

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Jamily Campos Nunes

**Estratégias de redução e controle de perdas de água no sistema de abastecimento de  
Imbituba/SC.**

Florianópolis

2021

Jamily Campos Nunes

**Estratégias de redução e controle de perdas de água no sistema de abastecimento de  
Imbituba/SC.**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. Bruno Segalla Pizzolatti.

Florianópolis

2021

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

Nunes, Jamily Campos  
Estratégias de redução e controle de perdas de água no  
sistema de abastecimento de Imbituba/SC / Jamily Campos  
Nunes ; orientador, Bruno Segalla Pizzolatti, 2021.  
129 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,  
Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Sistemas de  
Abastecimento de Água. 3. Perdas de Água. 4. Balanço  
Hídrico. I. Pizzolatti, Bruno Segalla . II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental. III. Título.

Jamily Campos Nunes

**Estratégias de redução e controle de perdas de água no sistema de abastecimento de  
Imbituba/SC.**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenharia Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 17 de setembro de 2021.

---

Prof<sup>a</sup>. Maria Elisa Magri, Dr<sup>a</sup>.  
Coordenadora do Curso

---

Prof. Bruno Segalla Pizzolatti, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

**Banca Examinadora:**

---

Eng. Raphael Fernando de Andrade Martins  
Avaliador  
Nova Engevix

---

Eng. Elaine Alano  
Avaliadora  
Serrana Engenharia

Este trabalho é dedicado aos meus amados pais, aos colegas de profissão e à toda população imbitubense.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha mãe e melhor amiga, a mulher que me inspira todos os dias, me encoraja a vencer qualquer obstáculo, vibra comigo em todas minhas conquistas. Ela é minha maior companheira por todo esse tempo de graduação, obrigada por toda paciência, amor e cumplicidade. Ao meu pai, meu maior ponto fraco, agradeço por tornar possível minha jornada até aqui, por nunca me deixar faltar absolutamente nada, por me apoiar e amar do seu jeito único. Pai e mãe, obrigada por tudo, vocês são minha base.

Agradeço aos demais familiares que torcem pelo meu sucesso, em especial as minhas primas Ariany, Danielly, Beatriz e Bruna, que se fizeram presentes em diferentes etapas da minha formação até aqui, mas que independente da distância estão sempre do meu lado.

À minha amiga Bruna devo um agradecimento especial, pelo suporte técnico e emocional. Obrigada por todos os ensinamentos, pela paciência e por me incentivar diariamente. Aos seres de luz que a UFSC me trouxe, Anais e Gabriela, obrigada por independente da distância se fazerem presentes, por todo apoio e parceria durante todos esses anos. Agradeço também a Juliana, Bruna e Isadora, por tornarem essa caminhada mais leve e divertida, aprendi muito com cada uma de vocês.

À coleção de *roommates* maravilhosas que tive oportunidade de dividir um pedacinho da vida ao vir morar próximo a universidade, e que estão comigo me apoiando e incentivando independente dos rumos pessoais que cada uma tomou. Cito em especial, a Thalia, Juliana, Shaiane e Maiara.

Agradeço todos os professores que fizeram parte da minha formação, em especial ao professor orientador Bruno por todo auxílio, atenção e disponibilidade na elaboração deste trabalho. Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina pelo ensino público e de qualidade, e aos demais profissionais dessa instituição pelos quais tive a honra de receber seus ensinamentos, admiro-os profundamente.

Por fim, gostaria de agradecer principalmente a Serrana Engenharia por disponibilizar todas as informações necessárias para elaboração do presente trabalho. Em especial aos engenheiros Maicon e Elaine, por toda disponibilidade e auxílio. Também agradeço ao SAMAE de Imbituba pela autorização e apoio ao tema estudado.

A todos que contribuíram de alguma forma na minha formação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

Um dos principais desafios das operadoras de água em países em desenvolvimento é reduzir as perdas de água em todas as etapas do processo de seu fornecimento. Assim, esse trabalho teve como objetivo identificar estratégias prioritárias de redução e controle de perdas de água no sistema de abastecimento da cidade de Imbituba/SC. Para isso, inicialmente foi realizado o diagnóstico do sistema atual por meio do método do Balanço Hídrico em três áreas de estudo distintas e isoladas hidráulicamente. Posteriormente, foi elencada a área de estudo crítica por meio do método multicritério de tomada de decisão *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Paralelamente, foram identificadas as principais causas de perdas reais e aparentes aplicando a metodologia AHP. O resultado do balanço hídrico mostrou níveis regulares de perdas, totalizando 39%, 33% e 39% para as áreas de estudo Norte, Nova Brasília e Sul, respectivamente, sendo a maior parcela referente às perdas reais em todas as áreas estudadas. A área de estudo crítica definida foi a área de estudo Sul, pela qual 74% das perdas totais resultantes do Balanço Hídrico são referentes às perdas reais, e 26% correspondem a perdas aparentes. Considerando a maior parcela de perdas na rede de distribuição da área crítica é composto por perdas físicas, as ações propostas incluíram controle de pressão da rede, setorização, controle ativo de vazamentos e reabilitação de redes.

**Palavras-chave:** Sistema de abastecimento de água. Perdas de água. Balanço Hídrico.

## ABSTRACT

One of the main challenges for water operators in developing countries is to reduce water losses at all stages of the supply process. Thus, this work aimed to identify priority strategies to reduce and control water losses in the water supply system in the city of Imituba / SC. Initially, the diagnosis of the current system was carried out using the Water Balance method in three distinct and hydraulically isolated study areas. Subsequently, a critical study area was listed using *Analytic Hierarchy Process* (AHP), a multicriteria decision-making method. At the same time, the main causes of real and apparent losses were identified using the AHP methodology. The result of the water balance showed regular levels of losses, totaling 39%, 33% and 39% for the study areas North, Nova Brasília and South, with the largest portion referring to real losses in all studied areas. The critical study area defined was the South study area, whereby 74% of the total losses resulting from the Water Balance refer to real losses, and 26% correspond to apparent losses. Considering the largest portion of losses in the critical area's distribution network is composed of physical losses, the proposed actions included network pressure control, sectorization, active control of leaks and network rehabilitation.

**Keywords:** Water supply system. Water losses. Water Balance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desenvolvimento do índice de perdas no país. ....	25
Figura 2 – Interface do Software WB-EasyCalc. ....	32
Figura 3 - Cruz de Lambert para perdas reais. ....	37
Figura 4 – Ações de combate a vazamentos. ....	39
Figura 5 - Cruz de Lambert para perdas aparentes. ....	40
Figura 6 – Ações de combate por tipo de perda aparente. ....	41
Figura 7 - Estrutura de uma hierarquia simples. ....	42
Figura 8 - Cálculo do somatório dos pesos da avaliação ....	43
Figura 9 - Matriz de comparação par a par normalizada. ....	43
Figura 10 - Cálculo do autovalor máximo. ....	44
Figura 11 - Fluxograma metodológico. ....	45
Figura 12 - Mapa de localização das unidades do SAA de Imbituba/SC. ....	49
Figura 13 - Estrutura física da captação. ....	50
Figura 14 – Vista geral da ETA. ....	50
Figura 15 - ERAT e filtros da ETA. ....	50
Figura 16 – ETA Itapirubá. ....	51
Figura 17 - Mapa das áreas de estudo. ....	53
Figura 18 - Fluxograma do sistema de abastecimento de água de Imbituba/SC. ....	54
Figura 19 – Variação do volume médio diário na área de estudo Nova Brasília. ....	56
Figura 20 - Variação do consumo mensal na área de estudo Sul. ....	57
Figura 21 - Variação do consumo mensal na área de estudo Norte. ....	58
Figura 22 - Histórico do volume disponibilizado por economia em Imbituba. ....	59
Figura 23 - Histórico do índice de consumo médio percapita de água de Imbituba. ....	62
Figura 24 – Variação do consumo micromedido por área de estudo no ano de 2019. .....	84
Figura 25 – Ocorrência de irregularidades por bairro. ....	85
Figura 26 – Distribuição dos registros de ocorrência ao longo do ano de 2019. ....	86
Figura 27 – Quantidade de hidrômetros por idade de instalação. ....	86
Figura 28 - Mapa de faixas de elevação e pressões na área de estudo Norte. ....	91
Figura 29 - Mapa de faixas de elevação e pressões na área de estudo Nova Brasília. .....	92

Figura 30 - Mapa de faixas de elevação e pressões na área de estudo Sul.....	93
Figura 31 – Variação dos níveis dos reservatórios do SAA Imbituba ao longo do dia. .....	94
Figura 32 - Gráfico de vazão média diária da ERAT NB. ....	95
Figura 33 - Resultado do BH de 2019 na área de estudo Norte. ....	96
Figura 34 - Resultado do BH de 2019 na área de estudo Nova Brasília. ....	97
Figura 35 - Resultado do BH de 2019 na área de estudo Sul.....	98
Figura 36 – Resultados da redução da pressão na SABESP/BBL em 1999.....	106
Figura 37 – Evolução do volume de água recuperado em função do número de válvulas instaladas na RMSP.....	107
Figura 38 –Adutoras e pressões altas na área de estudo Sul. ....	108
Figura 39 – Setorização original e proposta no setor Fonte. ....	110
Figura 40 - Comparação entre as pressões na rede no sistema atual e configuração proposta, no horário de máxima demanda, no SAA Pederneiras. ....	112
Figura 41 – Ocorrência de vazamento por bairro na área de estudo Sul.....	115

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Condição da relação Produção/Demanda e os estágios, ações e consequências.....	23
Quadro 2 – Caracterização das perdas reais e aparentes.....	23
Quadro 3 – Origem e magnitude das perdas físicas em cada etapa do SAA.....	26
Quadro 4 – Origem e magnitude das perdas aparentes.....	28
Quadro 5 – Matriz do Balanço Hídrico.....	30
Quadro 6 – Dados de entrada do WC-EasyCalc.....	33
Quadro 7 - Estratégias de redução e controle de perdas de água.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de perdas de água em operadoras de diversos países. ....	21
Tabela 2 – Metas do PLANSAB por região para 2023 e 2033. ....	26
Tabela 3 – Histórico de indicadores do SNIS para caracterização geral do SAA de Imbituba.....	42
Tabela 4 – Cálculo do Autovetor Máximo.....	43
Tabela 5 – Histórico de indicadores do SNIS para caracterização geral do SAA de Imbituba.....	48
Tabela 6 - Capacidade dos reservatórios existentes no SAA de Imbituba.....	51
Tabela 7 - Capacidade das ERATs.....	52
Tabela 8 - Matriz de comparação de critérios. ....	68
Tabela 9 – Peso dos critérios.....	68
Tabela 10 - Valoração dos critérios para determinação da área crítica.....	70
Tabela 11- Matriz de comparação de causas de perdas reais. ....	72
Tabela 12 - Hierarquização das causas de perdas reais.....	72
Tabela 13 - Matriz de comparação de causas de perdas aparentes. ....	74
Tabela 14 - Hierarquização das causas de perdas aparentes. ....	75
Tabela 15 - Valoração das causas de perdas reais.....	77
Tabela 16 - Valoração dos critérios de perdas aparentes. ....	79
Tabela 17 – Densidade populacional das áreas de estudo.....	80
Tabela 18 – Média de economias e ligações por área de estudo no ano de 2019. ....	81
Tabela 19 – Extensão da rede de distribuição por área de estudo.....	81
Tabela 20 – Estimativa dos volumes de entrada das áreas de estudo Norte e Sul. ....	82
Tabela 21 – Volume total de entrada nas áreas de estudo.....	83
Tabela 22 – Consumo micromedido por área de estudo em 2019. ....	83
Tabela 23 – Registros de ocorrência de fraudes por área de estudo.....	85
Tabela 24 – Estimativa de submedição dos hidrômetros da área de estudo Norte. ...	87
Tabela 25 - Estimativa de submedição dos hidrômetros da área de estudo Nova Brasília.....	87
Tabela 26 - Estimativa de submedição dos hidrômetros da área de estudo Sul.....	88
Tabela 27 – Submedição média e erro adotados. ....	89
Tabela 28 – Pressões na área de estudo Norte.....	89
Tabela 29 – Pressões na área de estudo Nova Brasília.....	90

Tabela 30 – Pressões na área de estudo Sul. ....	90
Tabela 31 – Dados financeiros. ....	95
Tabela 32 – Dados de entrada para definição da área de estudo crítica. ....	99
Tabela 33 – Porcentagem dos volumes micromedidos por tipo de economia. ....	100
Tabela 34 – Peso final dos critérios por área de estudo. ....	100
Tabela 35 – Resultado dos critérios de perdas reais na área de estudo crítica. ....	101
Tabela 36 – Níveis máximos registrados nos reservatórios da área de estudo Sul. .	103
Tabela 37 – Ranking obtido para as causas de perdas reais na área de estudo crítica. .....	103
Tabela 38 – Evolução do FP em um DMC sob controle de perdas.....	114

