a precipitação é mais acentuada. Definido o intervalo médio de funcionamento (1,7 a 2,7 m), pôde-se dar seguimento aos testes.

#### 4.1.2 Aferição do medidor

Nas Tabela 7 e Tabela 8 são apresentados os dados dos testes para aferição realizados com a Bomba 1 (B1) e com a Bomba 2 (B2), respectivamente.

Tabela 7 – Testes de aferição do medidor - Bomba 1.

	Hora	Nível	hdec	V1	V2	V1-2	Vacm	VacmDFM
	(h)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )				
<b>(B1) Bomba 1</b>	<b>Teste 1</b>							
	11:20	2,76	0	0	0	0	0	0
	11:21	2,65	0,11	0,352	0,154	0,506	0,506	0,650
	11:22	2,50	0,15	0,480	0,210	0,690	1,196	1,354
	11:23	2,39	0,11	0,352	0,154	0,506	1,702	2,052
	11:24	2,26	0,13	0,416	0,182	0,598	2,300	2,754
	11:25	2,09	0,17	0,544	0,238	0,782	3,082	3,434
	11:26	1,96	0,13	0,416	0,182	0,598	3,680	4,125
	11:27	1,81	0,15	0,480	0,210	0,690	4,370	4,778
	<b>Teste 2</b>							
	18:46	2,77	0	0	0	0	0	0
	18:47	2,71	0,06	0,192	0,084	0,276	0,276	0,526
	18:48	2,63	0,08	0,256	0,112	0,368	0,644	1,103
	18:49	2,49	0,14	0,448	0,196	0,644	1,288	1,501
	18:50	2,41	0,08	0,256	0,112	0,368	1,656	1,974
	18:51	2,31	0,1	0,32	0,14	0,46	2,116	2,523
	18:52	2,17	0,14	0,448	0,196	0,644	2,76	3,070
	18:53	2,06	0,11	0,352	0,154	0,506	3,266	3,614
	18:54	1,98	0,08	0,256	0,112	0,368	3,634	4,116
	18:55	1,85	0,13	0,416	0,182	0,598	4,232	4,630
18:56	1,78	0,07	0,224	0,098	0,322	4,554	5,125	

Legenda: Hora = horário registrado pela telemetria e disponível no sistema supervisorio; Nível = nível medido registrado pela telemetria e disponível no sistema supervisorio; hdec = altura decrescida por minuto; V1 = volume do poço; V2 = volume da calha; V1-2 = soma de V1 e V2; Vacm = volume acumulado por minuto calculado; VacmDFM = volume acumulado por minuto registrado pelo medidor.

Fonte: Autora.

Pode-se observar que o nível do poço da elevatória baixou em tempos distintos. O primeiro teste com a Bomba 1 foi realizado no dia 24/04/2018 e os demais testes no dia 11/06/2018. No primeiro dia, o nível reduziu o intervalo desejado em 7 minutos. No segundo dia entre 9 e 10 minutos. É possível que essa diferença se dê pela condição das bombas, uma vez que no dia do primeiro teste também foi realizada a limpeza destas. No evento dos demais testes não foi feita limpeza prévia, o que pode ter interferido no rendimento das bombas; no entanto, se aproxima mais da realidade de funcionamento delas.

Tabela 8 – Testes de aferição do medidor - Bomba 2.

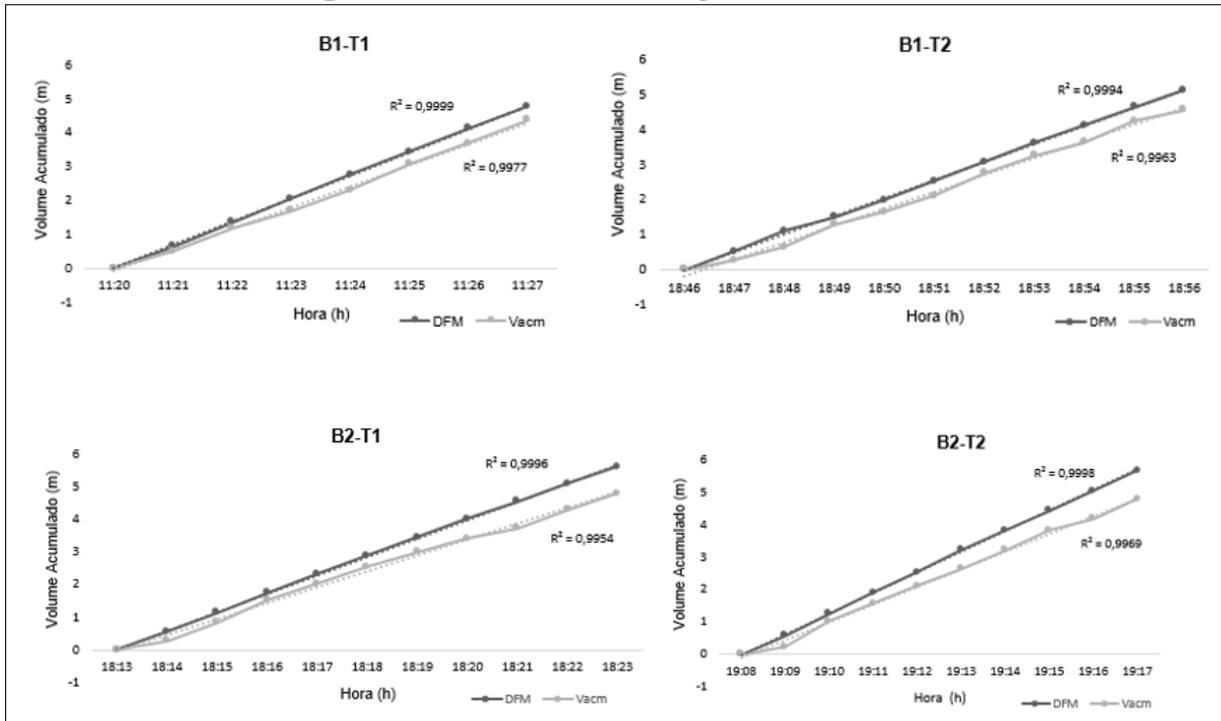
	Hora	Nível	hdec	V1	V2	V1-2	Vacm	VacmDFM
	(h)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )				
<b>(B2) Bomba 2</b>	<b>Teste 1</b>							
	18:13	2,77	0	0	0	0	0	0
	18:14	2,71	0,06	0,192	0,084	0,276	0,276	0,544
	18:15	2,59	0,12	0,384	0,168	0,552	0,828	1,128
	18:16	2,44	0,15	0,48	0,21	0,69	1,518	1,731
	18:17	2,33	0,11	0,352	0,154	0,506	2,024	2,317
	18:18	2,22	0,11	0,352	0,154	0,506	2,53	2,889
	18:19	2,12	0,1	0,32	0,14	0,46	2,99	3,446
	18:20	2,03	0,09	0,288	0,126	0,414	3,404	3,999
	18:21	1,96	0,07	0,224	0,098	0,322	3,726	4,536
	18:22	1,84	0,12	0,384	0,168	0,552	4,278	5,096
	18:23	1,73	0,11	0,352	0,154	0,506	4,784	5,598
	<b>Teste 2</b>							
	19:08	2,78	0	0	0	0	0	0
	19:09	2,73	0,05	0,160	0,07	0,230	0,23	0,582
	19:10	2,56	0,17	0,544	0,238	0,782	1,012	1,242
	19:11	2,44	0,12	0,384	0,168	0,552	1,564	1,896
	19:12	2,32	0,12	0,384	0,168	0,552	2,116	2,534
	19:13	2,21	0,11	0,352	0,154	0,506	2,622	3,214
	19:14	2,08	0,13	0,416	0,182	0,598	3,22	3,832
	19:15	1,95	0,13	0,416	0,182	0,598	3,818	4,441
	19:16	1,87	0,08	0,256	0,112	0,368	4,186	5,046
	19:17	1,74	0,13	0,416	0,182	0,598	4,784	5,661

Legenda: Hora = horário registrado pela telemetria e disponível no sistema supervisorio; Nível = nível medido registrado pela telemetria e disponível no sistema supervisorio; hdec = altura decrescida por minuto; V1 = volume do poço; V2 = volume da calha; V12 = soma de V1 e V2; Vacm = volume acumulado por minuto calculado; VacmDFM = volume acumulado por minuto registrado pelo medidor.

Fonte: Autora.

Na Figura 31 ilustra-se o comportamento do volume acumulado ao longo do tempo, tanto o calculado quanto o aferido pelo medidor DFM. Através dos resultados numéricos, análise dos gráficos e valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), todos acima de 0,99, foi possível validar a calibração e prosseguir com a utilização do medidor na aferição do sistema de bombeamento.

Figura 31 - Gráficos de aferição do medidor.



Legenda: B1 = Bomba 1; B2 = Bomba 2; T1 = Teste 1; T2 = Teste 2; Vacm = volume acumulado por minuto calculado; DFM = volume acumulado por minuto registrado pelo medidor.

Fonte: Autora.

Esses testes serviram para validar o uso do aparelho medidor, verificando se os dados de medição do aparelho eram compatíveis com os dados calculados a partir das dimensões e dados de nível da elevatória. Através dos resultados numéricos, análise dos gráficos e valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), todos acima de 0,99, foi possível validar a aferição e prosseguir com a utilização do medidor na aferição do sistema de bombeamento.

#### 4.1.3 Determinação das vazões médias de bombeamento – aferição das bombas

As medições realizadas são apresentadas na Tabela 9. As vazões médias obtidas foram de  $554,70 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  para a bomba 1;  $636,12$  para a bomba 2 e  $806,64$  para a associação das duas bombas. Observou-se um desvio padrão menor do que 0,5 para as bombas em separado indicando pequena variabilidade da vazão durante as medições. O desvio padrão foi um pouco mais alto em um dos testes com as bombas operando associadas chegando à ordem de 0,9, indicando maior variabilidade da vazão bombeada quando as bombas funcionam em associação.

Tabela 9 – Aferição da vazão de bombeamento das Bombas 1, 2 e associação.