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AESBE Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento  
AHP *Analytic Hierarchy Process*  
ARESC Agência de Regulação de Serviços Públicos de Santa Catarina  
BH Balanço Hídrico  
CASAN Companhia Catarinense de Águas e Saneamento  
DMC Distrito de Medição e Controle  
ERAT Estação de Recalque de Água Tratada  
ETA Estação de Tratamento de Água  
FP Fator de Pesquisa  
HD Hidrômetro  
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDM Índice de Desempenho da Medição  
IWA *International Water Association*  
NB Nova Brasília  
NBR Norma Brasileira  
OS Ordem de Serviço  
PEAD  
PEAD Polietileno de alta densidade  
PMSB Plano Municipal de Saneamento Básico  
PVC Policloreto de Vinila  
SAA Sistema de Abastecimento de Água  
SABESP Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo  
SAMAE Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto  
SC Santa Catarina  
SDS Secretaria de Estado do Desenvolvimento Social  
SIG Sistema de Informações Geográficas  
SNIS Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento  
SP São Paulo  
VMN Vazão Mínima Noturna  
VRP Válvula Redutora de Pressão

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	OBJETIVOS .....	20
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>20</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO.....	21
2.2	PERDAS DE ÁGUA NO BRASIL .....	25
2.3	COMPONENTES DAS PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO .....	26
2.3.1	<b>Perdas Reais .....</b>	<b>26</b>
2.3.2	<b>Perdas Aparentes .....</b>	<b>28</b>
2.4	BALANÇO HÍDRICO .....	29
2.4.1	<b>Ferramenta WB-EasyCalc.....</b>	<b>32</b>
2.5	MEDIDAS DE COMBATE DAS PERDAS DE ÁGUA EM REDES DE ABASTECIMENTO .....	34
2.5.1	<b>Ações para redução das perdas reais .....</b>	<b>37</b>
2.5.2	<b>Ações para redução de perdas aparentes .....</b>	<b>39</b>
2.6	MÉTODO DE ANÁLISE HIERARQUICA - AHP.....	41
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>44</b>
3.1	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE IMBITUBA/SC .....	45
3.1.1	<b>Caracterização geral do município .....</b>	<b>46</b>
3.1.1.1	<i>Hidrografia.....</i>	46
3.1.1.2	<i>Hipsometria .....</i>	47
3.1.2	<b>Descrição do sistema de abastecimento de água .....</b>	<b>47</b>
3.1.2.1	<i>Captação.....</i>	50

3.1.2.2	<i>Estações de tratamento de água</i> .....	50
3.1.2.3	<i>Sistema de reservação</i> .....	51
3.1.2.4	<i>Sistema de bombeamento</i> .....	51
3.2	<b>DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO</b> .....	52
3.3	<b>BALANÇO HÍDRICO</b> .....	54
<b>3.3.1</b>	<b>Volume de entrada no sistema</b> .....	<b>55</b>
3.3.1.1	<i>Fonte de Água</i> .....	55
<b>3.3.2</b>	<b>Consumo faturado</b> .....	<b>59</b>
3.3.2.1	<i>Consumo medido faturado</i> .....	59
3.3.2.2	<i>Consumo não medido faturado</i> .....	60
<b>3.3.3</b>	<b>Consumo não faturado</b> .....	<b>60</b>
3.3.3.1	<i>Consumo medido não faturado</i> .....	60
3.3.3.2	<i>Consumo não medido não faturado</i> .....	60
<b>3.3.4</b>	<b>Consumo não autorizado</b> .....	<b>61</b>
3.3.4.1	<i>Hidrômetros violados, by-passes em clientes registrados e ligações clandestinas</i> .....	61
3.3.4.2	<i>Consumo médio per capita</i> .....	61
<b>3.3.5</b>	<b>Imprecisões dos medidores e erros de manipulação de dados</b> .....	<b>62</b>
3.3.5.1	<i>Submedição</i> .....	62
<b>3.3.6</b>	<b>Redes de distribuição</b> .....	<b>63</b>
3.3.6.1	<i>Comprimento de rede</i> .....	63
3.3.6.2	<i>Comprimento médio do ramal</i> .....	64
3.3.6.3	<i>Número de clientes registrados, ativos e inativos</i> .....	64
<b>3.3.7</b>	<b>Pressão na rede</b> .....	<b>64</b>
3.3.7.1	<i>Pressão média na rede</i> .....	64
3.3.7.2	<i>Número de ligações</i> .....	65
<b>3.3.8</b>	<b>Abastecimento intermitente</b> .....	<b>65</b>
<b>3.3.9</b>	<b>Dados financeiros</b> .....	<b>66</b>

3.3.9.1	<i>Tarifa média de água</i> .....	66
3.3.9.2	<i>Custo variável de produção e distribuição</i> .....	66
3.4	<b>IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA CRÍTICA</b> .....	66
3.5	<b>IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS CAUSAS DA PERDA DE ÁGUA</b> .....	70
<b>3.5.1</b>	<b>Causas das perdas reais</b> .....	<b>71</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Causas das perdas aparentes</b> .....	<b>72</b>
3.6	<b>PROPOSIÇÃO DE AÇÕES PRIORITÁRIAS OPERACIONAIS DE COMBATE AS PERDAS</b> .....	76
<b>3.6.1</b>	<b>Valoração das causas das perdas reais</b> .....	<b>76</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Valoração das causas de perdas aparentes</b> .....	<b>78</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Proposição de ações de combate e controle de perdas</b> .....	<b>80</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>80</b>
4.1	<b>CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO</b> .....	80
4.2	<b>BALANÇO HÍDRICO</b> .....	82
<b>4.2.1</b>	<b>Dados de entrada</b> .....	<b>82</b>
4.2.1.1	<i>Volume de entrada no sistema</i> .....	82
4.2.1.2	<i>Consumo faturado</i> .....	83
4.2.1.3	<i>Consumo não faturado</i> .....	84
4.2.1.4	<i>Consumo não autorizado</i> .....	84
4.2.1.5	<i>Imprecisão dos medidores e erros de manipulação de dados</i> .....	86
4.2.1.6	<i>Redes de distribuição</i> .....	89
4.2.1.7	<i>Pressão na rede</i> .....	89
4.2.1.8	<i>Abastecimento intermitente</i> .....	94
4.2.1.9	<i>Dados Financeiros</i> .....	95
<b>4.2.2</b>	<b>Resultado do Balanço Hídrico</b> .....	<b>95</b>
4.2.2.1	<i>Área de estudo Norte</i> .....	95
4.2.2.2	<i>Área de estudo Nova Brasília</i> .....	96

4.2.2.3	<i>Área de estudo Sul</i> .....	98
4.3	IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA CRÍTICA.....	98
4.4	IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS CAUSAS DA PERDA DE ÁGUA NA ÁREA CRÍTICA .....	101
4.5	PROPOSIÇÃO DE AÇÕES PRIORITÁRIAS OPERACIONAIS DE COMBATE AS PERDAS.....	104
4.5.1	<b>Hierarquização das causas do tipo de perda predominante na área crítica</b>	<b>104</b>
4.5.2	<b>Ações propostas</b> .....	<b>105</b>
4.5.2.1	<i>Controle de pressão</i> .....	105
4.5.2.1.1	Implantação de setorização.....	107
4.5.2.1.2	Simulação hidráulica da rede.....	111
4.5.2.1.3	Gerenciamento de rede e pontos de controle.....	112
4.5.2.2	<i>Controle ativo de vazamentos</i> .....	113
4.5.2.3	<i>Reabilitação de redes de distribuição</i> .....	115
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>117</b>
6	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>119</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>120</b>
	<b>APÊNDICE A - Mapa de localização do município de Imbituba/SC</b> .....	<b>124</b>
	<b>APÊNDICE B – Mapa da hidrografia do município de Imbituba/SC</b> . .....	<b>125</b>
	<b>APÊNDICE C – Mapa Hipsométrico de Imbituba/SC</b> . .....	<b>126</b>
	<b>APÊNDICE D – Densidade demográfica por bairro</b> . .....	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE E – Mapa dos bairros abrangidos por área de estudo</b> .....	<b>128</b>
	<b>APÊNDICE F – Mapa de calor de pressão na área de estudo Sul</b> .....	<b>129</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O controle de perdas em sistemas de abastecimento de água torna-se uma necessidade cada vez mais atual, tanto do ponto de vista de sustentabilidade hídrica, quanto pelo aspecto de eficiência econômica e sobrevivência financeira das próprias empresas de saneamento (MANZI, 2020).

Pode-se entender por “perdas” na distribuição como sendo a simples diferença entre o que se disponibilizou de água tratada à distribuição (macromedição) e o que se mediu nos hidrômetros dos clientes finais (micromedição). As causas das perdas variam desde vazamentos visíveis a vazamentos que não afloram à superfície, além de outros fatores como os erros associados aos hidrômetros ou macromedidores e fraudes. A literatura separa as perdas em duas grandes parcelas: física ou real e não-física ou aparente.

O relatório disponibilizado pelo SNIS em dezembro de 2020, indicou que a média de perdas reais no Brasil para o ano de 2019 foi de 39,2%, valor 0,7 ponto percentual superior ao de 2018. Em Santa Catarina o índice de perdas em 2019 foi de 34,5%, abaixo da média brasileira porém ainda é elevado. Mais especificamente no município de Imbituba, a média do índice de perdas na distribuição dos últimos cinco anos de dados publicados pelo SNIS (entre 2015 e 2019) resulta em uma porcentagem de 44,5%. Em 2019 o município apresentou índice de 39,22% de perdas na distribuição, valor que ultrapassa a média do estado e se encontra muito próximo à média brasileira, considerada alta.

Às perdas ocorrem em todas as fases de um sistema de abastecimento de água e em cada fase há condições específicas que fazem preponderar um ou outro tipo de perda, que ditarão às ações mais adequadas à prevenção e correção dos fatores que ocasionam o surgimento de perdas (TSUTIYA, 2006). Neste cenário, o objetivo principal desse trabalho é a realizar uma análise das perdas no sistema de distribuição de Imbituba, e que a partir dessa análise sejam definidas estratégias de controle para direcionar ações para redução do índice de perdas em causas específicas que se mostrarem predominantes no município.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Identificar estratégias de redução e controle de perdas de água no Sistema de Abastecimento de Água de Imbituba/SC.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Delimitar áreas de estudo isoladas hidráulicamente na rede de distribuição de água de Imbituba/SC.
- Diagnosticar as perdas reais e aparentes de água das áreas de estudo definidas.
- Identificar a área de estudo crítica e determinar uma hierarquização das causas de perdas de água predominante na área.
- Propor as ações mais adequadas à prevenção e correção dos fatores que ocasionam o surgimento de perdas de água na área de estudo crítica com base na hierarquização das causas predominantes.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Ao contrário do que se acreditava num passado não muito distante, o mundo está aos poucos tomando conhecimento de que a água é um recurso limitado (ORSATTI, 2007). O ser humano não pode prescindir de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para atender às suas necessidades, para a proteção de sua saúde e para seu desenvolvimento de uma maneira geral (FUNASA, 2019). Neste cenário, é imprescindível a execução de serviços apropriados de saneamento básico, como o abastecimento de água, importantes na proteção da saúde da população e a melhoria de sua qualidade de vida.

Define-se por sistema de abastecimento público de água o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos (SENS *et al.*, 2004). Os sistemas de abastecimento urbano de água são compostos, de maneira geral, pelas unidades de captação, tratamento, estação elevatória, adução, reservatórios, rede de distribuição e ligações prediais (GOMES, 2009).

Um dos obstáculos para o uso eficiente da água são as perdas nos sistemas de abastecimento de água urbano (HÜBNER, 2011). Desde 1980, percebeu-se que não só o crescimento da demanda, mas também as perdas e os usos inadequados exigiam ampliações nos sistemas produtores, cada vez mais distantes, com custo marginal elevado (Ministério das Cidades, 2008).

Para fins de comparação, a Tabela 1 reúne o índice de perdas em diversas cidades do mundo. A cada 100 m<sup>3</sup> de água produzida nos sistemas de distribuição de água de Jakarta, por exemplo, se deixa de faturar mais da metade (51 m<sup>3</sup>), ao passo que em Amsterdan apenas 6 m<sup>3</sup> são perdidos se comparado a mesma produção.

Tabela 1 – Índice de perdas de água em operadoras de diversos países.

<b>Cidade</b>	<b>Índice de perdas (%)</b>	<b>Cidade</b>	<b>Índice de perdas (%)</b>
<b>Amsterdan</b>	6	<b>Londres</b>	28
<b>Nova York</b>	10	<b>Roma</b>	37,8
<b>Madrid</b>	12	<b>Dublin</b>	40
<b>Barcelona</b>	19	<b>Jakarta</b>	51

Fonte: TARDELLI (2015).

Gomes (2009) descreve as perdas totais de água como sendo a diferença entre a água aduzida ao sistema de abastecimento e o consumo autorizado. Esses englobam tanto as perdas físicas (reais), que representam a parcela não consumida, como as perdas não físicas (aparentes), que correspondem à água consumida e não registrada (Ministério das Cidades, 2003). Segundo a IWA (Associação Internacional da Água), definem-se perdas como “toda perda real ou aparente de água ou todo o consumo não autorizado que determina aumento do custo de funcionamento ou que impeça a realização plena da receita operacional” (FUNASA, 2014).