	Teste 1			Teste 2			
	Hora (h)	Nível (m)	Qi (L.s <sup>-1</sup> )	Hora (h)	Nível (m)	Qi (L.s <sup>-1</sup> )	Qm (L.min <sup>-1</sup> )
(B1) Bomba 1	18:49	2,49	9,54	11:14	2,51	10,00	
	18:50	2,41	9,42	11:15	2,43	9,89	
	18:51	2,31	9,14	11:16	2,33	9,81	
	18:52	2,17	8,98	11:17	2,16	9,69	
	18:53	2,06	8,79	11:18	2,11	9,42	
	18:54	1,98	8,68	11:19	1,99	9,39	
	18:55	1,85	8,39	11:20	1,87	9,17	
	18:56	1,78	8,33	11:21	1,75	9,19	
	<b>Média</b>		8,91			9,57	
<b>DesvioP</b>		0,4			0,3		
(B2) Bomba 2	19:10	2,56	10,94	11:32	2,52	11,45	
	19:11	2,44	10,94	11:33	2,48	11,48	
	19:12	2,32	10,57	11:34	2,37	11,11	
	19:13	2,21	10,48	11:35	2,22	10,84	
	19:14	2,08	10,35	11:36	2,11	10,72	
	19:15	1,95	10,13	11:37	1,96	10,49	
	19:16	1,87	9,90	11:38	1,81	10,35	
	19:17	1,74	9,80	11:39	1,73	10,00	
	<b>Média</b>		10,392			10,81	
<b>DesvioP</b>		0,4			0,5		
(B1+B2) Bombas 1 e 2	11:54	2,53	14,22	12:18	2,54	14,65	
	11:55	2,43	13,92	12:19	2,42	13,71	
	11:56	2,27	13,69	12:20	2,24	13,56	
	11:57	2,11	13,32	12:21	2,08	13,02	
	11:58	1,92	13,22	12:22	1,91	12,65	
	11:59	1,72	13,11	12:23	1,73	12,21	
	<b>Média</b>		13,58			13,30	
<b>DesvioP</b>		0,4			0,9		

Legenda: Nível = nível medido automaticamente no poço de bombeamento e disponível no sistema supervisorio da companhia operadora; Qi = vazão instantânea medida com medidor ultrassônico; Qm = vazão média de bombeamento.

Fonte: do Autora.

Esses valores permitem, com pequena margem de erro, inferir a vazão que de fato circula no sistema, sem a necessidade de uma medição direta, usando somente o que já estava disponível na operação do sistema na companhia operadora. Desta forma, a metodologia poderia ser usada em várias sub-bacias fornecendo um excelente indicativo dos valores de infiltração de toda a cidade.

A aferição foi realizada a fim de obter valores mais próximos da realidade, uma vez que a opção de usar a vazão teórica da bomba se distancia da vazão real por fatores como tempo de uso, desgaste das bombas e condições locais. Além disso, não foi possível obter esse dado de vazão teórica com a CASAN.

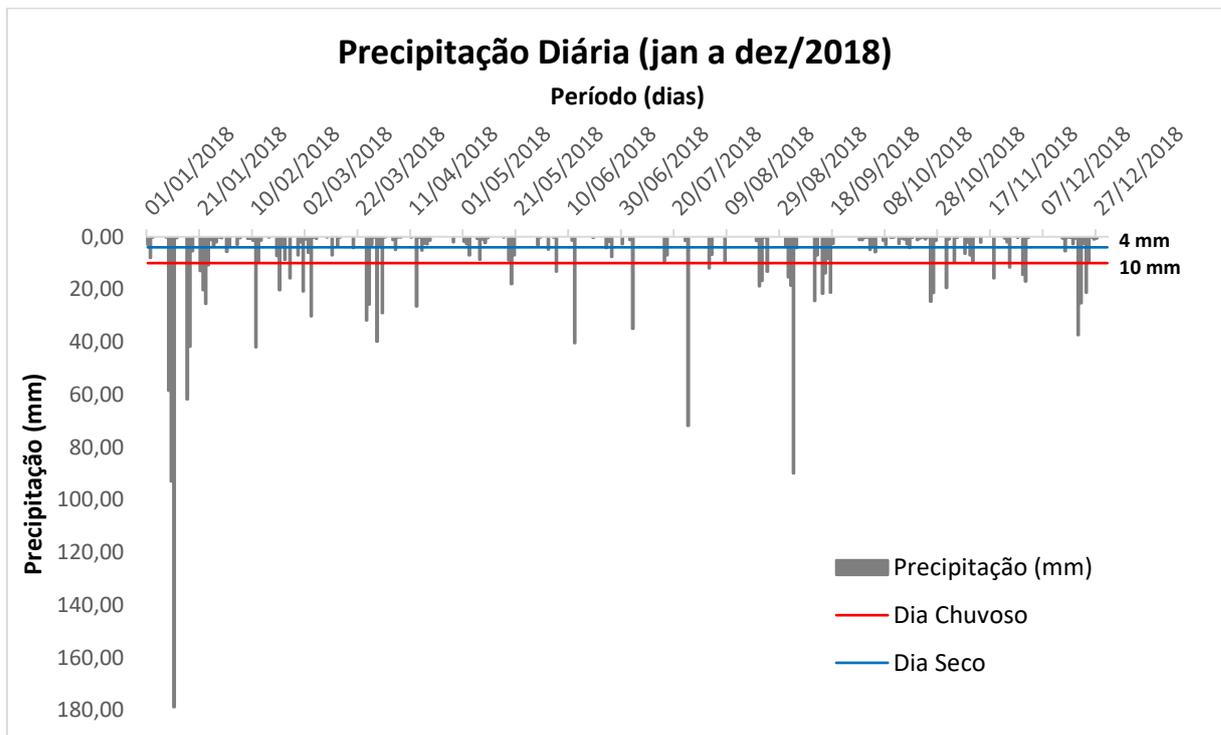
Multiplicando-se o tempo (em minutos) de funcionamento das bombas pelas vazões médias de bombeamento, foi possível obter os volumes diários de esgoto para a determinação do ADP.

## 4.2 ADP E COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO

### 4.2.1 Dados de precipitação e seleção dos eventos

Na Figura 32 apresenta-se o histograma de precipitações pluviométricas no período de estudo do afluxo devido à precipitação.

Figura 32 – Histograma de precipitações no período de estudo do ADP.



Fonte: Autora.

Observa-se que ocorreram vários eventos de precipitação acima de 10 mm/dia, uma característica da ilha de Santa Catarina. Destaca-se um evento de chuva intensa em janeiro, com precipitação acima de 170 mm.

Conforme descrito previamente, na metodologia, foram utilizados os dados de precipitação diária para seleção dos eventos de tempo seco e chuvoso. Para a quantificação do ADP foram classificados três eventos válidos (Tabela 11). No Evento

A, em fevereiro, foi comparado o volume do esgoto bombeado do dia 11, com Pdiária = 42 mm; com a média do volume de esgoto bombeado dos dias 08, 09 e 10/2018. Seguindo a mesma metodologia para os demais eventos selecionados.

Para a quantificação do Infiltração também foram classificadas três campanhas válidas (Tabela 10). Reiterando que, diferentemente do ADP, para determinação da infiltração é preciso que o dia escolhido para amostragem seja seco (P>4mm) com pelo menos sete dias anteriores também de dias secos para reduzir interferência do afluxo devido a precipitação e isolar a infiltração.

Tabela 10 – Campanhas selecionadas para Infiltração.

<b>Campanha A – abril de 2018</b>								
Dia do Mês	17	18	19	20	21	22	23	24
Dia da Semana	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter
P diária (mm)	2,8	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Campanha B – maio de 2018</b>								
Dia do Mês	22	23	24	25	26	27	28	29
Dia da semana	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter
P diária (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2
<b>Campanha C – junho de 2018</b>								
Dia do Mês	14	15	16	17	18	19	20	21
Dia da Semana	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui
P diária (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0

Legenda: Pdiária = precipitação pluviométrica diária; Seg = segunda-feira; Ter = terça-feira; Qua = quarta-feira; Qui = quinta-feira; Sex = sexta-feira; Sab = sábado; Dom = domingo.

Fonte: Autora.

Os dias para amostragens de DQO horária selecionados foram: 24/04/2018, 29/05/2018 e 21/06/2018. Foram feitas outras tentativas de coletas em dias que atendiam a metodologia adotada, porém ocorreram precipitações ou salinidade elevada na amostra ao longo do dia. É importante alertar para esse limitante, principalmente quando se trata de uma região com pluviosidade elevada e insular com efeito de maré. Além disso, nesse dia o pesquisador deve estar disponível para

permanecer 24 horas no local para fazer as coletas, caso não possua um amostrador automático.

#### 4.2.2 Afluxo devido à precipitação

Para cada evento selecionado, multiplicou-se a vazão média de bombeamento definida no item 4.1.3 pelo tempo de funcionamento de cada bomba e obteve-se os volumes diários de esgoto bombeado (Tabela 11).

Tabela 11 – Características dos eventos de precipitação A, B e C, volumes diários, ADP calculado e taxa de contribuição de ADP.

	Data (dia da semana)	Pdiária (mm)	Tempo (B1) (min)	Tempo (B2) (min)	Tempo (B1+B2) (min)	Vtotal (m <sup>3</sup> )	Vmédio tempo seco (m <sup>3</sup> )	ADP (m <sup>3</sup> )	Taxa de contribuição de ADP (L.s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup> )
EVENTO A	4/2/18 (D)	3							
	5/2/18 (S)	0,5							
	6/2/18 (T)	0							
	7/2/18 (Q)	0							
	8/2/18 (Q)	0,8		716		455,35			
	9/2/18 (S)	0,8		624		396,93			
	10/2/18 (S)	1,5	345	126		271,52	374,60		
11/2/18 (D)	42	354	0	720	777,14		402,54	1,41	
EVENTO B	6/4/18 (S)	0,3							
	7/4/18 (S)	0,3							
	8/4/18 (D)	0							
	9/4/18 (S)	0							
	10/4/18 (T)	0	484			268,47			
	11/4/18 (Q)	0,3	413			229,09			
	12/4/18 (Q)	0	418	1	6	237,34	244,96		
13/4/18 (S)	26,5	362	0	304	446,0		201,05	0,70	
EVENTO C	18/7/18 (Q)	0							
	19/7/18 (Q)	0							
	20/7/18 (S)	0							
	21/7/18 (S)	0							
	22/7/18 (D)	0	433			240,18			
	23/7/18 (S)	0	441			244,62			
	24/7/18 (T)	1,6	484			268,47	251,09		
25/7/18 (Q)	71,8	191	0	837	781,10		530,01	1,86	

Legenda: Pdiária = precipitação pluviométrica diária; Tempo (Bn) = tempo de funcionamento da bomba n; (B1) = Bomba 1; (B2) = Bomba 2; (B1+B2) = Associação bombas 1 e 2; Vtotal = volume total de esgoto bombeado no respectivo tempo de bombeamento; Vmédio tempo seco = média do volume dos 3 dias consecutivos antecedentes ao dia do evento; ADP = volume de afluxo devido à precipitação.