O desperdício generalizado parte das residências, com a torneira pingando, até as cidades, independente do porte, com vazamentos em adutoras, encanamentos, empresas e fraudes na captação de água (ORSATTI, 2007). Na quantificação do volume ou vazão necessária para alimentar o sistema de abastecimento é necessário levar em conta as perdas reais de água, ou fugas, que ocorre continuamente em todo o sistema e que vão contribuir para aumentar a demanda bruta do sistema (GOMES, 2009).

A ABNT indica por meio da norma 12.218 de 2017, que estabelece os requisitos para a elaboração de projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, a consideração do índice de perda total (real e aparente) na vazão de dimensionamento, levando em consideração as metas resultantes das ações e planos de controle e redução de perdas da operadora do sistema de abastecimento e sua evolução no horizonte do estudo ou do projeto.

A FUNASA (2014) alega que o abastecimento de uma cidade ou região depende da relação entre a produção e a demanda. Espera-se que essa relação seja superior a 1, ou seja, que o volume produzido ultrapasse a demanda. Por demanda entende-se como sendo o produto do número de habitantes pelo consumo per capita e coeficiente do dia de maior consumo.

Para a determinação do consumo per capita de água deve-se incorporar as perdas de água do sistema de abastecimento ao consumo efetivo per capita (TSUTIYA, 2006). As ações e consequências decorrentes dos possíveis resultados da relação entre produção e demanda nos sistemas de abastecimento de água estão dispostas no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Condição da relação Produção/Demanda e os estágios, ações e consequências.

<b>Condição da relação Produção/Demanda</b>	<b>Estágio/Ação</b>	<b>Consequência</b>
Maior que 1	Normalidade, requerendo que os planejamentos anuais estejam constantemente controlando a relação.	Nenhuma
Igual a 1	Anormalidade iminente, requerendo elevação da produção e/ ou redução da demanda.	Susceptibilidade a racionamentos, principalmente em casos de piques no sistema de abastecimento de água e/ou nos picos raros de consumo (alta temporada, elevadas temperaturas etc.)
Menor que 1	Absoluta anormalidade, requerendo-se de Planos de Racionamento e/ou aumento de produção e/ou redução de demanda.	Racionamento

Fonte: FUNASA (2014).

Sendo assim, se por um lado há que se envidar esforços e recursos para ampliação da oferta (produção), há que se também gerenciar a demanda, principalmente nos dias de hoje onde a escassez dos recursos naturais já é bastante evidenciada e grave (FUNASA, 2014). Dada a evidência da íntima relação dos índices de perdas com a demanda das cidades, conclui-se que, em decorrência desta relação direta, quanto maiores os índices de perdas maiores serão as demandas por consequência.

Índices de perdas elevados são consequência de uma infraestrutura física deficiente, má qualidade dos materiais utilizados e também de uma deficiente gestão dos sistemas (SANTOS, 2014). Tsutiya (2006) descreve as perdas de forma geral, indicando as principais características das perdas reais e aparentes, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Caracterização das perdas reais e aparentes.

<b>Item</b>	<b>Características Principais</b>	
	<b>Perdas Reais</b>	<b>Perdas Aparentes</b>
Tipo de ocorrência mais comum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vazamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erro de medição</li> </ul>
Custos associados ao volume de água perdido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos de produção da água tratada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valor cobrado no varejo ao consumidor</li> </ul>

Item	Características Principais	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Efeito no meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desperdício de recursos naturais</li> <li>• Maiores impactos ambientais devido à necessidade de ampliação da exploração dos mananciais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é relevante</li> </ul>
Efeito na saúde pública	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riscos de contaminação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é relevante</li> </ul>
Ponto de vista empresarial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda de produto “industrializado”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda elevada de receita</li> </ul>
Ponto de vista do consumidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imagem negativa da empresa associada ao desperdício e ineficiência</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não é uma preocupação imediata</li> </ul>
Efeitos finais no consumidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repasse de custos à tarifa</li> <li>• Desincentivo ao uso racional da água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repasse de custo à tarifa</li> <li>• Incitamento ao roubo e fraudes</li> </ul>

Fonte: TSUTIYA (2006).

Apesar da importância de se reduzir as perdas de água na distribuição, a ABES (2013) salienta uma importante contribuição da IWA referente a definição de limites econômicos e técnicos para os volumes das perdas em um sistema. O limite econômico se dá a partir do qual se gasta mais para reduzir as perdas do que o valor intrínseco dos volumes recuperados. Já o limite técnico mínimo, é definido pelo alcance das tecnologias atuais dos materiais, ferramentas, equipamentos e logísticos.

Tardelli (2015) ressalta que não existe “perda zero” em sistemas de abastecimento de água, pois independente dos esforços realizados, sempre haverá um remanescente valor de perdas no sistema (“perda inevitável”). Ainda assim, o autor salienta que se não forem feitas, regularmente, ações de combate às perdas, estas irão gradativamente aumentar no sistema.

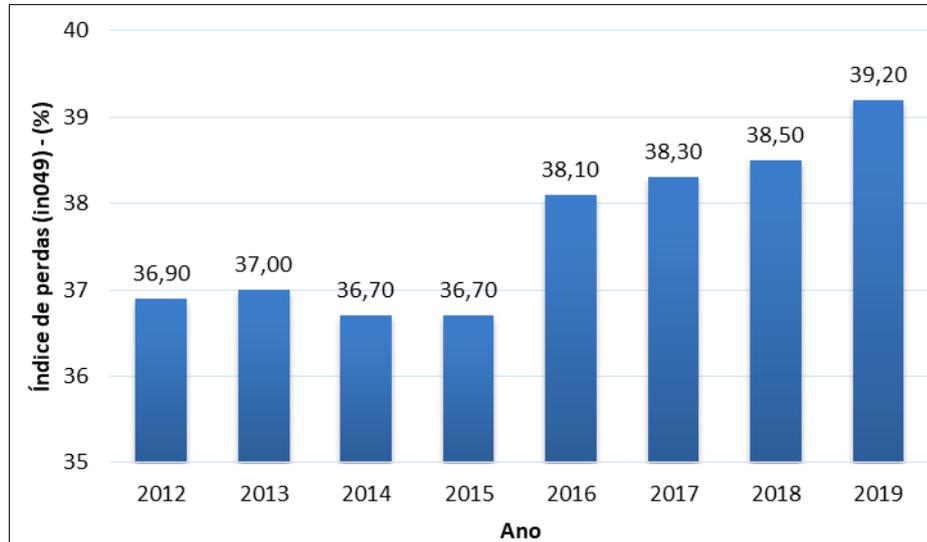
## 2.2 PERDAS DE ÁGUA NO BRASIL

No Brasil, a situação está longe do observado em países desenvolvidos e a situação de perdas é muito desigual quando se comparam unidades da federação, operadores públicos e privados de saneamento básico (ABES, 2013).

O instituto Trata Brasil (2021), no relatório completo “*Ranking do Saneamento*” elaborado com base no resultado do SNIS de 2019 para os 100 municípios mais populosos do país, apresenta o indicador médio de perdas na distribuição (IN049) computado na amostra de 35,66% em 2019, o que representa uma leve piora em relação ao indicador de 2018, 34,40%. Entre os 100 municípios analisados, o pior colocado é o Porto Velho/RO com 83,88% de perdas na distribuição e o melhor colocado fica em Nova Iguaçu/RJ com apenas 3,88%.

Em 2019, o Índice de perdas na distribuição (IN049) no Brasil é de 39,2%, valor 0,7 ponto percentual superior ao de 2018 (SNIS, 2020). O 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019 (SNIS, 2020) menciona que o valor atual desse indicador mantém o aumento identificado desde 2016, ano em que o índice subiu 1,4 ponto percentual após a constância identificada no período de 2012 a 2015, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Desenvolvimento do índice de perdas no país.



Fonte: adaptado de SNIS (2020).

Em 2013 foi lançado o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) pelo Ministério das Cidades, contendo diretrizes, metas e ações para o Brasil no horizonte de 20 anos (2014 - 2033) (ABES, 2015). O PLANSAB surge trazendo metas específicas para o índice de perdas na distribuição, estabelecendo metas a serem alcançadas a curto, médio e longo prazo por região do país. Em 2019 o PLANSAB sofreu atualização e na última versão

estabelece a meta nacional de índice de perdas de 34% para 2023 e 31% para 2033. Além da meta nacional, existem metas para cada região do país. A Tabela 2 apresenta além das metas regionais, o histórico do índice de perdas no Brasil segundo resultados do SNIS.

Tabela 2 – Metas do PLANSAB por região para 2023 e 2033.

Região	Histórico				Metas	
	2016	2017	2018	2019	2023	2033
<b>Norte</b>	47,3	55,1	55,5	55,2	41%	33%
<b>Nordeste</b>	46,3	46,3	46,0	45,7	41%	33%
<b>Sudeste</b>	34,7	34,4	34,4	36,1	32%	29%
<b>Sul</b>	36,3	36,5	37,1	37,5	32%	29%
<b>Centro Oeste</b>	35,0	34,1	35,7	34,4	31%	29%

Fonte: Adaptado de Relatório de Avaliação Anual do Plansab (2021) e SNIS.

## 2.3 COMPONENTES DAS PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

### 2.3.1 Perdas Reais

A perda real ou física é definida, de acordo com Tsutiya (2006), como sendo correspondente ao volume de água produzido que não chega ao consumidor final devido à ocorrência de vazamentos nas adutoras, redes de distribuição e reservatórios, bem como de extravasamentos em reservatórios setoriais.

Manzi (2020) salienta que as perdas reais são ocasionadas principalmente em decorrência de vazamentos, possuindo relação direta com os tipos de materiais das redes, ramais e reservatórios, além de hábitos de manutenção e operação.

O Quadro 3 abaixo descreve a origem e magnitude das perdas físicas em cada etapa do sistema de abastecimento de água.

Quadro 3 – Origem e magnitude das perdas físicas em cada etapa do SAA.

	Subsistema	Origem	Magnitude
Perdas físicas	Adução de água bruta	Vazamentos nas tubulações Limpeza do poço de sucção	Variável, função do estado das tubulações e eficiência operacional
	Tratamento	Vazamentos estruturais Lavagem de filtros Descarga de lodo	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional
	Reservação	Vazamentos estruturais Extravasamentos Limpeza	Variável, função do estado das tubulações e eficiência operacional
	Adução de água tratada	Vazamento nas tubulações Limpeza do poço de sucção Descargas	Variável, função do estado das tubulações e eficiência operacional

	Distribuição	Vazamentos na rede Vazamentos em ramais Descargas	Significativa, função do estado das tubulações e principalmente das pressões
--	--------------	---	--

Fonte: Ministério das Cidades (2003).

Tardelli (2015) salienta que os vazamentos visíveis representam pouco na totalização dos volumes perdidos pois a grande maioria dos vazamentos nas redes e ramais não aflora à superfície. Além disso, o autor afirma que os ramais prediais são os pontos mais frágeis da rede de distribuição, verificando-se a ocorrência do maior número de falhas. Apesar disso, o Documento Técnico de Apoio DTA nº2 do Ministério das Cidades (2003) reitera que nem sempre as falhas nos ramais seja a causa maior de perda em termos de volume, pois estas ocorrem por extravasamento de reservatórios ou em vazamentos nas adutoras de água tratada e nas tubulações da rede de distribuição.

Para um entendimento mais profundo das componentes de perda física, Alegre et al. (2005) discrimina as parcelas de perdas, além dos extravasamentos de reservatórios, em outros três diferentes tipos de vazamentos:

- Perdas de base: ocorrem através de pequenas fugas, indetectáveis com os equipamentos de detecção correntemente disponíveis; são tipicamente caracterizadas por fluxos baixos, longa duração e grandes volumes;
- Perdas por fuga ou ruptura reportadas: são tipicamente caracterizadas por fluxos altos, curta duração e volumes moderados.
- Perdas por fuga e ruptura passíveis de identificação através da detecção ativa de fugas: são tipicamente caracterizadas por fluxos médios e duração e volumes dependentes da política de controlo ativo de perdas seguida.

Uma maneira de determinar as perdas reais é estimando os demais componentes que compõem a vazão mínima noturna – VMN. Manzi (2020) define a vazão mínima noturna como sendo a menor vazão horária registrada durante o dia, normalmente entre 3h e 5h da madrugada. Esta, é formada por perdas reais principalmente, mas também por uma parcela de consumo noturno e de perdas inerentes ou inevitáveis.

O limite técnico para as Perdas Reais foi estabelecido pela IWA por meio de uma formulação para se chegar aos valores para cada sistema em função de parâmetros físicos (extensão de redes, número de ramais, dados físicos do ramal) e operacionais (pressão média) (ABES, 2015). A expressão proposta pela IWA, segundo Manzi (2020), não possui

adaptações para as realidades de outros países, visto que foi obtida por meio de observações no Reino Unido, e o resultado é muito sensível ao valor adotado da pressão média.

### 2.3.2 Perdas Aparentes

A perda aparente ou não física, de acordo com Tsutuyia (2006), se refere ao volume de água consumido, mas não contabilizado pela companhia de saneamento, decorrente de erros de medição nos hidrômetros e demais tipos de medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas no cadastro comercial. Nesse caso a água é efetivamente consumida, mas não é faturada.

As perdas aparentes impactam diretamente no faturamento da companhia, pois quanto melhor a eficiência da micromedição e mais preciso o cadastro comercial, maior tenderá a ser o faturamento (SNSA, 2018). O Quadro 4 abaixo descreve a origem e magnitude das perdas não físicas ou aparentes.

Quadro 4 – Origem e magnitude das perdas aparentes.

	<b>Origem</b>	<b>Magnitude</b>
Perdas de faturamento	Ligações clandestinas/irregulares; Ligações não hidrometradas; Hidrômetros parados; Hidrômetros que submedem; Ligações inativas reabertas; Erros de leitura;	Podem ser significativas dependendo de: procedimentos cadastrais e de faturamento, manutenção preventiva, adequação de hidrômetros e monitoramento do sistema.

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2003).

As perdas aparentes têm a mesma natureza dos consumos, pouco dependendo das pressões médias, especialmente na presença de sistemas de reservação intradomiciliares, que normalizam a pressão a que estão submetidos os pontos de consumo (SNSA, 2018).

Não se criou estritamente um "limite técnico" para perdas aparentes, mas sim um "valor referencial", estipulado como sendo equivalente a 5% do volume micromedido no respectivo sistema, cujos imóveis abastecidos não se utilizam de caixas d'água domiciliares (ABES, 2015). Segundo Tardelli (2015) a existência de caixas d'água domiciliares com válvula de boia potencializa a submedição dos hidrômetros e, portanto, é fator de aumento das perdas aparentes. Sendo assim, a ABES (2015) salienta que neste caso, o valor referencial de perdas aparentes inevitáveis deveria ser maior que 5%. Manzi (2020) cita que alguns autores sugerem valores de até 10% ou 12% para o total de perdas aparentes inevitáveis.

## 2.4 BALANÇO HÍDRICO

As perdas ocorrem em todas as fases de um sistema de abastecimento de água (captação e adução de água bruta, no tratamento, na adução e reservação de água tratada e na distribuição) e podem ser avaliadas, em geral, medindo-se a vazão (ou volume) no ponto inicial de uma fase e medindo-se novamente a vazão no ponto final dessa fase: a diferença constitui, portanto, a perda (TSUTIYA, 2006).

Nos sistemas de abastecimento de água, o caso mais emblemático e mais comum é a determinação das perdas a partir das estações de tratamento de água, incorporando as eventuais perdas na adução, reservação e distribuição (TSUTIYA, 2006).

Tardelli (2015) afirma que apesar da valoração do total das perdas ser simples, o mesmo não ocorre na diferenciação do valor das perdas reais e das perdas aparentes. O autor sugere que, para isso, há que se realizar ensaios de campo ou assumir hipóteses para determinar o valor de uma delas e, por diferença, resultar no valor da outra.

Melato (2010) descreve o método “top-down”, que consiste em avaliar as perdas por meio do cálculo do balanço hídrico “de cima para baixo”, ou seja, pelo volume de água que entra no sistema menos o volume de água consumido.

Para efeito da aplicação da técnica de balanço hídrico, “Sistema” é algo cuja escala é definida pelo modelador e condiciona os dados de entrada: pode ser um setor de abastecimento qualquer, um DMC, ou parte dos sistemas de abastecimento operados (AESBE, 2015).

A identificação das parcelas de perdas reais e aparentes varia de sistema para sistema, em função de condições locais das redes e dos hidrômetros, e da “cultura” de fraudes, cabendo, para cada caso, um diagnóstico para estimar esse rateio (TARDELLI, 2015).

A *International Water Association* (IWA) procurou padronizar o entendimento dos componentes dos usos da água em um sistema de abastecimento através de uma matriz que representa o Balanço Hídrico, onde se inserem os dois tipos de perdas relatados (ABES, 2013).

O Quadro 5 abaixo representa a matriz do balanço hídrico padronizado pela IWA. Segundo Tsutiya (2006), a elaboração do Balanço Hídrico contextualiza as perdas no sistema, mostrando de forma mais clara e objetiva os conceitos envolvidos na questão.

Quadro 5 – Matriz do Balanço Hídrico.

<b>Volume de Entrada</b>	<b>Consumo Autorizado</b>	Consumo Autorizado Faturado	Volume Faturado Medido	Volume Faturado
			Volume Faturado Não Medido	
		Consumo Autorizado Não Faturado	Volume Não Faturado Medido	Volume de Água Não Faturada
			Volume Não Faturado Não Medido	
	<b>Perdas de Água</b>	Perdas Aparentes	Submedição	
			Clandestinos/Falhas de Cadastro	
			Fraudes	
		Perdas Reais		

Fonte: Adaptado de ABES (2003).

Os componentes do balanço hídrico estão descritos a seguir, conforme definição apresentada no Guia Prático da AESBE (2015):

- **Volume de Entrada no Sistema:** Corresponde ao volume anual de água que ingressou efetivamente no(s) sistema(s) distribuidor(es).
- **Volume Faturado:** Corresponde à soma do Volume Faturado Medido com o Volume Faturado Não Medido.
- **Volume Faturado Medido:** Volume anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações de água e que deram origem ao faturamento.
- **Volume Faturado Não Medido:** Volume anual de água entregue nas ligações sem hidrômetros e que foram faturadas.
- **Consumo Autorizado Faturado:** Corresponde ao Volume Faturado.
- **Consumo Autorizado:** Corresponde à soma de Consumo Autorizado Faturado com Consumo Autorizado Não Faturado.
- **Consumo Autorizado Não Faturado:** Corresponde à soma de Volume Não Faturado Medido com Volume Não Faturado Não Medido
- **Volume Não Faturado Medido:** Corresponde a volumes anuais medidos, cujo uso é autorizado pelo prestador de serviços, mesmo sem terem gerado faturamento. Exemplo: Usos próprios, purgas de rede, lavagem de reservatórios, combate a incêndios, etc.
- **Volume Não Faturado Não Medido:** Corresponde a volumes anuais não medidos (portanto estimados), cujo uso é autorizado pelo prestador de serviços, mesmo sem terem gerado faturamento. Usos próprios, purgas de rede, lavagem de reservatórios, combate a incêndios, etc.

- Perdas Aparentes: Corresponde à soma dos volumes de Consumo Não Autorizado com os volumes de Inexatidão do Hidrômetros e Erros no Manuseio de Dados.
- Consumo Não Autorizado: Corresponde a volumes anuais de água entregues a usuários de forma não autorizada pelo prestador de serviços, como no caso de fraudes nos medidores, *by passes* e ligações clandestinas, ou outras formas peculiares à realidade do prestador de serviços.
- Submedição nos Hidrômetros e Erros no Manuseio de Dados: Corresponde a volumes anuais de água entregues aos usuários que deixaram de ser registrados pelos hidrômetros, por ineficiência destes. Inclui ainda volumes não registrados devido a práticas erradas de leitura ou qualquer tipo de violação à integridade dos dados medidos pelos hidrômetros.
- Perdas Reais: Corresponde ao volume anual obtido subtraindo do Volume de Entrada, os valores de Consumo Autorizado e das Perdas Aparentes. O resultado corresponde as perdas de água ocorridas em vazamentos no sistema.
- Perdas de Água: Corresponde à soma do Volume de Perdas Aparentes com o Volume de Perdas Reais.

Tsutiya (2006) considera o Balanço Hídrico uma poderosa ferramenta de gestão, pois daí podem ser gerados diversos indicadores de desempenho para o acompanhamento das ações técnicas, operacionais e empresariais. Melato (2010) ainda alega que o balanço hídrico é a forma mais simples e fácil de fazer a auditoria das águas, sendo utilizada no mundo todo. A autora elenca as principais vantagens do uso da ferramenta, descritas a seguir:

- Facilidade de utilização;
- Aplicação em sistemas de tamanhos variados ou partes do sistema;
- Disponibilidade dos dados da macromedição e micromedição nas prestadoras de serviços de saneamento;
- Custo reduzido.

Por se tratar de uma técnica de modelagem, a AESBE (2015) informa que o balanço hídrico, por definição, é modelado para um Grau de Confiança de 95% e as incertezas de medição/estimativas associadas a cada dado de entrada idealmente devem ser informadas nos modelos. Brito (2012) salienta que existe uma relação direta entre a precisão e confiabilidade do balanço hídrico com a precisão da medição do volume distribuído (macro-medição) na

entrada no sistema/setor e volume consumido (micromedição), sendo a validação da informação gerada uma parte importante e integrante da realização de um balanço hídrico.

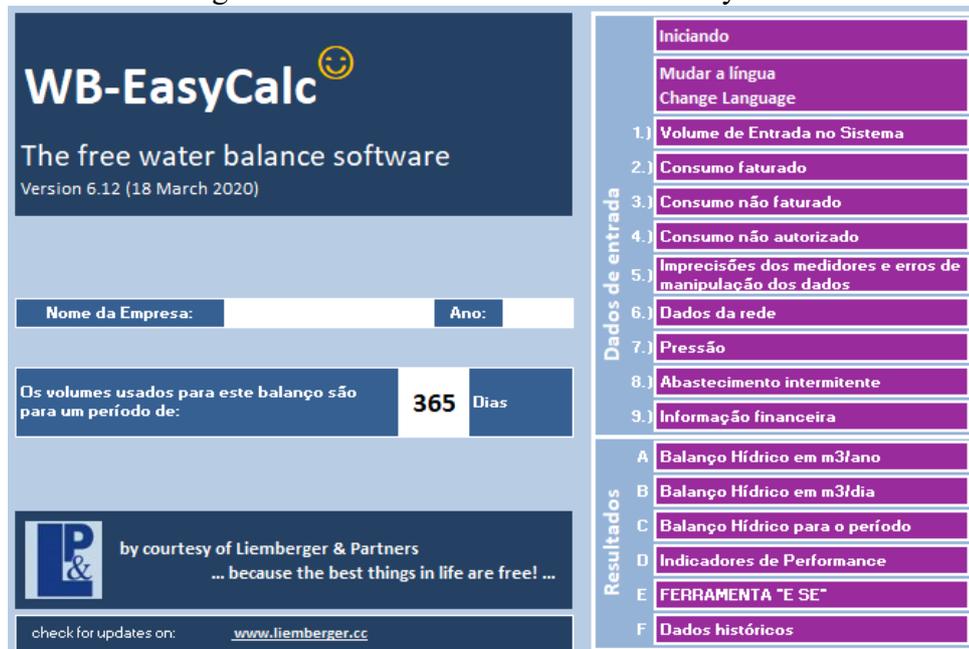
#### 2.4.1 Ferramenta WB-EasyCalc

Manzi (2020) afirma que atualmente há vários métodos e técnicas disponíveis para realização de Balanços Hídricos periódicos – normalmente anuais para amortecer o efeito da sazonalidade – com ferramentas práticas e acessíveis no modelo de planilhas eletrônicas. AESBE (2015) deduz que o mais conhecido é o WB-EasyCalc, desenvolvido por Roland Liemberger e parceiros e disponibilizado pelo Banco Mundial em várias línguas.

A versão 6.12 do software gratuito WB-EasyCalc, que segue o padrão IWA, calcula além dos componentes da matriz do balanço hídrico, alguns indicadores de performance de perdas totais, reais e aparentes.

A interface do software WB-EasyCalc está apresentada na Figura 2, onde é possível verificar os dados de entrada necessários e os possíveis resultados a serem gerados. O software é no formato de uma planilha Excel, e cada item da interface referente a um dado de entrada ou resultado, possui uma aba separada para inserção de informações ou visualização de resultados.

Figura 2 – Interface do Software WB-EasyCalc.



Fonte: WB-EasyCalc (2021).

O WB-EasyCalc contempla nove componentes para inserção de dados de entrada, os quais se dividem em subgrupos, conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 – Dados de entrada do WC-EasyCalc.

<b>COMPONENTES DOS DADOS DE ENTRADA</b>		<b>SUBGRUPOS</b>
<b>1</b>	<b>Volume de entrada no sistema</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonte de água</li> <li>• Margem de erro</li> </ul>
<b>2</b>	<b>Consumo faturado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo medido faturado</li> <li>• Consumo medido não faturado</li> </ul>
<b>3</b>	<b>Consumo não faturado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo medido não faturado</li> <li>• Consumo não medido não faturado</li> </ul>
<b>4</b>	<b>Consumo não autorizado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ligações clandestinas</li> <li>• Hidrômetros violados, by-passes em clientes registrados</li> <li>• Consumo médio per capita</li> </ul>
<b>5</b>	<b>Imprecisões dos medidores e erro de manipulação de dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Submedição</li> <li>• Margem de erro</li> </ul>
<b>6</b>	<b>Dados referente a rede de distribuição</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprimento da rede</li> <li>• Comprimento médio do ramal</li> <li>• Número de clientes registrados</li> <li>• Número de clientes ativos</li> <li>• Número de clientes inativos</li> <li>• Margem de erro</li> </ul>
<b>7</b>	<b>Pressão na rede</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressão média na rede</li> <li>• Número de ligações</li> <li>• Margem de erro</li> </ul>
<b>8</b>	<b>Abastecimento intermitente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de ligações aproximado</li> <li>• Tempo de abastecimento</li> </ul>
<b>9</b>	<b>Dados financeiros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarifa média de água</li> <li>• Custo variável de produção e distribuição</li> </ul>

Fonte: Adaptado de WB-EasyCalc (2021).