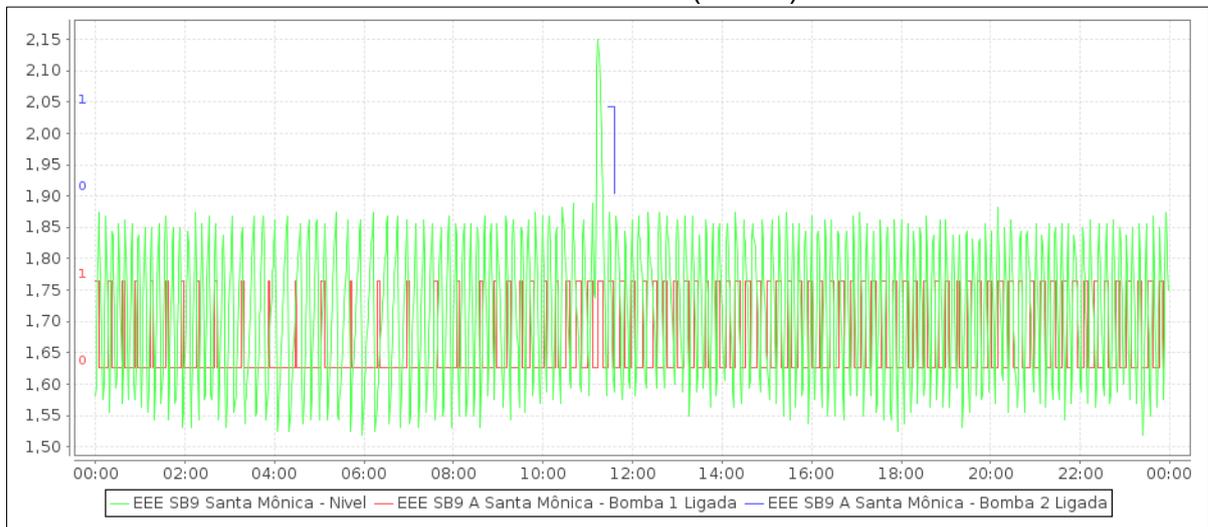
Fonte: Autora.

Dentre os eventos selecionados o volume diário variou de 229,1m<sup>3</sup> a 781,1m<sup>3</sup>. A média do volume de período seco (QMPS) em todos os eventos foi de 290,2m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>. O maior volume diário coincidiu com o dia de maior precipitação pluviométrica

( $P=71,8\text{mm}$ ) e representa mais que o triplo da média do volume de tempo seco, o que indica a considerável contribuição de águas pluviais na elevatória estudada.

Outro dado relevante foi a quantidade de minutos em que as bombas estiveram ligadas. Nota-se que o tempo aumenta nos dias de precipitação intensa; além disso só houve ocorrência das duas bombas ligadas conjuntamente em dias chuvosos, salvo o dia 12/04 em que provavelmente houve uma descarga atípica na rede próximo das 11:00, fazendo com que as bombas acionassem conjuntamente por 6 minutos, conforme ilustrado na Figura 33.

Figura 33 – Gráfico consolidado de nível de esgoto no poço de bombeamento da EE no dia 12/04/2018 (m/min)

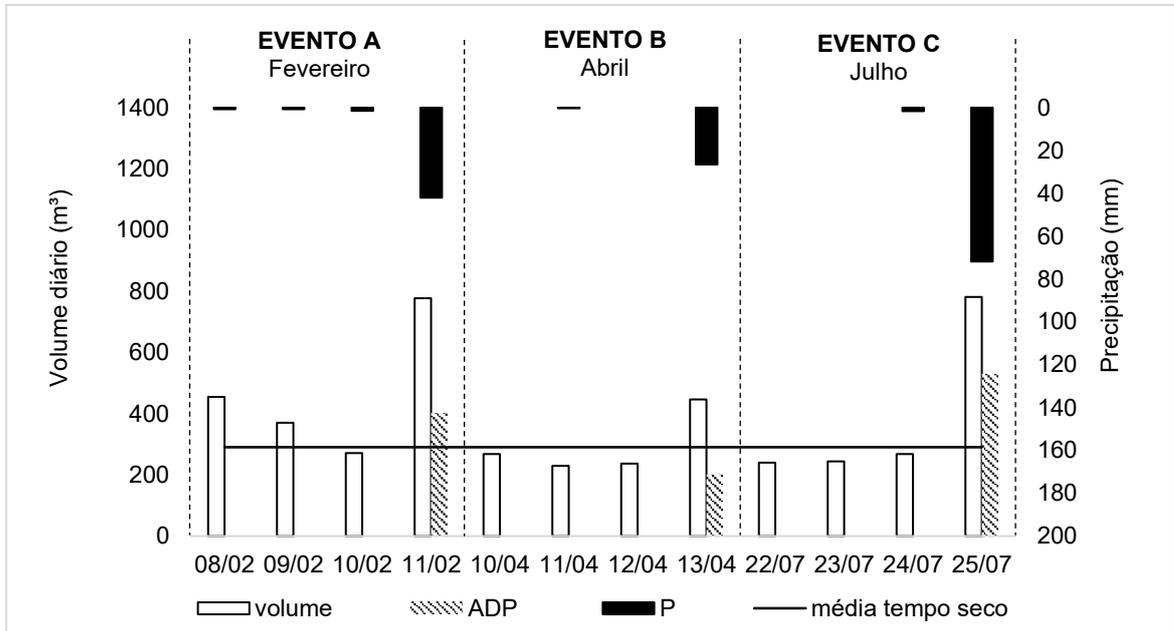


Fonte: Sistema de Telemetria CASAN.

Na Figura 34 apresentam-se os afluxos resultantes, além dos volumes diários de esgoto bombeado dos três eventos e a precipitação pluviométrica nos dias selecionados.

Observou-se que os volumes diários do período seco do evento A destoaram dos volumes dos demais eventos, apresentando volumes maiores. Isso se deu provavelmente porque o carnaval de 2018 ocorreu de 09 a 14 de fevereiro e nesse período a cidade recebe muitas pessoas, sendo comum o aumento da vazão em regiões onde há concentração de restaurantes como é o caso da bacia estudada.

Figura 34 – Volumes diários bombeados, ADP e precipitação pluviométrica referentes ao ano de 2018.



Fonte: Autora.

No evento A, o ADP representou 138,7 % da média do volume de período seco. O evento B foi o que teve menor precipitação no evento chuvoso (26,5mm) e, conseqüentemente, o menor valor de ADP. Ainda assim, o ADP representou um acréscimo de 69,3 % sobre a QMPS. Como era esperado, o maior ADP ocorreu no Evento C que apresentou a maior precipitação no dia chuvoso (71,8mm) e representou 182,6% da QMPS. Tsutyia e Bueno (2004) concluíram em seu estudo que a contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto é muito variável, atingindo valores de 26 a 283% da QMPS.

Pode-se inferir, pela análise e interpretação do gráfico, que quanto maior a precipitação, maior o volume diário bombeado e maior o ADP. Além disso o ADP apresentou valores significativos, variando de 69,3 a 182,6% da QMPS na bacia. Dentre as conseqüências estão o maior gasto com energia, como é possível observar na Tabela 11, que mostra os minutos que as bombas permanecem ligadas em dias de precipitação intensa, bem como problemas operacionais decorrentes da vazão excedente em dias chuvosos.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados dos trabalhos que realizaram metodologia semelhante, nos quais este trabalho baseou-se.

Tabela 12 – Comparativo dos resultados de porcentagem sobre QMPS e taxa de contribuição de ADP.

Autor	Local	Ano	Porcentagem sobre a Vazão média do período seco (QMPS) (%)	Taxa de contribuição de ADP (L.s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup> )
ABNT	Brasil	1992	-	6,0
Hanai e Campos	Araraquara	1997	-	0,16 a 0,19
Festi	Borborema	2006	1,42 a 251,2	0,08 a 12,15
Lamin e Sezerino	Joaçaba e Herval d'Oeste	2011	-	0,12 a 0,54
Este trabalho	Florianópolis	2018	69,3 a 182,6	0,70 a 1,86

Fonte: Adaptado de Lamin e Sezerino (2012).

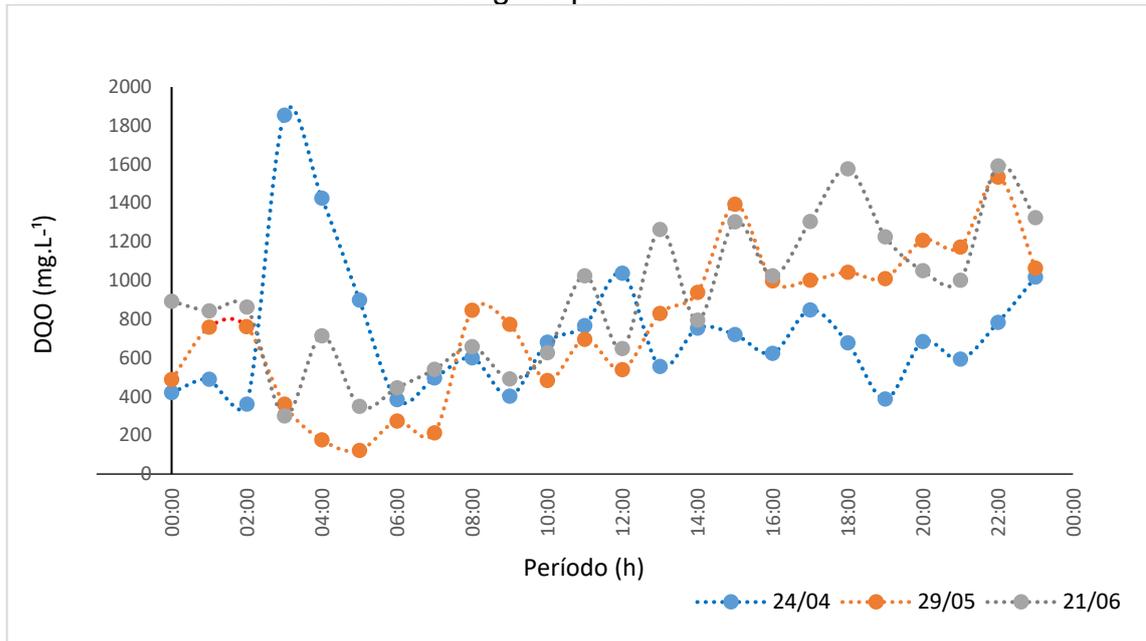
Comparados com os demais trabalhos pode-se verificar que os resultados dessa investigação apresentaram valores coerentes com as demais investigações. A variabilidade obtida pode ser justificada pelas características de precipitação, de projeto, e de uso e ocupação do solo; que variam de acordo com o local e influenciam nos valores de afluxo (FESTI, 2006).