## 2.5 MEDIDAS DE COMBATE DAS PERDAS DE ÁGUA EM REDES DE ABASTECIMENTO

O controle de perdas em sistemas de abastecimento de água, segundo Manzi (2020), trata-se de uma necessidade cada vez mais atual, tanto do ponto de sustentabilidade hídrica, quanto pelo aspecto de eficiência econômica e sobrevivência financeira das próprias empresas de saneamento.

Morais et al. (2002) elencam algumas dificuldades na tomada de decisões no que diz respeito a priorização das alternativas para implantação de um sistema de redução de perdas, quando se trata de avaliações de aspectos subjetivos, tais como: impactos sociais, compatibilidade com as metas das concessionárias, influência na melhoria da manutenção e controle operacional.

O sucesso das ações contínuas para a redução de perdas na companhia de saneamento, segundo Tsutiya (2006), leva aos seguintes resultados:

- Melhor performance econômica da companhia, revertendo tal benefício em tarifas mais baixas aos clientes;
- Postergação de novos investimentos na ampliação dos sistemas de produção, adução e reservação de água.

Tardelli (2015) salienta que nos episódios de crise hídrica, as perdas reais são as que mais requerem atenção nas ações de redução de perdas, embora não deva ser esquecido que o combate às perdas aparentes também pode ter reflexos diretos na produção de água, na medida em que cerceia os desperdícios e o consumo fraudulento de água.

As ações de combate as perdas aparentes custam relativamente menos, pois não demandam obras de grande porte e os benefícios são valorados por tarifas médias. Sendo assim, as ações de controle das perdas aparentes frequentemente têm retorno do investimento mais rápido que os das perdas reais (SNSA, 2018).

A eficácia de uma gestão ativa para controle de perdas de água está diretamente ligada a setorização da rede, onde o sistema como um todo é dividido em diversos subsistemas em que as perdas de água podem ser calculadas individualmente. Alegre et al. (2005) salienta que o estabelecimento de zonas de reduzidas dimensões (zonas de medição e controle) é também uma das medidas mais importantes do controle de perdas de água.

O Quadro 7 resume as medidas de combate das perdas de água, em consonância com as causas avaliadas no presente trabalho. A seguir, serão detalhadas as ações para redução das perdas reais e aparentes, separadamente.

Quadro 7 - Estratégias de redução e controle de perdas de água.

<b>Tipo de perda</b>	<b>Causa</b>	<b>Campo de atuação</b>	<b>Ações / Atividades</b>
Real	Pressão média	Controle de vazamentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pesquisa e detecção de vazamentos não visíveis</li> <li>-Tempo efetivo de reparo (vazamentos visíveis e não- visíveis)</li> <li>-Redução do índice de retrabalho no reparo de vazamentos</li> <li>-Melhoria da qualidade da execução dos serviços de reparo e instalação de redes e ramais (treinamento e certificação, execução e fiscalização)</li> <li>-Melhoria da qualidade dos materiais</li> <li>-Remanejamento ou reabilitação de redes de distribuição</li> <li>-Instalação, operação e manutenção de VRPs</li> <li>-Instalação, operação e manutenção de Boosters</li> <li>-Implantação de setores ou ressetorização</li> <li>-Gerenciamento de rede / Pontos de controle</li> </ul>
Real	Setorização		
Real	Densidade de ligações / Vazamentos em ramais		
Real	Tempo médio de reparos		
Real	Frequência de fugas ou rupturas		
Real	Extravasamento de reservatório	Controle de extravasamentos / vazamentos de reservatórios	-Melhoria das condições operacionais e estruturais dos reservatórios e aquedutos
Aparente	Idade do parque de hidrômetros	Melhoria na micromedição	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Vistoria das ligações com taxa fixa</li> <li>-Troca otimizada de hidrômetros</li> <li>-Levantamento da situação de hidrômetros inclinados</li> </ul>
Aparente	Erros de medição por deficiente dimensionamento		
Aparente	Leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores		
Aparente	Erro de leitura ou registro		
Aparente	Ausência de micromedição	Controle de volumes em áreas invadidas ou favelas	-Áreas invadidas/Favelas: medição ou estimativa de volumes consumidos
Aparente	Ligações clandestinas ou irregulares	Combate a fraudes e irregularidades na ligação	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Análise do consumo de água das ligações</li> <li>-Detecção e regularização de imóveis com abastecimento irregular</li> <li>-Ligações inativas e situação cadastral</li> </ul>

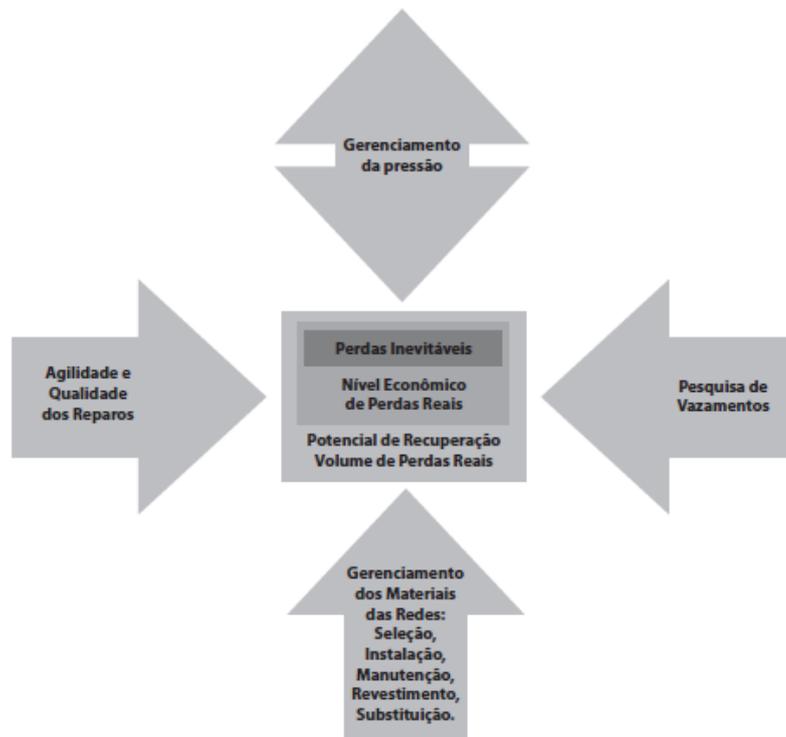
<b>Tipo de perda</b>	<b>Causa</b>	<b>Campo de atuação</b>	<b>Ações / Atividades</b>
Aparente	Ausência de macromedição	Aumento da confiabilidade da macromedição	-Implantação do sistema de macromedição -Operação e manutenção da macromedição -Medição dos volumes produzidos -Medição dos volumes dos setores de abastecimento

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2006).

### 2.5.1 Ações para redução das perdas reais

As ações para diminuir as perdas reais tem o objetivo de minimizar o volume distribuído, que se perde através dos vazamentos (SANTOS; MONTENEGRO, 2014). Os quatro principais componentes de um programa efetivo de controle e redução de perdas reais são representados através da Figura 3, denominado como Cruz de Lambert (FUNASA, 2014). Segundo Melato (2010), o quadro interno da Cruz de Lambert representa as perdas reais anuais inevitáveis, o quadro intermediário representa o nível econômico de perdas reais e o quadro externo representa o nível atual de perdas, que é o volume potencialmente recuperável por meio das ações indicadas.

Figura 3 - Cruz de Lambert para perdas reais.



Fonte: FUNASA (2014).

Seguindo a lógica da Cruz de Lambert, Tardelli (2015) evidencia a causa principal das perdas reais é diretamente relacionada a qualidade da infraestrutura e aos vazamentos causados principalmente pela pressão de serviço, além das condições de assentamento das tubulações, do tráfego, etc. Sendo assim, o autor indica que as ações básicas para o combate às perdas reais são:

- Gerenciamento de pressões, em que, no contexto da setorização da rede de distribuição, se busca operar com pressões de serviço adequadas,

complementando com a utilização de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) em áreas mais baixas ou boosters em pontos mais altos da rede;

- Controle ativo de vazamentos, que se dedica a encontrar os vazamentos não visíveis nas tubulações por meio de técnicas acústicas de detecção (contrapõe-se ao “controle passivo”, que repara apenas os vazamentos que afloram à superfície do terreno);
- Reparo dos vazamentos visíveis e não visíveis detectados, com agilidade e qualidade na execução;
- Renovação da infraestrutura, substituindo as tubulações (redes e ramais) que estão com maior incidência de vazamentos.

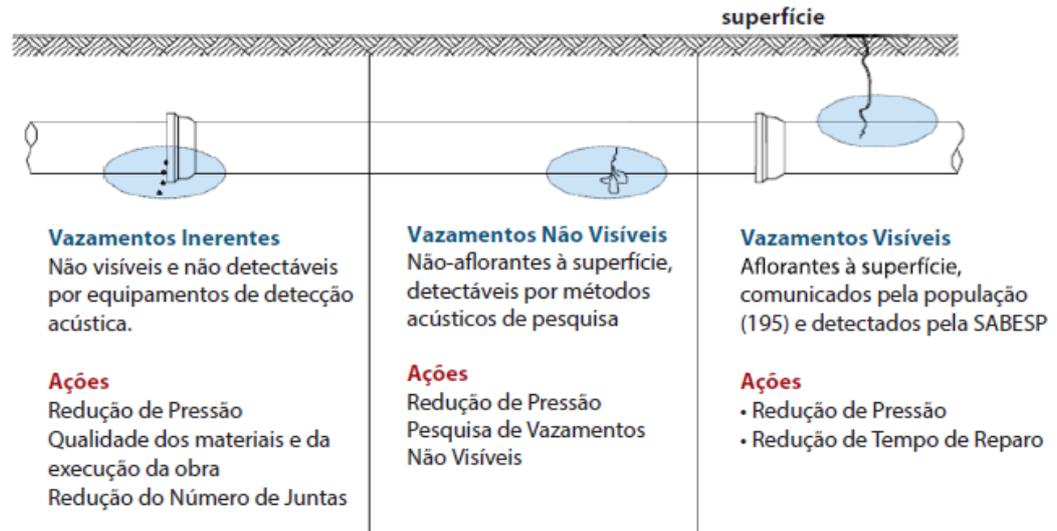
A pressão média possui relação direta com o volume das perdas físicas, sendo sua redução responsável por diminuir a frequência de novos vazamentos e da vazão perdida naqueles já existentes (MANZI, 2020). Heller e Pádua (2016) salientam que dentre os vários fatores que deve-se ter em conta na avaliação e controle das perdas, o mais importante, com forte influência, é a pressão de operação da rede.

Patrício (2007) descreve que os setores de abastecimento devem ser subdivididos por zonas de pressão em função da topografia e das pressões estática e dinâmica, que obedecem a limites prefixados, como capacidade de reservação, pressões máximas e mínimas, diâmetro da rede de abastecimento, entre outros.

Com a setorização, em caso de ocorrência de vazamento, é possível isolar apenas uma pequena região afetada, sem a necessidade de suspender o fornecimento de água para vários bairros ao redor (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2020). Além disso, a vantagem de setorização da rede está relacionada com o tempo de reparo da mesma, visto que se há verificação do nível de pressurização em cada setor, uma pesquisa de vazamentos pode ocorrer em uma área muito menor e com isso o tempo de detecção diminuir significativamente.

O fato da grande maioria das redes estarem enterradas gera grande dificuldade em inspeções e detecções de vazamentos considerados não visíveis, ou seja, que não afloram (SANTOS, 2018). A FUNASA (2014) classifica as ações de combate por tipo de vazamento (inerentes, não visíveis e visíveis), conforme Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Ações de combate a vazamentos.



Fonte: FUNASA (2014).

Tsutiya (2006) apresenta dois métodos principais para serem aplicados no planejamento da pesquisa de vazamentos:

- Pesquisa sem medição: priorização das áreas a serem pesquisadas de acordo com o histórico de ocorrência de vazamentos, pressões altas ou idade das redes.
- Pesquisa com medição: nesse caso são utilizados as zonas de pressão, onde são medidas as vazões diárias e as vazões mínimas noturnas e priorizadas as áreas através do indicador denominado Fator de Pesquisa.

O Fator de Pesquisa se trata da relação entre a vazão mínima noturna e a vazão média, e quanto maior o seu valor, maior o potencial de vazamentos. Manzi (2020) define este indicador como sendo um método simples para acionar ou não a pesquisa de vazamentos em um setor ou DMC, sendo que quando for superior a 0,30 indica existência de vazamentos.

### 2.5.2 Ações para redução de perdas aparentes

As ações de redução e controle de perdas aparentes demandam esforço continuado, aliando o emprego de tecnologias adequadas de medição de água a políticas firmes de educação ambiental, comunicação social, controle de fraudes e sistemas de atualização cadastral (SNSA, 2018).

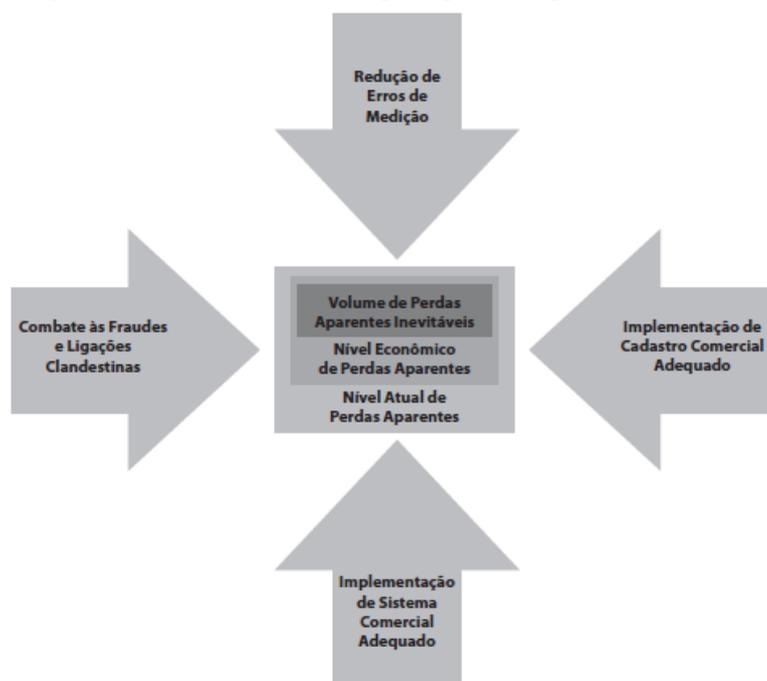
Para COPASA (2003), a redução das perdas aparentes, que são basicamente de caráter gerencial, possibilita o aumento da receita tarifária, melhorando a eficiência dos serviços prestados, o desempenho financeiro e, indiretamente, amplia a oferta efetiva de água.

Tardelli Filho (2015) indica que as limitações no combate as perdas aparentes estão relacionadas a fatores técnico-operacionais dos medidores, realçadas pela idade de instalação na rede e pelas variações do fluxo d'água neles. O autor indica que as ações imprescindíveis para redução desse tipo de perda são:

- Substituição periódica dos hidrômetros (preventiva) e imediata dos hidrômetros quebrados (corretiva);
- Combate às fraudes, a partir de denúncias, análises de variações atípicas de consumo ou quaisquer outros indícios ou evidências;
- Aprimoramento da gestão comercial das companhias (cadastros e sistemas comerciais).

Similarmente à cruz de Lambert para perdas reais, também se elaborou a cruz da estratégia de ataque às perdas aparentes ilustrada na Figura 5 a seguir. O ataque às perdas aparentes pode ser feito diretamente a um dos seus subgrupos ou através de ações isoladas, dependendo da característica e da evolução das práticas operacionais de cada localidade (COPASA, 2003).

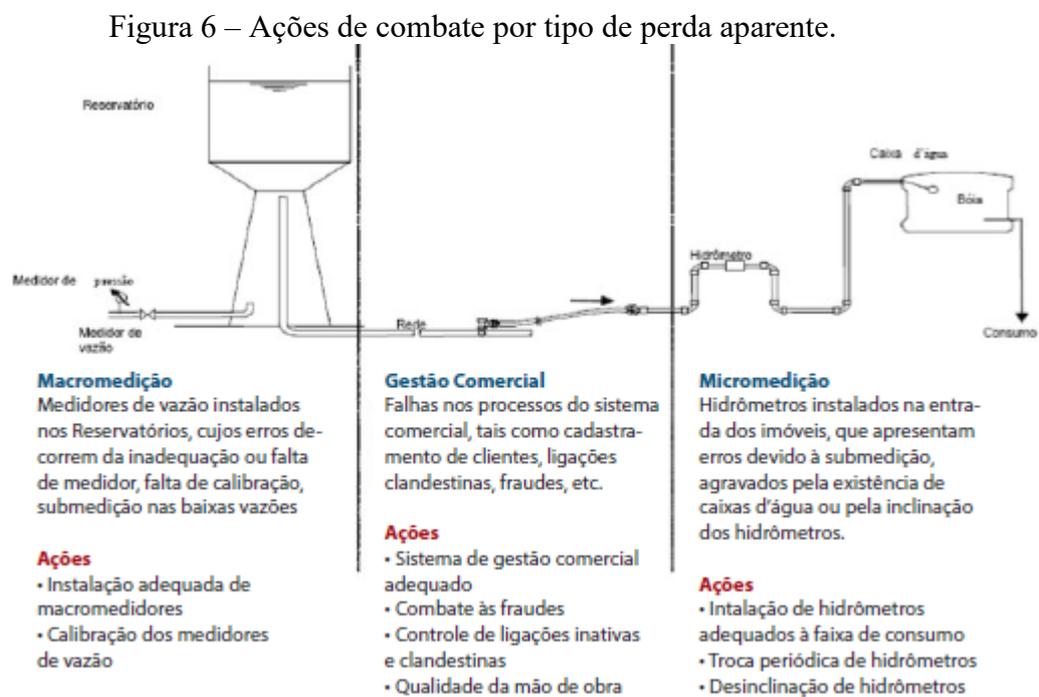
Figura 5 - Cruz de Lambert para perdas aparentes.



Fonte: FUNASA (2014).

Segundo Gularte (2005), a submedição no parque de hidrômetros, é considerada a maior parcela das perdas aparentes. O Ministério das Cidades (2003) considera que estas perdas de água ocorrem de diversas formas no processo de medição, sendo estas por uso de caixa d'água entre rede pública e pontos de consumo, hidrômetros superdimensionados, hidrômetros inclinados e hidrômetros com ciclo de vida útil extrapolado.

A FUNASA (2014) ainda classifica as ações de combate por tipo de perda aparente, conforme Figura 6 a seguir. As estratégias para redução das perdas aparentes estão descritas a fim de solucionar as perdas recorrentes na macromedição, na gestão comercial e na micromedição, separadamente.

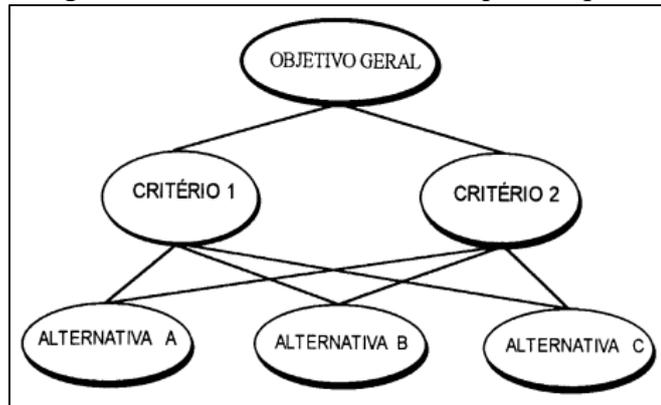


Fonte: FUNASA (2014).

## 2.6 MÉTODO DE ANÁLISE HIERARQUICA - AHP

Como o próprio nome sugere a metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) estrutura um problema de decisão na forma de uma hierarquia (NOGUEIRA, 2002). O Método AHP, após a divisão do problema em níveis hierárquicos, determina, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao final do método (SILVA et al., [20--]). A estrutura de uma hierarquia simples é exemplificada na Figura 7 a seguir.

Figura 7 - Estrutura de uma hierarquia simples.



Fonte: Nogueira (2002).

Segundo Briozo e Musetti (2015), para a construção do método, existe a necessidade de seguir três passos para se chegar ao resultado final que são: decomposição do problema em critérios; análise comparativa paritária entre os critérios por meio de uma escala numérica; e síntese das prioridades por meio do cálculo de autovetores ou análise do mínimo quadrado.

Após elencar os critérios e estrutura-los de modo hierárquico, faz-se o julgamento em pares de comparação de modo a responder qual elemento satisfaz mais o objetivo principal e qual a intensidade de importância um tem sobre o outro.

Nogueira (2002) explica que a quantificação dos julgamentos, realizados par-a-par, é feita com a ajuda de uma escala padronizada e apresenta a escala de julgamentos de nove níveis, proposta por Saaty e apresentada a seguir na Tabela 3.

Tabela 3 – Escala numérica para análise comparativa entre os critérios.

Definição	Escala numérica	Escala qualitativa
Não existe diferença de contribuição entre os elementos comparados, ao elemento do nível superior adjacente	1	Elementos iguais
A contribuição de um dos elementos é levemente superior a do outro	3 ou 1/3	Fraca importância de um elemento sobre o outro
Um elemento é fortemente dominado pelo outro	5 ou 1/5	Importância forte de um elemento sobre o outro
É notório a preferência de um elemento sobre o outro	7 ou 1/7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro
A contribuição de um elemento domina em absoluto	9 ou 1/9	Importância absoluta de um elemento sobre o outro
Servem para se obter uma maior precisão nos julgamentos	2 (1/2), 4 (1/4), 6 (1/6), 8 (1/8)	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty apud Nogueira (2002).

Das matrizes de comparação dos critérios são calculados os autovetores máximos e os autovalores máximos. O procedimento de cálculo para ambos elementos serão descritos a seguir, conforme indicado por Briozo e Musetti (2015).

O cálculo do autovetor máximo é dado pelo cálculo dos somatórios dos pesos da avaliação, coluna a coluna. Posteriormente é realizada a normalização da matriz de comparação, dividindo cada elemento da matriz original pelo somatório dos pesos da avaliação da coluna correspondente. A Figura 8 apresenta um exemplo dessa etapa de cálculo, com critérios denominados como “A”, “B” e “C”.

Figura 8 - Cálculo do somatório dos pesos da avaliação

	A	B	C
A	1	9	7
B	1/9	1	3
C	1/7	1/3	1
$\Sigma$	1,25	10,33	11,00

Fonte: Adaptado de Briozo e Musetti (2015).

Ainda, faz-se o somatório novamente da matriz normalizada linha a linha, e divide-se cada somatório pelo somatório dos somatórios, conforme exemplo da Figura 9 e Tabela 4.

Figura 9 - Matriz de comparação par a par normalizada.

	A	B	C	$\Sigma$
A	0,797	0,871	0,636	2,305
B	0,089	0,097	0,273	0,458
C	0,114	0,032	0,091	0,237
$\Sigma$				3,000

Fonte: Adaptado de Briozo e Musetti (2015).

Tabela 4 – Cálculo do Autovetor Máximo.

Cálculo	Autovetor
2,305/3,000	0,768
0,458/3,000	0,153
0,237/3,000	0,079

Fonte: Adaptado de Briozo e Musetti (2015).

Ainda segundo os autores, o próximo passo é calcular o autovalor máximo, por meio da multiplicação da matriz original pelo autovetor máximo obtido na Tabela 4.

Figura 10 - Cálculo do autovalor máximo.

$\begin{bmatrix} 1 & 9 & 7 \\ 1/9 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	x	$\begin{bmatrix} 0,768 \\ 0,153 \\ 0,079 \end{bmatrix}$	=	$\begin{matrix} 2,70 \\ 0,48 \\ 0,24 \\ \hline \Sigma & 3,41 \end{matrix}$
				<b>autovalor máx ou <math>\lambda_{\text{máx}}</math></b>

Fonte: Adaptado de Briozo e Musetti (2015).

Com os valores de autovalor máximo são elencados os pesos de cada critério, sendo o maior valor correspondente ao maior peso. Segundo Silva et al. ([20--]), os valores finais das alternativas são gerados a partir de um processo de agregação, conforme expressão (1) a seguir:

$$f(A_j) = \sum_{i=1} w(C_i) \times v_i(A_j) \quad (1)$$

Onde:

$w(C_i)$  = peso do critério  $i$ ;

$v_i(A_j)$  = vetor de prioridades da alternativa  $j$  em relação ao critério  $C_i$

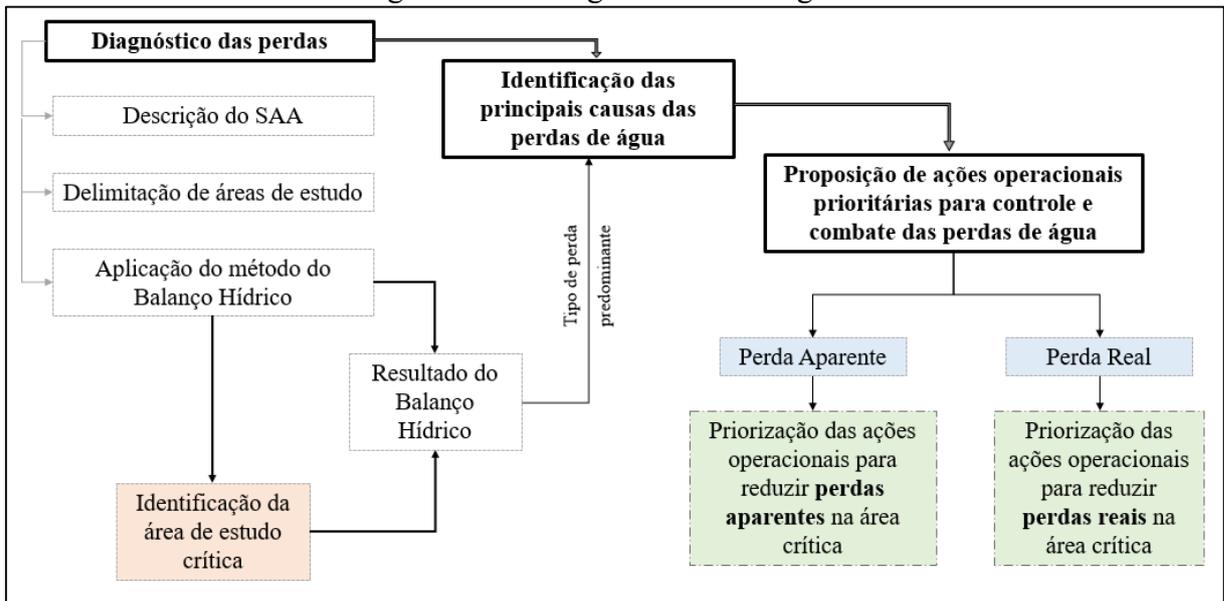
Desta forma, determina-se uma ordenação global das alternativas por intermédio de uma função global de valor (SILVA et al., [20--]).