#### 4.2.3 Infiltração

As concentrações de esgoto afluyente dos dias selecionados são apresentadas na Figura 35. E as variações de vazão ao longo do dia nas 3 campanhas são apresentadas na Figura 36.

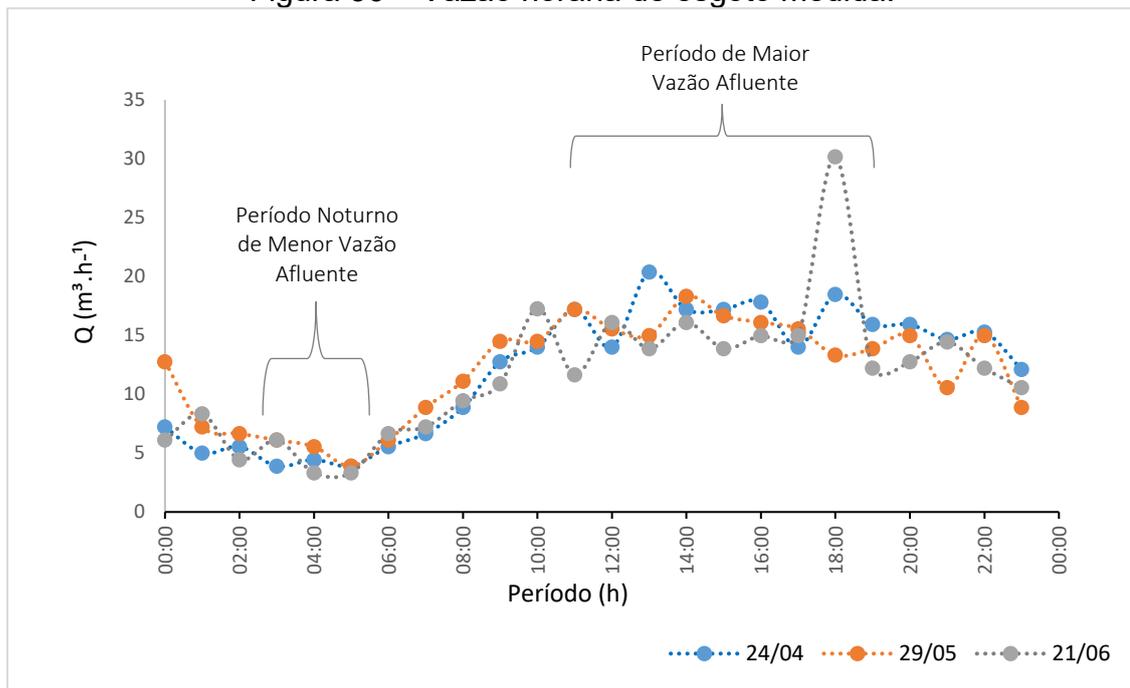
É possível observar a variabilidade da concentração de esgoto ao longo do dia, apresentando valores que vão de 121,4 a 1854,7 mg.L<sup>-1</sup> e DQO média de 805,4 mg.L<sup>-1</sup>. Um dado horário de concentração do dia 24/04/2018 destoou dos dados das demais campanhas e mostrou um pico na leitura às 03h. Esse pico coincidiu com um líquido branco que foi observado adentrando na elevatória entre 02:00 e 04:00h, conforme pode ser observado na Figura 37.

Figura 35 – Concentração horária de DQO do esgoto ao longo de 24h de dias livres de interferência de águas pluviais e maré no sistema.



Fonte: do Autora.

Figura 36 – Vazão horária de esgoto medida.



Fonte: do Autora.

Figura 37 – Despejo desconhecido.



Fonte: do Autora.

Baseado no uso e ocupação da bacia, acredita-se que o líquido possa ser oriundo de descarga de lavação de lavanderia situada próxima à elevatória. Apesar de não ter sido possível especificar a origem da descarga que provocou o pico de concentração no dia 24/04/2018, fica evidente que quando se trabalha com uma elevatória real e de ponta seca, qualquer descarga estranha pode alterar em quantidade e qualidade o afluente. É comum o lançamento clandestino de efluentes na rede de esgoto. Deve-se estar atento para qualquer alteração na concentração usual de esgoto e, aspecto visual da amostra.

Observa-se que o período noturno de menor vazão afluente ocorreu entre 3 e 6h; a concentração de esgoto no período noturno correspondeu a concentração média de DQO de esgoto neste período (DQOmédia). Já o período com maior vazão afluente esteve compreendido entre 11 e 20h, onde a concentração de esgoto puro correspondeu a concentração média de DQO nesse período (DQOesg). Obteve-se também a vazão mínima medida no período noturno ( $Q_{esg} + Q_{inf}$ ). Na Tabela 13 são apresentados os resultados experimentais obtidos para cada campanha.

Tabela 13 – Resultados experimentais para Infiltração, referente ao ano de 2018.

Campanha	A (24/04)	B (29/05)	C (21/06)	Unidade
DQOmédia	1140,68	233,19	452,34	mg.L <sup>-1</sup>
DQOesg	705,21	965,28	1121,69	mg.L <sup>-1</sup>
Qesg + Qinf	3,89	3,89	3,33	L.s <sup>-1</sup>
Qesg	6,29	0,94	1,34	L.s <sup>-1</sup>
Qinf		2,95	1,99	L.s <sup>-1</sup>
Infiltração		75,84	59,67	%
Coefficiente de Infiltração		0,89	0,60	L.s <sup>-1</sup> .km

Fonte: do Autora.

Através da interpretação dos resultados experimentais é possível verificar a significativa interferência da descarga não conhecida nos dados resultantes da Campanha A. O fato de o horário de chegada do despejo na elevatória coincidir com o horário do período noturno adotado elevou o valor da DQOmédia, que havia a expectativa que fosse ser menor que a DQOesg. A aplicação desse valor na Equação 6 resultou em um valor negativo para vazão de infiltração, o que não é praticável. Esta campanha teve que ser descartada da análise.

Para as duas demais campanhas foi possível observar valores elevados tanto para fração, quanto para o coeficiente de infiltração; ainda que dentro do recomendado pela norma brasileira. Bertrand-Krajewski *et al.* (2005) afirmam que os métodos baseados no fluxo noturno e na concentração de poluentes tendem a superestimar a infiltração em comparação com os outros métodos e isso acontece porque a incerteza em um valor instantâneo é bastante alta. Ainda assim apontam que esses métodos associados aos métodos químicos geralmente são considerados mais precisos apesar de sua aplicação demandar certo esforço.

Na Tabela 14 mostra-se um comparativo dos resultados obtidos por essa investigação com outros autores que aplicaram metodologia semelhante e com os valores adotados pela CASAN.

Tabela 14 – Comparativo dos resultados de porcentagem e coeficiente de infiltração.

Autor	Local	Ano	Porcentagem de infiltração da vazão de esgoto (%)	Coeficiente de infiltração (L.s <sup>-1</sup> .km <sup>-1</sup> )
ABNT	Brasil	1986	-	0,05 a 1,0
Hanai e Campos	Araraquara	1997	-	0,17
Festi	Borborema	2006	-	0,52
Lamin e Sezerino	Joaçaba e Herval d'Oeste	2011	30,2 a 46,1	0,07 a 0,14
Este trabalho	Florianópolis	2018	59,67 a 75,84	0,60 a 0,89
CASAN (atual)	Florianópolis	2018	-	0,2 a 0,4
CASAN (fim de plano)	Florianópolis	2020	-	0,34

Fonte: Adaptado de Tsutiya e Sobrinho (2011).

O valor do coeficiente de infiltração da campanha C (0,60 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>) ficou próximo ao valor encontrado por Festi (0,52 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>) em seu estudo em Borborema. Ambos os coeficientes das campanhas B e C, ficaram acima do valor projetado para fim de plano desse sistema e do que é adotado atualmente nos projetos de rede pela concessionária (0,4 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>) em áreas litorâneas e próximas ao lençol, como é o caso da bacia estudada. Tais resultados apontam para um subdimensionamento do sistema, uma vez que os dados experimentados resultaram em valores mais elevados do que os previstos em projeto; isso leva a problemas operacionais decorrentes da vazão excedente infiltrada. Em áreas em que a rede coletora de esgoto está abaixo do nível do lençol freático, a vazão de água subterrânea infiltrada pode variar de 30 até 72% da vazão de esgoto (ZHAO, 2020).