### 3 METODOLOGIA

Pretende-se por meio do diagnóstico das perdas de água no sistema de distribuição de Imbituba em diferentes setores, diagnosticar uma área de estudo crítica e propor as ações prioritárias para combate e controle das causas do surgimento das perdas na mesma. O período base para o presente estudo é o ano de 2019, de modo a evitar a interferência da pandemia de COVID-19 nos resultados obtidos.

O fluxograma metodológico a ser seguido no presente trabalho está apresentado na Figura 11 e descrito nos itens posteriores.

Figura 11 - Fluxograma metodológico.



Fonte: Elaboração própria (2021).

### 3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE IMBITUBA/SC

A caracterização da área de estudo foi realizada com base nos dados do último censo desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em 2010, além dos dados estimados para 2020. A descrição do município também contou com informações e indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, como população total atendida com abastecimento de água, número de economias e ligações, índice de hidrometação e índice de perdas.

Além das fontes citadas, foram coletadas informações em contato direto com a equipe operacional do SAA com enfoque nos dados referentes ao ano de 2019. A escolha do ano a ser analisado visou evitar a influência da pandemia de COVID-19 nos resultados e avaliar o funcionamento normal do sistema de abastecimento de água em questão.

As referências utilizadas para apresentar o sistema de abastecimento de água foram obtidas principalmente do Plano de Saneamento Básico Participativo de Imbituba – PSBPI (2015) e do último Plano de Emergência e Contingência – PEC (2019) disponibilizado no portal da Agência de Regulação de Serviços Públicos de Santa Catarina – ARESC.

O Plano de Saneamento Básico Participativo do município foi elaborado em 2015 e sua atualização encontra-se em andamento. Durante a elaboração do presente trabalho, foi disponibilizado no site da prefeitura uma versão preliminar da revisão do plano, elaborado em

abril de 2021, pela qual serviu de base para validação das informações previamente selecionadas e obtenção de dados relevantes.

A espacialização dos dados obtidos foi elaborada por meio de mapas com auxílio do software *ArcGIS*. Os dados de entrada em formato *shapefile* foram extraídas dos documentos descritos acima (PSBPI, PMSB, PAC e demais relatórios da ARES) e localizados com auxílio das imagens de satélite no software *Google Earth*. Para melhor compreensão da variação topográfica da área de estudo, foi obtida a elevação digital do terreno do município no portal de Sistemas de Informação Geográfica do governo de Santa Catarina – SIGSC na escala de 1:10.000.

### **3.1.1 Caracterização geral do município**

O município de Imbituba localiza-se na região sul do litoral do estado de Santa Catarina, possui área de 181,577 km<sup>2</sup> (IBGE, 2020) e se encontra a cerca de 96 km de distância da capital, Florianópolis. Imbituba faz divisa com os municípios de Laguna, ao sul, Imaruí, a oeste, e Garopaba e Paulo Lopes, ao norte, conforme apresentado no APÊNDICE A.

O município apresenta, conforme estimativa do IBGE para 2020, 45.286 habitantes. Conforme último censo do IBGE, a população do município, em 2010, era de 40.170 habitantes.

#### *3.1.1.1 Hidrografia*

O município de Imbituba localiza-se na Bacia Hidrográfica do Rio d'Una, pertencente a Região Hidrográfica do Sul Catarinense (RH 09) segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos de SC (2017). Segundo o PSBPI (2015) Imbituba está inserida no contexto regional do sistema lagunar da planície costeira do território catarinense, sendo seus principais recursos hídricos: Rio d'Una, Rio Araçatuba, Lagoa do Mirim e Lagoa de Ibiraquera.

O rio d'Una tem suas nascentes na região do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, município de Paulo Lopes (PMSB, 2020) e percorre o limite oeste do município de Imbituba até chegar na lagoa do Imaruí, conforme ilustrado no APÊNDICE B.

Ainda conforme o diagnóstico físico do PMSB de Imbituba (2020), quando o rio d'Una passa pelo município de Imbituba, destaca-se a região de cultivo de arroz irrigado que se estende até as imediações de sua foz no sistema lagunar das lagoas de Imaruí e Mirim. Também fazem parte dessa região drenagens independentes que deságuam no sistema lagunar.

O rio d'Una possui 60 km de extensão (CERTI, 2017) e atualmente é fonte de água para o abastecimento público de água do município de Imbituba e parte de Garopaba. A área de contribuição do Rio d'Una totaliza cerca de 658 km<sup>2</sup> (CERTI, 2017).

### *3.1.1.2 Hipsometria*

As cotas no município de Imbituba variam entre 0 e 516 metros em relação ao nível do mar com base no arquivo MDT disponibilizado pela SDS. Apesar da variação de mais de meio quilômetro de altura dentro do território municipal, os picos de altitude ocorrem de forma concentrada e as serras são cobertas de vegetação nativa. A maior cota constatada fica no morro entre o Rio d'Una e a BR-101, no extremo norte do município. Também pode-se notar alturas mais elevadas no morro entre a lagoa de Imaruí e o centro da cidade.

A maior parte do município, onde encontram-se as aglomerações urbanas, situam-se em regiões a cerca de 0 a 28 metros em relação ao nível do mar. O PMSB (2020) salienta a exceção das localidades de Vila Nova Alvorada e Praia do Rosa, estando estas, localizadas em regiões de maior altitude média. O APÊNDICE C apresenta o mapa hipsométrico de Imbituba/SC.

### **3.1.2 Descrição do sistema de abastecimento de água**

O sistema de abastecimento de água de Imbituba foi concedido à Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN desde o ano de 1972. Entre prorrogações e novos contratos celebrados pela companhia, a CASAN permaneceu gerindo o SAA até 2014, quando o município assumiu isoladamente a gestão do sistema. De acordo com o plano (PSBPI, 2015), a operação e manutenção do sistema de abastecimento de água é realizada atualmente pela empresa Serrana Engenharia Ltda.

Na atualização do PMSB (2021) é ressaltado que, atualmente, as competências sobre o saneamento municipal se encontram em processo de transição, passando, da prefeitura, para o Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAMAE, criado pela Lei Municipal n° 4.906/2018.

Atualmente, o SAA de Imbituba possui duas fontes de água, superficial e parte subterrânea importada do município vizinho. A captação de água no manancial superficial direciona a água para a ETA Principal e é responsável por mais de 90% da demanda municipal. Já a captação subterrânea é direcionada a ETA Itapirubá pertencente ao município de Laguna. O SAA de Imbituba além de atender o próprio território, exporta água para atendimento de parte do município de Garopaba.

A produção total do sistema abastecimento é de cerca 127 l/s, atendendo 100% da área total do município (SNIS, 2019). O relatório de fiscalização da ARESC GEFIS nº 034/2020 (ARESC, 2020) contrapõe o dado apresentado pelo SNIS, onde consta um índice de atendimento de 99% da população imbitubense.

De acordo com o SNIS (2019), a distribuição é realizada através de aproximadamente 327,35 km de rede e de cerca de 18.421 ligações, atendendo a 21.647 economias. Além disso, índice de hidrometração do município é de 100%.

O índice de perdas do sistema de abastecimento de Imbituba conforme SNIS de 2019 é de 39,22%, próximo à média brasileira (39,2%). Mais informações gerais sobre o sistema de abastecimento de água de Imbituba referente a 2019, são apresentadas no Tabela 5.

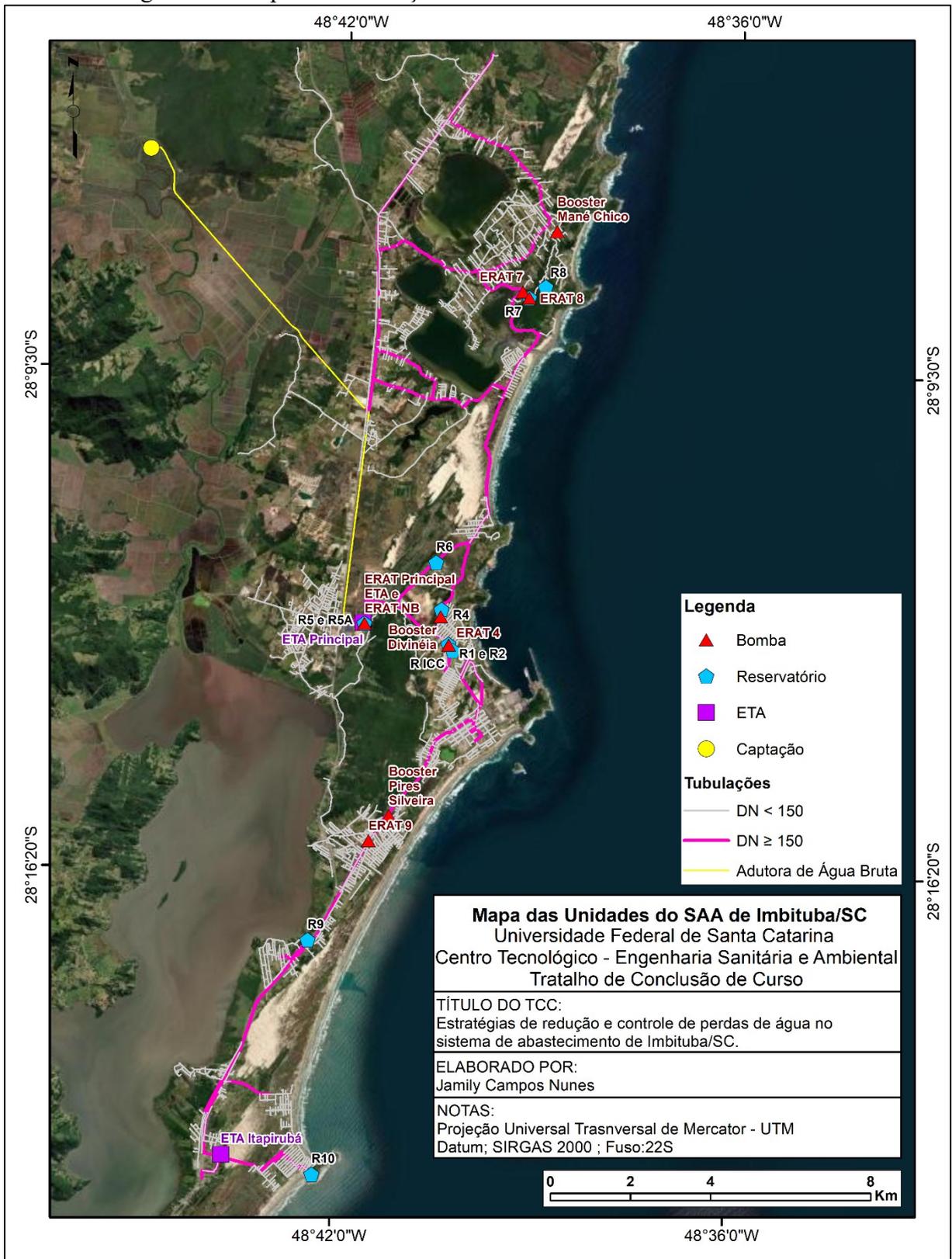
Tabela 5 – Histórico de indicadores do SNIS para caracterização geral do SAA de Imbituba.

<b>Ano</b>	<b>2019</b>	<b>2018</b>	<b>2017</b>	<b>2016</b>	<b>2015</b>
População total do município: (Habitantes)	44.853	44.412	44.076	43.624	43.168
AG001 - População total atendida com abastecimento de água (Habitantes)	44.853	44.412	44.076	43.624	43.168
AG003 - Quantidade de economias ativas de água (Economias)	21.647	25.451	25.073	20.341	19.573
AG005 - Extensão da rede de água (km)	327,35	327	326,5	325,63	324,3
AG021 - Quantidade de ligações totais de água (Ligações)	22.650	22.486	22.152	21.268	20.669
IN009 - Índice de hidrometração (percentual)	100	100	100	100	100
IN022 - Consumo médio percapita de água (l/hab./dia)	147,91	156,2	150,34	107,43	118,45
IN049 - Índice de perdas na distribuição (percentual)	39,22	41,31	39,52	52,97	49,45

Fonte: SNIS (2021).