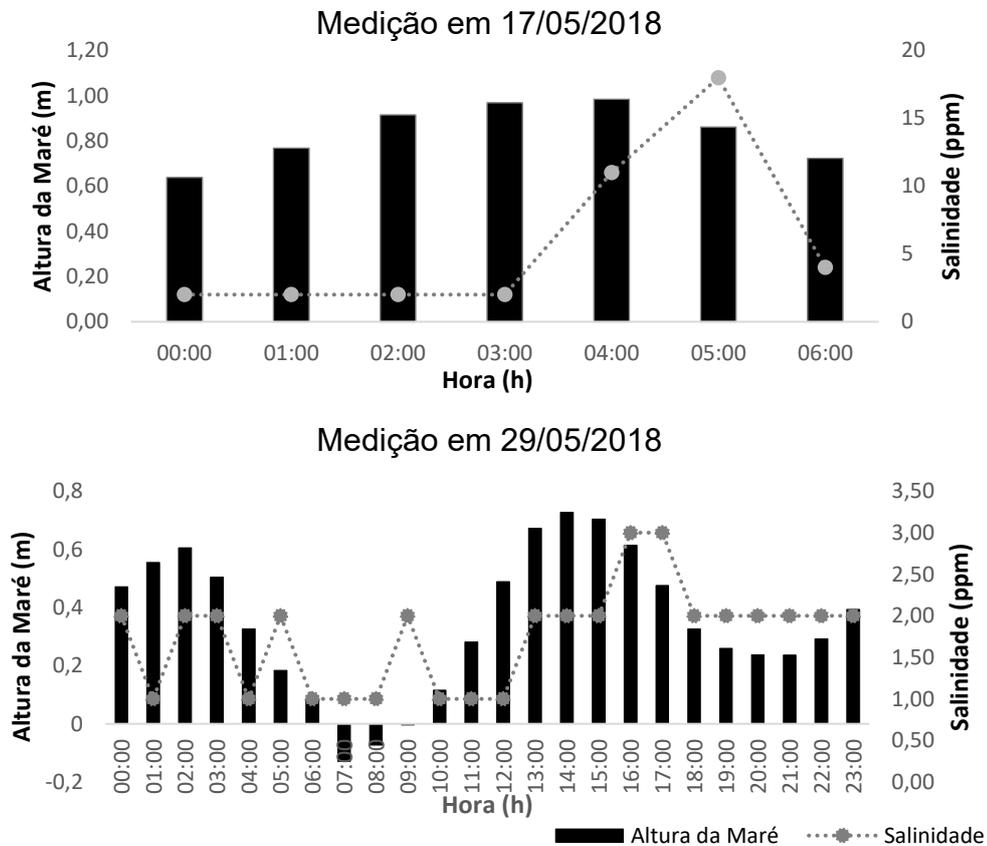
### 4.3 INTERFERÊNCIA DO NÍVEL DO MAR

#### 4.3.1 Relação com a salinidade

Os gráficos comparativos de salinidade na amostra de esgoto e altura de maré medida na estação Sul da Ilha (EPAGRI) são apresentados na Figura 38.

No dia 17/05/2018 foi feita a tentativa de coleta pois tratava-se do oitavo dia após 7 dias consecutivos sem precipitação efetiva. Porém ao medir a salinidade horária, observou-se um aumento do valor às 04:00 e 05:00h. Após esse horário não foram feitas mais medições pois a coleta foi interrompida devido a interferência da salinidade. Ao comparar os dados de salinidade horária com altura da maré horária, constatou-se que valores de maré superiores a 1m provavelmente teriam influência na elevatória e conseqüente salinidade nas amostras.

Figura 38 – Salinidade de esgoto e Altura da Maré medidos junto a EEESB9-A.



Fonte: do Autora.

No dia 29/05/2018, selecionado para coleta de amostras para investigação da infiltração, fez-se a leitura horária da salinidade e como o valor não ultrapassou 3ppm, prosseguiu-se com a coleta. Ao comparar com valores de altura de maré, confirmou-se que valores de maré abaixo de 1m influenciariam minimamente a salinidade da amostra. Adotou-se a partir daí o limite de maré de até 1m para realização das coletas. Não se dispunha de nenhuma informação da presença e nem de localização de extravasores desta elevatória o que tornou impossível especificar exatamente a cota em que a água do mar poderia adentrar o sistema. Estas observações permitiram verificar empiricamente uma provável cota de interferência.

### 4.3.2 Avaliação gráfica da interferência da maré no nível da elevatória

Durante o período de avaliação (29/12/2020 a 29/12/2021), a altura da maré variou de -0,39m a 1,49m. Foram identificados 88 dias com altura de maré acima de 1m; destes: 53 com  $P = 0\text{mm}$  e 35 com  $P > 0\text{mm}$ . Na Tabela 15 são apresentadas as campanhas selecionadas para avaliação gráfica.

Tabela 15 – Campanhas selecionadas para avaliação da maré.

<b>Campanha A – abril/2021</b>						
Dia do Mês	08	09	10	11	12	13
Dia da Semana	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter
P diária (mm)	27,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Campanha B – julho/2021</b>						
Dia do Mês	25	26	27	28	29	30
Dia da semana	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
P diária (mm)	0,0	0,0	13,6	0,0	0,0	0,0
<b>Campanha C – dezembro/2021</b>						
Dia do Mês	27	28	29	30	01	02
Dia da Semana	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua
P diária (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Legenda: Pdiária = precipitação pluviométrica diária; Seg = segunda-feira; Ter = terça-feira; Qua = quarta-feira; Qui = quinta-feira; Sex = sexta-feira; Sab = sábado; Dom = domingo.

Fonte: Autora.

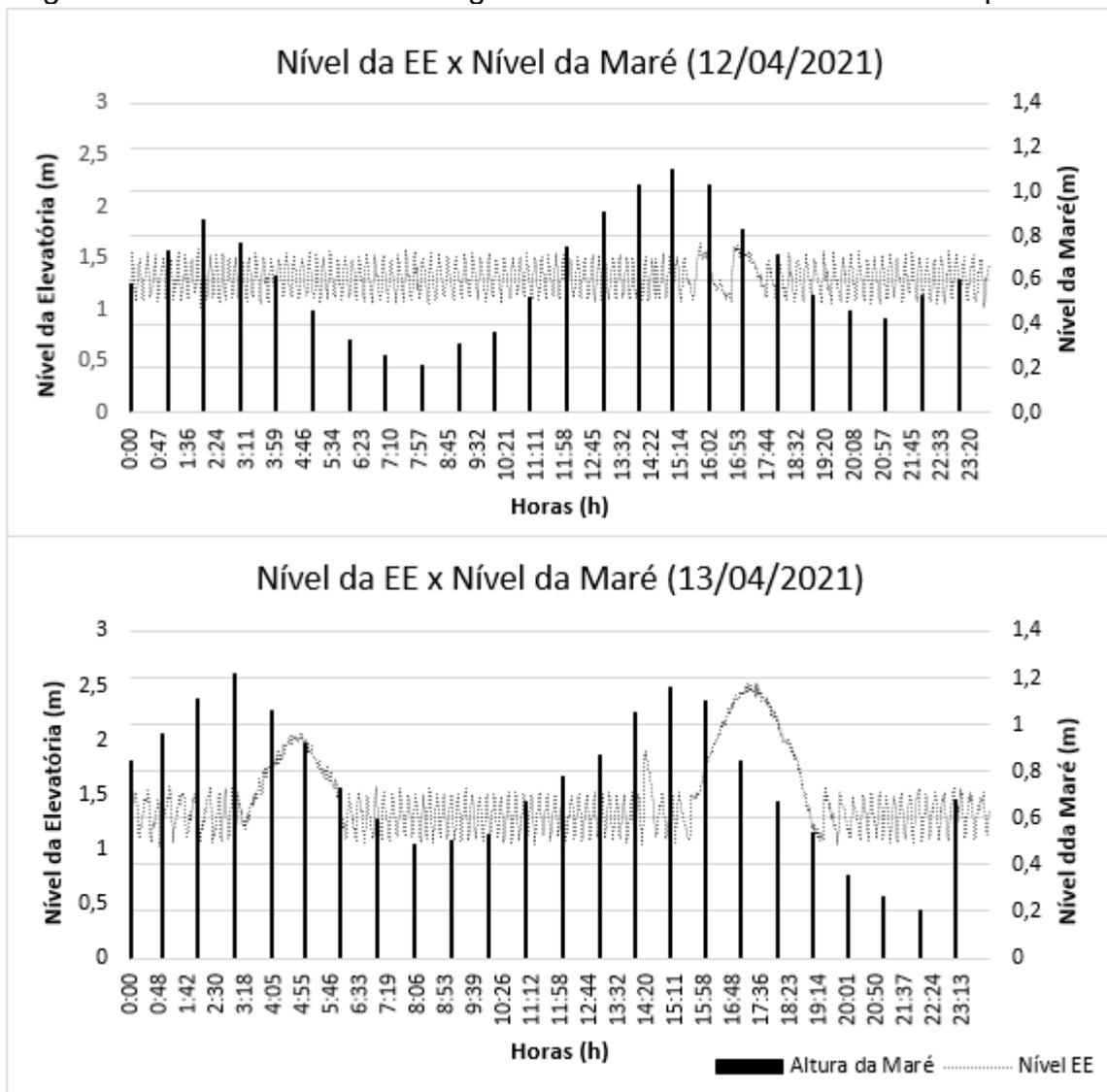
Conforme descrito previamente na metodologia, a intenção era um período maior sem precipitação para a escolha das campanhas a fim de isolar o afluxo com retardo de tempo; porém, no período de estudo não ocorreram períodos prolongados sem precipitação que coincidisse com eventos de maré acima de 1m. Percebeu-se uma tendência de correlação dos eventos de maré alta com eventos de precipitação.

As campanhas selecionadas apresentadas na Tabela 15 tiveram o objetivo de selecionar dias que ilustrassem o comportamento do nível da elevatória frente a diferentes alturas de marés, com diferentes períodos secos para fins comparativos. Dentre os períodos selecionados foram apresentados graficamente os dois últimos

dias, destacados na Tabela 15. Apesar de a Campanha B não apresentar um período seco de vários dias, com  $P = 13,6\text{mm}$  já no segundo dia anterior ao evento de maré alta, optou-se por avaliar esses eventos por incluírem a máxima altura de maré registrada no ano.

Os gráficos da Campanha A, são apresentados na Figura 39. Cabe ressaltar que os valores de nível plotados no gráfico não estão no mesmo Datum, uma vez que a o poço elevatório encontra-se parcialmente abaixo do nível do mar. Ambos foram plotados a partir do “zero” apenas para fins comparativos e ilustrativos.

Figura 39 – Altura do nível de esgoto na elevatória e da maré na Campanha A.



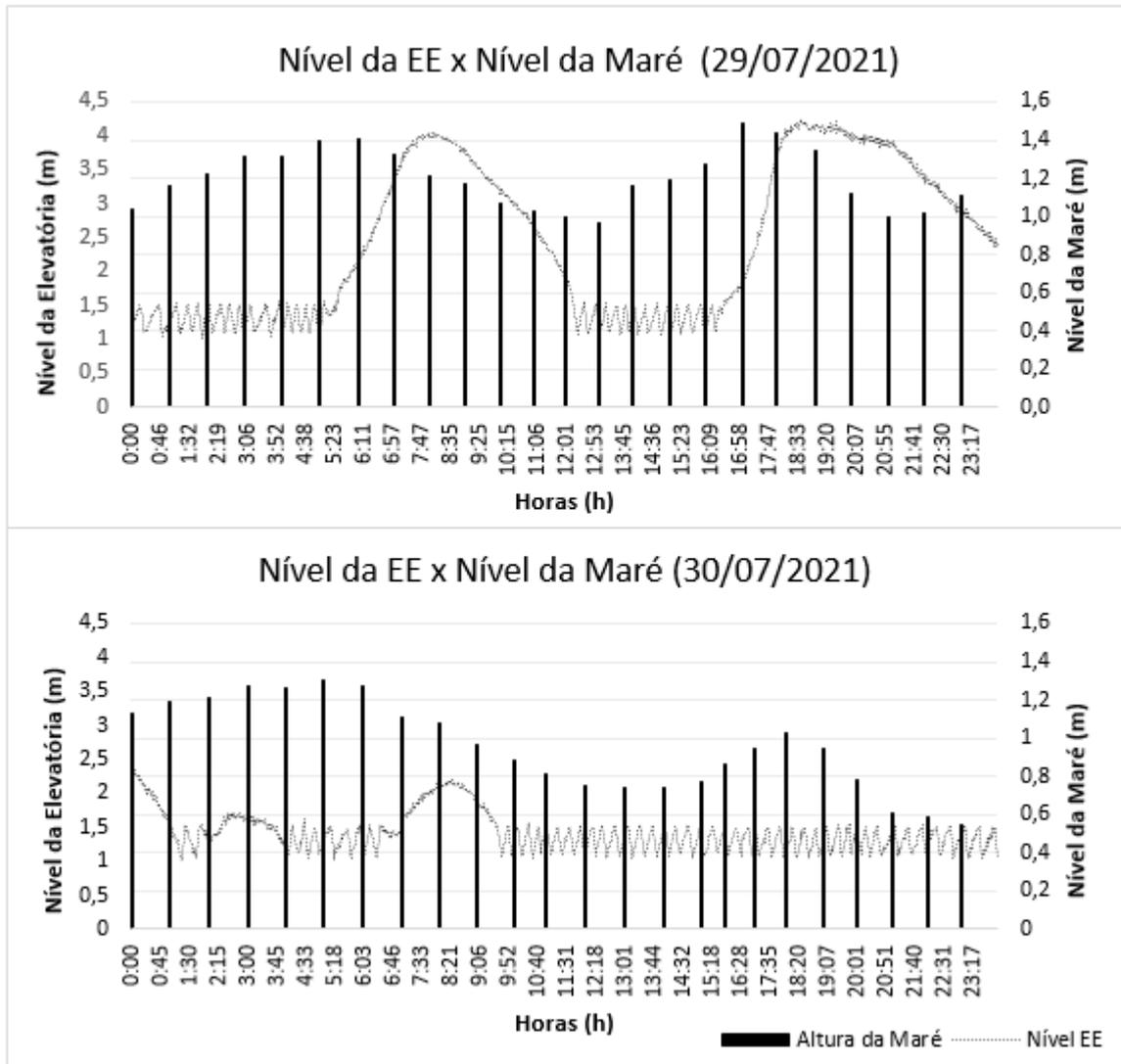
Fonte: Autora.

No evento do dia 12/04/2021, com 3 dias anteriores sem precipitação e sem registro de altura de maré superior a 1m; foi possível observar que quando a altura da maré atingiu 1,1m, quase que imediatamente após, houve aumento do nível da elevatória. Observa-se que o mesmo não ocorreu para valores de maré abaixo de 1m.

No evento que ocorreu no dia seguinte (13/04/2021) e com 4 dias anteriores sem precipitação, foi possível observar que após a maré atingir 1,22m às 3:00h, o nível da elevatória elevou em quase 0,5m do nível médio máximo de funcionamento. Observa-se que, apesar de que às 14:00h a maré atingir uma altura (1,16m) inferior à das 3:00h; o nível da elevatória apresentou um aumento maior, de quase 1m acima do nível médio de funcionamento. Isso provavelmente ocorreu pela influência do afluxo tardio do próprio evento de maré anterior na elevatória. Apesar de os dias avaliados contarem com 3 e 4 dias anteriores secos, não foi possível descartar completamente a influência do afluxo tardio devido à precipitação do dia 08/04/2021 (27,6mm). Graficamente, é possível observar que anteriormente aos eventos de maré alta, o comportamento da elevatória é comum a um dia seco.

Os gráficos da Campanha B são apresentados na Figura 40. O gráfico do dia 29/07/2021 ilustra o comportamento do nível da EE frente ao registro de maior altura de maré do ano (1,49m), com 1 dia anterior sem precipitação. Observou-se um aumento proporcional do nível da elevatória após os picos de maré alta, e que no segundo momento de subida da maré, o nível da elevatória demorou mais tempo para baixar. Mesmo com a altura da maré = 1m, o nível da elevatória se manteve próximo dos 4m; tal comportamento deve-se provavelmente ao efeito do afluxo tardio da maré anterior. No gráfico do dia seguinte (30/07/2021), foi possível observar que nas primeiras horas do dia o nível da elevatória apresentou um comportamento alterado resultante do efeito de afluxo tardio da maré da noite anterior. Apresentou outra alteração de nível após a maré atingir a altura de 1,3m e permaneceu constante mesmo quando a altura da maré atingiu o valor de 1,03m.

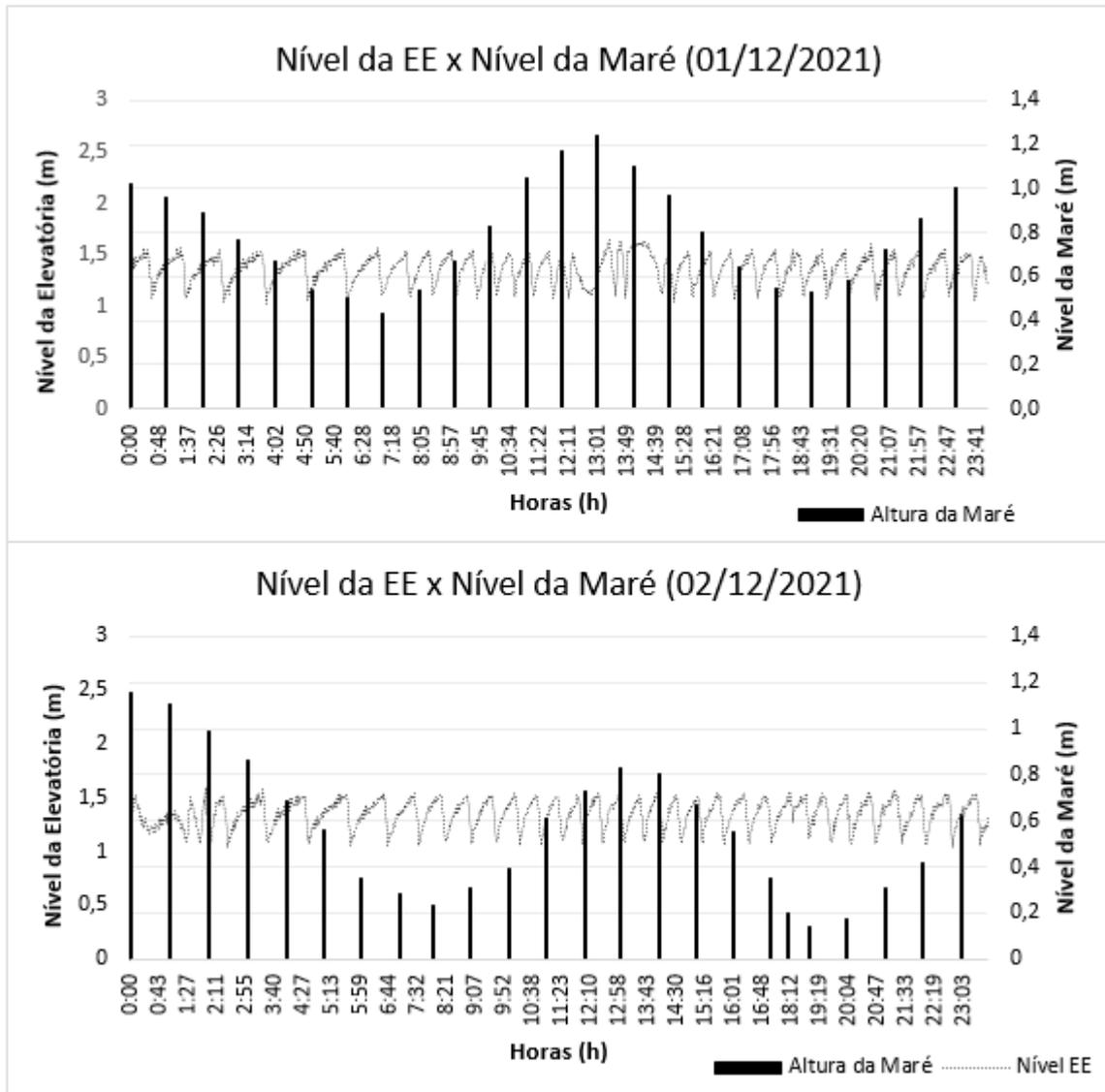
Figura 40 – Altura do nível de esgoto na elevatória e da maré na Campanha B.



Fonte: Autora.

Os gráficos da Campanha C são apresentados na Figura 41. Essa Campanha foi a com maior período seco e conseqüentemente maior confiabilidade de isolamento do afluxo tardio devido à precipitação. De forma semelhante aos demais eventos avaliados; no dia 01/12/202, observou-se que logo após a altura da maré ultrapassar 1m, o nível da elevatória alterou. No início do dia a maré estava baixando de 1m e verificou-se uma alteração sutil no comportamento da EE. Como os valores de maré não ultrapassaram 1,3m, essa alteração na elevatória foi mais discreta. No dia 02/12/2021 a maré chegou a 1,18m às 00:00h, sendo possível observar a alteração no nível da EE nas primeiras horas do dia.

Figura 41 – Altura do nível de esgoto na elevatória e da maré na Campanha C.



Fonte: Autora.

Pela avaliação dos gráficos pôde-se verificar que marés com altura acima de 1m influenciam no comportamento e nível da elevatória. Além disso observou-se uma relação diretamente proporcional entre a altura da maré e o nível da elevatória, para eventos de maré acima de 1m; e nenhuma influência aparente para eventos de altura de maré inferior a esse valor.

Observou-se que, em geral, altura de marés acima de 1m no mesmo dia causam efeito de afluxo tardio na elevatória. Uma recomendação seria a análise dos eventos no mesmo dia da semana e evitar finais de semana e feriados que podem alterar na contribuição à elevatória.

## 4.4 ANÁLISE QUALITATIVA

### 4.4.1 Teste de Corante

O teste de corante foi realizado nas 19 ruas que compõem a área de estudo totalizando 205 imóveis fiscalizados. No gráfico apresentado na Figura 42 são sistematizados os resultados da fiscalização.

Figura 42 – Teste de corante realizados na bacia no ano de 2014.



Fonte: Autora.

De acordo os dados, com última atualização em junho de 2014, não foram detectados imóveis com rede pluvial ligada à rede de esgoto, embora tenha se observado outros tipos de irregularidades (e.g. ausência de caixa de inspeção). Somando-se o quantitativo de imóveis não fiscalizados, com fiscalização não autorizada e fechados obtém-se um número considerável de imóveis em que o teste não pôde ser realizado. A região, conforme já citado, é predominantemente comercial e urbana e está em constante expansão. É provável que novas ligações tenham sido estabelecidas até o período de coleta de dados para a metodologia do afluxo (2018). Atualmente o projeto Se Liga na Rede está priorizando outros locais ainda não fiscalizados, mas há planos de retornar a região para uma atualização do teste.

#### 4.4.2 Teste de Fumaça

Na Figura 43 ilustra-se o teste sendo aplicado no PV.

Figura 43 – Aplicação do Teste de Fumaça realizado na bacia de estudo no ano de 2019.



Fonte: Autora.

Foi possível observar já na primeira casa localizada a frente da estação elevatória a fumaça saindo na tubulação de água pluvial da calçada da residência (Figura 44), indicando ligação irregular de água da chuva na rede de esgoto.

Ainda foi possível observar a mesma situação em mais duas residências próximas ao PV. Isso evidencia que, mesmo após atuação da equipe de fiscalização que aplicou o teste de corante no local, existem residências que não estão conectadas regularmente e contribuem para o aumento do ADP. Como já faz muitos anos do início da atuação da fiscalização no local, seria oportuno visitar as residências que foram notificadas e especialmente os imóveis que estavam fechados, e verificar sua regularidade através do teste de corante ou fumaça.

Figura 44 – Identificação de ligação irregular na bacia em estudo – imagem capturada em 25/06/2018.



Fonte: Autora.

A amostragem do teste de fumaça contrapõe o resultado do teste de corante já realizado na região. É possível que estes imóveis que apresentaram rede pluvial ligada a rede de esgoto estejam no grupo dos imóveis não fiscalizados, ou que não tenham permitido a fiscalização, ou ainda estivessem parcialmente ligados na ocasião do teste de corante.

#### 4.4.3 Teste de Vídeo

O teste de vídeo apontou para um resultado já esperado, uma vez que a região possui muitos restaurantes e o shopping: excesso de gordura na rede (Figura 45 e Figura 46). Como esse fato já era previsto, um caminhão de sucção e limpeza acompanhou o teste e efetuou a desobstrução da rede. De acordo com a Casan, é frequente a demanda de desobstrução em alguns pontos da rede da bacia de estudo.

Figura 45 – Imagem de gordura na rede de esgoto sentido shopping.



Fonte: Autora.

Na Figura 45 mostra-se a gordura na parede da tubulação. É possível que a gordura esteja obstruindo fissuras, trincas que seriam possíveis fontes de infiltração. Na Figura 46 é possível observar inclusive a alteração do fluxo do esgoto tamanha a incrustação na parede da tubulação.

Figura 46 – Imagem de gordura na rede de esgoto sentido elevatória,



Fonte: Autora.

Em todas as visitas à elevatória havia a presença de gordura na grade. Na Figura 47 mostra-se gordura na entrada da elevatória e um pedaço de material encontrado na rede.

Figura 47 – Imagem de gordura na entrada da EE e na rede.



Fonte: Autora.

Por fim na Figura 48 mostra-se o PV antes e depois da limpeza. Antes não era possível enxergar o canal e o fluxo do esgoto pois o poço estava alagado devido a obstrução.

Em eventos de precipitação intensa em que a rede esteja obstruída como nesse caso, pode ocorrer extravasamentos. Foram feitas duas rondas de carro pelas ruas da área de estudo em eventos de precipitação acima de 10mm e não foi verificado nenhum PV extravasando. Porém, no outro lado da rua, cerca de 500m de distância da elevatória, foi possível visualizar alguns PVs extravasando.

Figura 48 – Imagens do PV antes e depois da limpeza.



Fonte: Autora.

Mesmo após a limpeza e desobstrução dos pontos analisados, não foi identificada nenhuma fonte de infiltração ou afluxo visível nessa amostragem.

#### 4.5 FATORES CRÍTICOS DA METODOLOGIA E SUGESTÕES DE MELHORIAS

##### 4.5.1 Fatores Críticos

Os fatores críticos e limitantes relacionados à metodologia de medição da infiltração e afluxo podem ser classificados em ambientais, sociais e econômicos conforme exposto a seguir.

##### *Fatores críticos ambientais*

- i. Interferentes: um dos principais interferentes na análise de DQO foi a salinidade. Em regiões litorâneas, como é o caso da região de estudo, há influência das marés como afluxo na rede de esgoto em dias de nível do mar elevado.

- ii. Pluviometria: em cidades com histórico recorrente de precipitações intensas é difícil ocorrerem períodos prolongados de estiagem (necessários para aplicação da metodologia de determinação da infiltração e influência da maré). Esse fator deve ser observado no momento de escolha da região, método de determinação e período de estudo.

#### *Fatores críticos sociais*

- i. Variações de vazão: dependendo do local da bacia, uso e ocupação, podem ocorrer momentos de alta e baixa vazão. Isso deve ser considerado no momento da medição para não levar a resultados equivocados.
- ii. Despejos clandestinos: é comum o lançamento clandestino de efluentes na rede de esgoto. Deve-se estar atento para qualquer alteração na concentração normal do esgoto e, aspecto visual da amostra.
- iii. Segurança das elevatórias: muitas vezes as elevatórias de esgoto são localizadas em locais com pouca circulação de pessoas, onde são comuns furtos de materiais e equipamentos.

#### *Fatores críticos econômicos*

- i. Aquisição e calibração dos equipamentos: geralmente os custos dos medidores e equipamentos utilizados na medição de afluxo e infiltração são elevados, bem como os custos de calibração e manutenção destes.

### **4.5.2 Sugestão de melhorias**

Após a interpretação dos resultados e mapeamento dos fatores críticos da metodologia, foi possível elencar algumas sugestões de melhoria para redução das contribuições indevidas no sistema e consequente melhoria da gestão do saneamento local. As sugestões foram sistematizadas e estão apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Sugestões de melhorias.

Eixo	Sugestão
Metodológico	Em regiões costeiras atentar-se à altura da maré, medir a salinidade da amostra, e caso necessário utilizar técnicas laboratoriais para remoção da salinidade.
	Utilizar metodologias de gestão de projetos, priorizando o planejamento integrado das futuras regiões a serem atendidas pelo sistema separador.
	Integrar as equipes de projetos da prefeitura e concessionária de esgoto, uma vez que a prefeitura é a detentora da gestão da drenagem no município.
	Promover campanhas de conscientização para a conexão regular dos sistemas de esgoto e drenagem.
Social	Fiscalizar periodicamente a regularidade dos imóveis atendidos pelo sistema.
	Incentivar práticas de drenagem sustentável a fim de reduzir o volume e a velocidade do escoamento superficial.
	Criar um grupo de trabalho com membros da concessionária detentora da gestão do sistema, da sociedade civil, universidade e prefeitura para promover a governança do sistema e pensar coletivamente nas ações de melhoria.
Estrutural	Instalar medidores de vazão nas elevatórias e fazer testes locais para a definição do coeficiente de infiltração.
	Utilizar materiais estanques nas manutenções e novos projetos de redes.
	Incentivar estudos locais para adoção de taxas de contribuição de águas pluviais e infiltração mais próximas da realidade, evitando super ou sub-dimensionamentos.
	Atualizar os cadastros técnicos dos sistemas de esgoto e drenagem.
	Verificar localização e condições dos extravasores a fim de evitar entrada de afluxo por estes.
	Desenvolver um programa de reabilitação das redes com objetivo de mapear as entradas indevidas e promover ações corretivas. Considerar dispositivos de prevenção da intrusão salina, considerando os resultados que confirmam a intrusão com níveis de maré acima de 1m.

Fonte: Autora.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se propostas de métodos de estimativa da infiltração e afluxo devido à precipitação, aplicáveis aos sistemas em zonas costeiras e densamente urbanizadas (presença de um shopping) com valorização dos dados de operação da companhia de saneamento responsável pelo serviço na cidade em estudo. Além disso, fez-se uma avaliação gráfica da influência da maré e sistematização dos fatores críticos e sugestões de melhorias para o sistema de esgotamento sanitário.

Através da caracterização da área de estudo foi possível constatar que há pouca área permeável, e a presença do manguezal favorece a saturação do lençol. A análise do histórico de nível da elevatória demonstrou a susceptibilidade da bacia de esgotamento às sobrecargas em eventos de precipitações pluviométricas efetivas, através da observação do aumento quase imediato do nível do poço elevatório nos horários em que a precipitação é mais acentuada.

A metodologia proposta para estimativa da vazão média de bombeamento se mostrou adequada para o monitoramento em locais sem medidor de vazão instalado; situação da maioria das estações elevatórias brasileiras.

Os valores de ADP encontrados no sistema monitorado foram de 402,5; 201 e 530 m<sup>3</sup>. Tais resultados evidenciam a influência da precipitação pluviométrica no sistema que variou de 69,3% a 182,6% sobre a vazão média bombeada em tempo seco na bacia. A infiltração encontrada ficou na faixa 0,6 a 0,9 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>, ficando acima do valor atualmente adotado para o dimensionamento de redes abaixo do lençol freático na empresa concessionária de esgoto. Como visto neste caso, o valor de coeficiente de infiltração medido pode destoar do adotado, uma vez que a norma de dimensionamento sugere uma faixa muito ampla (0,05 a 1,0 L.s<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup>).

A análise qualitativa apontou para necessidade de monitoramento das redes de esgoto que frequentemente ficam obstruídas, e a análise dos dados de imóveis fiscalizados por teste de corante não condiz com os resultados de afluxo na bacia nem com a amostragem do teste de fumaça. Os testes de corante, vídeo e fumaça podem ser melhor explorados na região como auxílio na investigação das contribuições indevidas. É preciso avançar na busca da origem dessa contribuição e na fiscalização das conexões irregulares para eficiência do sistema separador absoluto.

A avaliação gráfica dos dados de altura de maré e nível da elevatória revelou a influência de marés com altura acima de 1m no comportamento e nível da elevatória. Concluiu-se que a partir dessa altura, quanto maior a altura da maré, maior o nível do esgoto bombeado. Além disso, foi possível observar graficamente a influência da maré em forma de afluxo tardio.

Locais com histórico recorrente de precipitações pluviométricas intensas estão mais suscetíveis às consequências do ADP. Todavia, essa característica desfavorece períodos prolongados de estiagem necessários para a aplicação da metodologia de determinação da infiltração. Esse fator deve ser observado no momento de escolha da região, do método de medição e período de estudo. Em regiões litorâneas, como

é o caso da região de estudo, há tendência de influência das marés como afluxo na rede de esgoto. Portanto, é imprescindível atentar-se à variação de maré, para não realizar coletas em dias de nível do mar elevado e sempre medir a salinidade da amostra para garantir o isolamento deste interferente. Outra alternativa seria de adotar algum procedimento para retirada da salinidade da amostra antes de proceder a análise de DQO. A metodologia utilizada demandou esforço da pesquisadora pela disponibilidade de permanecer 24 horas no local para realizar as coletas e armazenar as amostras. Uma alternativa é o uso de amostrador automático, ou ainda, realizar as coletas somente nos períodos de menor e maior vazão afluyente, necessários para determinação da DQO média e DQO esgoto.

É necessário investir em programas de reabilitação nas redes, uma vez que as contribuições sob forma de infiltração e afluxo influenciam diretamente na qualidade e quantidade do material empregado no dimensionamento, bem como, na vida útil e sobrecarga das bombas e equipamentos de recalque. O controle da vazão na ponta aparece como uma oportunidade de auxílio no planejamento e elaboração de medidas de contingência. Com este caso demonstramos ser possível quantificar infiltração e afluxo em redes de esgoto apenas com dados de operação, análises do efluente e um medidor de vazão móvel que pode ser deslocado e utilizado para aferir as bombas de todo o sistema em operação. Apesar da metodologia relativamente simples, os ganhos com a informação gerada são muito valiosos para guiar a operação e adoção de medidas corretivas para o sistema de forma a reduzir custos com a operação.

A modelagem computacional vem se mostrando uma ferramenta oportuna na complementação da avaliação hidrológico-hidráulica de bacias complexas, ofertando cenários simulados de contribuições indevidas e contribuindo como mais uma opção de associação metodológica de investigação. Os resultados desse trabalho, contendo também as sugestões de melhorias, serão compartilhados com a concessionária de esgoto da região investigada; e espera-se dessa maneira, contribuir para a melhoria da gestão do saneamento local. Quanto mais se aprofundam os estudos na área do saneamento, mais relevante é a percepção de quão complexo é este sistema. É preciso avaliar seus componentes não de forma individualizada, mas sim como interagem entre si e com o meio; bem como seus reflexos na saúde pública e bem-estar social.

## REFERÊNCIAS

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário - 3ª edição**, Rio de Janeiro, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20ª edição, Washington, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **NBR 9649**: Projetos de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **NBR 12207**: Projeto de interceptores de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 1992.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Contribuições Indevidas para a Rede de Esgotos**. Revista DAE, n. 120, p. 24-34, 2015.

BEHESHTI, M. et al. **Infiltration/Inflow Assessment and Detection in Urban Sewer System**. Vann, 1, p. 24-34, 2015.

BENNINGER B.A. **Determining Extraneous Flows in Waste Water Systems**, Canadian Water Resources Journal, 9:3, 40-44, DOI: 10.4296/cwrj0903040, 1984.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. et al. **Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems (APUSS)**, Lyon, 2005.

BRUNO, D. P.; TSUTIYA, M. T. **Infiltração de água nos coletores de esgotos sanitários**. Revista DAE, n. 134, p. 23-28, 1983.

CH2O AMBIENTAL. CASAN: ETE Itacorubi. Florianópolis, 2018.

CONSÓRCIO MPB/ENGEVIX. **Projeto Sistema de Esgoto Sanitário de Florianópolis – Bacia F – Relatório dos Serviços de Campo**. Florianópolis, 1997.

DIAS, A. P.; ROSSO, T. C. A. **Análise dos elementos atípicos dos sistemas de esgoto – Separador Absoluto – na cidade do Rio de Janeiro**, ENGEVISTA V. 13, n. 3. p. 177-192, 2011.

DE BÉNÉDITTIS, J; BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. **Infiltration in sewer systems: comparison of measurement methods** Water Science & Technology, 52 (3), p. 219-227, 2005.

DIRCKX, G. et al. **Dilution of sewage: Is it, after all, really worth the bother?**. Journal of Hydrology, v. 571, p. 437-447, 2019.

ELLIS J. B. **Sewer infiltration/exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality**. In: INTERURBA, Lisboa, 2001.

ENVIROSIGHT (Nova Jersey). **Inflow and Infiltration**. Disponível em: <https://inbound.envirosight.com/inflow-and-infiltration>. Acesso em: 13 out. 2023.

EPAGRI/DEMC. **Suavização dos maregramas**. Florianópolis, 2021. Disponível em: [https://circam.epagri.sc.gov.br/circam\\_arquivos/site/maregrafos\\_suavizacao.pdf](https://circam.epagri.sc.gov.br/circam_arquivos/site/maregrafos_suavizacao.pdf). Acesso em: 15 out. 2023.

FESTI, A.V. **Águas de chuva na rede de esgoto sanitário – suas origens, interferências e consequências**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 2005.

FESTI, A.V. **Estimativa da Infiltração e do Afluxo Devidos à Precipitação na Rede Coletora de Esgoto Sanitário em Município de Pequeno Porte**. Dissertação de Mestrado, UFSCar, São Carlos, 2006.

FLORIPA SE LIGA NA REDE (Brasil). Programa de Inspeção Sanitária da Prefeitura de Florianópolis e Casan. **Floripa se liga na rede**. Florianópolis, 2023. Instagram: @floripaseliganarede. Disponível em: <https://www.instagram.com/floripaseliganarede/>. Acesso em: 13 out. 2023.

HANAI, F. Y.; CAMPOS, J. R. **Avaliação da Infiltração na Rede Coletora de Esgoto na Bacia do Ribeirão do Ouro da Cidade de Araraquara – SP**. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Curitiba, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro, 2010.

KARPF, C.; KREBS, P. **Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach**, ScienceDirect, Water Research, p. 3129-3136, 2011.

KRETSCHMER, F.; ERTL, T.; KOCH, F. **Discharge Monitoring and Determination of Infiltration Water in Sewer Systems**. In: 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.

LAMIN, P. C.; SEZERINO, P. H. **Estimativas das infiltrações e afluxo devido à precipitação em uma rede coletora de esgoto**. In: XVI Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, Maringá, 2012.

LEPOT, M. et al. **Detection and quantification of lateral, illicit connections and infiltration in sewers with Infra-Red camera: Conclusions after a wide experimental plan**. Water Research, 2017.

LUO, H. *et al.* **Assessing the system performance of an evolving and integrated urban drainage system to control combined sewer overflows using a multiple-layer based coupled modeling approach.** Journal of Hydrology, Volume 603, 2021.

MACHADO, A. S.; BORJA, P. C.; MORAES, L. R. R. **Desafios e oportunidades para a implantação de uma das propostas do PEMAPES: o sistema combinado.** Gesta, v. 1, n. 2, p. 234 – 250, 2013.

METCALF, L; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos - 5ª edição,** Porto Alegre: AMGH, 2016.

METROPOLITAN COUNCIL (United States). **Council offers \$500,000 for local project to reduce inflow and infiltration from private property.** Saint Paul, 2018.

Disponível em: [https://metro council.org/News-Events/Wastewater-Water/Newsletters/Council-offers-\\$500,000-for-local-project-to-reduc.aspx](https://metro council.org/News-Events/Wastewater-Water/Newsletters/Council-offers-$500,000-for-local-project-to-reduc.aspx).

Acesso em: 13 out. 2023.

OWOLABI, T.A. *et al.* **Investigating the impact of sewer overflow on the environment: A comprehensive literature review paper.** Journal of Environmental Management, v. 301, 2022.

PEREIRA, J. A. R.; SOARES, J.M. **Rede coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação.** – 1ª edição, Belém: NUMA UFPA, 2006.

ROCHA, M. J. D.; PEREIRA, S. P.; LIMA NETO, I. E. **Integração do SWMM e ferramentas SIG para modelagem hidrológico-hidráulica de bacia complexa.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, p. 451-459, 2021.

STAUFER, P.; SCHEIDEGGER, A.; RIERCKEMANN, J. **Assessing the performance of sewer rehabilitation on the reduction of infiltration and inflow.** ScienceDirect, Water Research, p. 5185-5196, 2012.

TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. **Contribuição de Águas Pluviais em Sistema de Esgoto Sanitário no Brasil** - In: Seminários Redes de Esgoto Sanitários e Galerias de Águas Pluviais: Interferências e Interconexões - São Paulo, 2004.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA, **Guide for Estimating Infiltration and Inflow,** United States, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ª edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WANG, M. *et al.* **Uncertainty analysis of a pollutant-hydrograph model in assessing inflow and infiltration of sanitary sewer systems.** Journal of Hydrology, v. 574, p. 64-74, 2019.

ZHANG, M. *et al.* **Quantifying rainfall-derived inflow and infiltration in sanitary sewer systems based on conductivity monitoring.** Journal of Hydrology, 2018.

ZHAO, Z. et al. **Pin-pointing groundwater infiltration into urban sewers using chemical tracer in conjunction with physically based optimization model.** *Water Research*, v. 175, 2020.