As unidades existentes no sistema de abastecimento de água de Imbituba estão especializadas na Figura 12 e serão descritas na sequência.

Figura 12 - Mapa de localização das unidades do SAA de Imbituba/SC



Fonte: Elaboração própria (2021).

### 3.1.2.1 Captação

Conforme relatado no item 3.1.1.1, a água captada para abastecimento público em Imbituba é realizada no rio d'Una. O PMSB (2021) relata que a água captada é então recalçada por uma adutora de ferro fundido de 500 mm de diâmetro e 14,48 Km, até a ETA principal.

Figura 13 - Estrutura física da captação.



Fonte: PSBPI (2015).

### 3.1.2.2 Estações de tratamento de água

A ETA Principal possui capacidade máxima de tratamento de 290 l/s e é do tipo convencional, constituído pelas etapas de medição de vazão calha Parshal, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, correção de pH e fluoretação (ARESC, 2020).

Conforme informações fornecidas pela Serrana, a mesma não opera de forma contínua durante o dia. Durante o período compreendido entre abril e novembro o tratamento opera cerca de 16 horas por dia, já no verão são 24 horas por dia.

Figura 14 – Vista geral da ETA.



Fonte: PSBPI (2015).

Figura 15 - ERAT e filtros da ETA.



Fonte: PSBPI (2015).

Já a ETA Itapirubá recebe água de um poço raso de 44 metros e mais 18 ponteiros para a extração máxima de 18,6 l/s de água subterrânea, servindo apenas para suprir a demanda do bairro Itapirubá e demais localidades do norte de Laguna. O tratamento da água

ocorre de maneira simplificada, compreendendo apenas os processos de desinfecção (adição de cloro) e fluoretação (PMSB, 2021).

Figura 16 – ETA Itapirubá.



Fonte: PSBPI (2015).

### 3.1.2.3 Sistema de reservação

O município de Imbituba conta com 10 reservatórios, que totalizam 4.750 m<sup>3</sup> de volume de reservação. Todos possuem sistema de telemetria, com o envio automático e em tempo real dos dados de nível d'água. A Tabela 6 a seguir traz um resumo das informações de todos os reservatórios operando no SAA de Imbituba.

Tabela 6 - Capacidade dos reservatórios existentes no SAA de Imbituba.

Reservatório	Capacidade (m <sup>3</sup> )
<b>R1</b>	727
<b>R2</b>	727
<b>R4</b>	300
<b>R5</b>	20
<b>R5A</b>	346
<b>R6</b>	1.000
<b>R7</b>	1.000
<b>R8</b>	30
<b>R9</b>	350
<b>R10</b>	250

Fonte: PMSB (2021).

### 3.1.2.4 Sistema de bombeamento

O município de Imbituba possui 06 estações de recalque de água tratada, conforme apresentado na Tabela 7. Além disso, a rede de distribuição conta com 03 boosters para atendimento das regiões mais altas, denominados Booster Pires Silveira no Bairro Vila Nova; Booster Divinéia na Vila Nova Alvorada; e Booster Mané Chico na Praia do Rosa.

Tabela 7 - Capacidade das ERATs.

<b>ERAT</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Altura manométrica (mca)</b>
<b>ERAT Principal</b>	-	-
<b>ERAT Nova Brasília ETA</b>	57,6	45
<b>ERAT 4</b>	116	54
<b>ERAT 7</b>	158,4	62
<b>ERAT 8</b>	86	33
<b>ERAT 9</b>	86	33

Fonte: ARESC (2020).

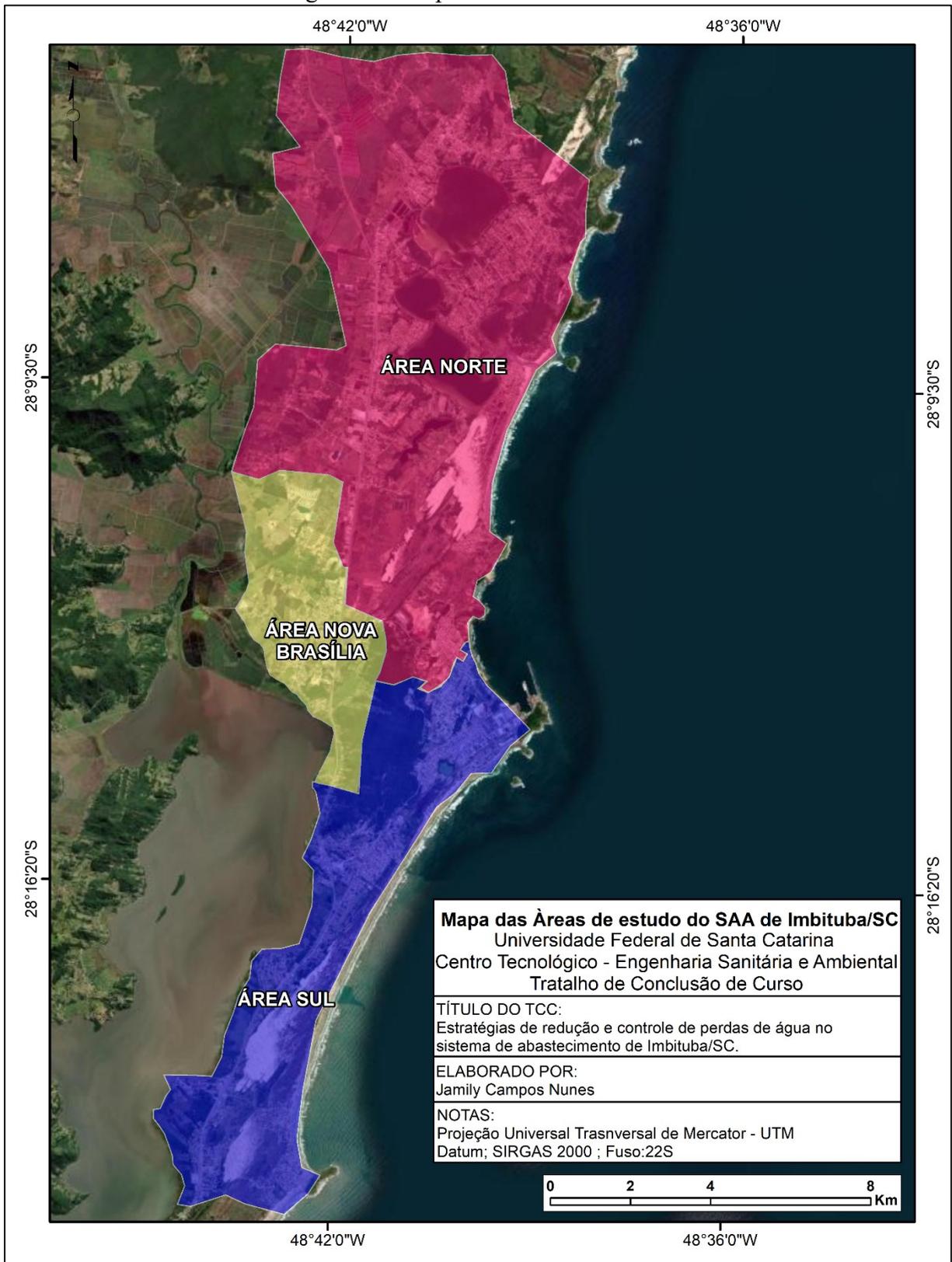
### 3.2 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Conforme indicado no PSBPI (2015) e confirmado com a operadora do sistema, o município de Imbituba não possui setorização conforme indica norma NBR 12.218 (2017). Ainda assim, com intuito de investigar de maneira mais precisa diferentes regiões do sistema de abastecimento, o diagnóstico foi realizado dividindo o sistema, conforme sua configuração atual, na maior quantidade possível de setores isolados hidráulicamente entre si.

A Figura 17 apresenta a região de estudo dividida em três setores independentes: Nova Brasília, Norte e Sul. Para cada setor, foram verificadas a existência de dados que possibilitassem o cálculo dos volumes de entrada e saída de água individualmente, sendo este um dos critérios para delimitação.

Para se ter uma análise mais restrita, a parte do sistema de abastecimento objeto do estudo é definida a partir do volume entregue de reservatórios, estação de bombeamento ou derivação de adutoras, não incluindo as unidades de produção descritas anteriormente. Além disso, a investigação cessa no ponto de micromedição e entrega ao consumidor, ou seja, os vazamentos e desperdício domiciliares que ocorrem após a medição não são contabilizados.

Figura 17 - Mapa das áreas de estudo.



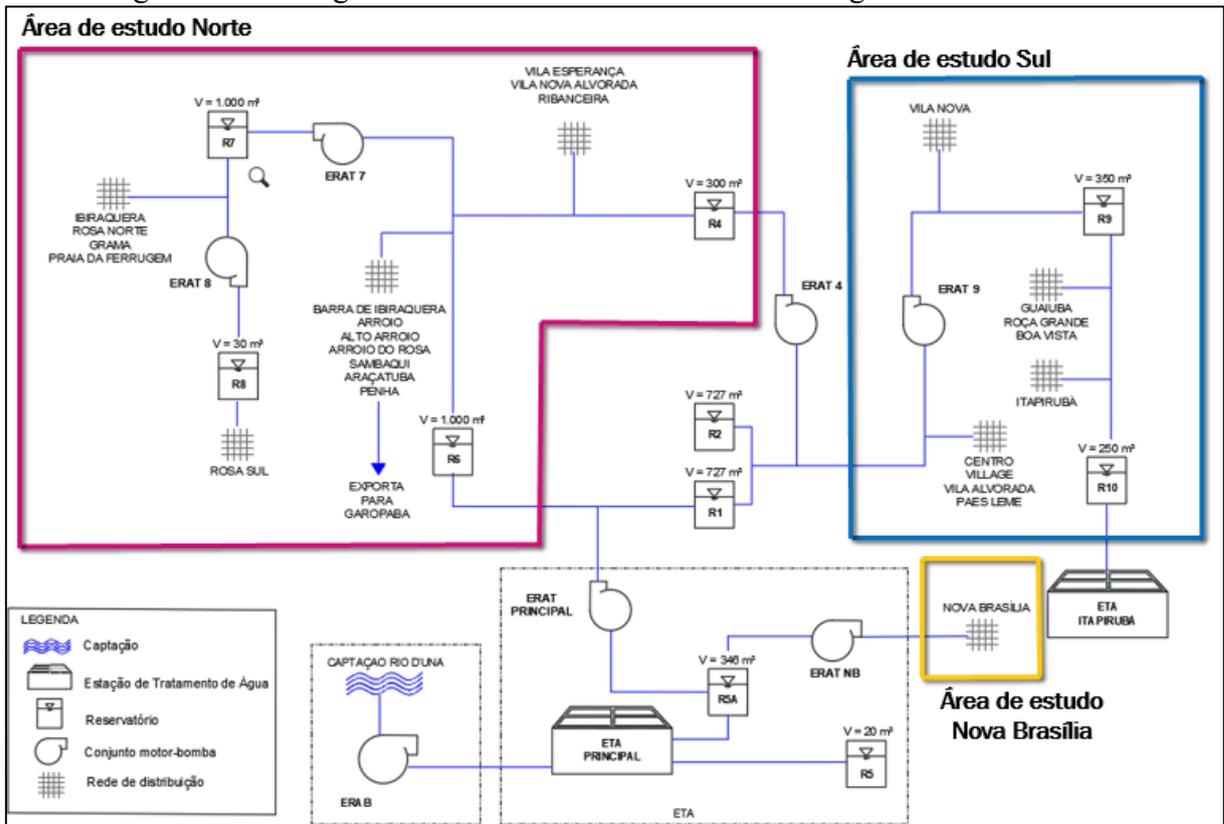
Fonte: Elaboração própria (2021).

Para melhor entendimento do funcionamento da distribuição de água, a Figura 18 mostra um fluxograma geral do sistema, segregado por áreas de estudo e contendo todas unidades operantes.

As áreas estão isoladas hidráulicamente entre si após suas unidades de entrada, sendo estas reservatórios ou estação de bombeamento, conforme descrito a seguir:

- Área de estudo Norte: delimitada pelas áreas de influência dos reservatórios R4 e R6, desconsiderando a parcela exportada para Garopaba.
- A área de estudo Sul: delimitada pelas áreas de influência do R1 e R2, com exceção do reservatório atendido pela ERAT 4, somado a contribuição da ETA Itapirubá.
- Área de estudo Nova Brasília: delimitada pela área de abrangência da estação de bombeamento Nova Brasília, localizada na ETA.

Figura 18 - Fluxograma do sistema de abastecimento de água de Imbituba/SC.



Fonte: Elaboração própria (2021).

### 3.3 BALANÇO HÍDRICO

A seguir serão apresentadas a metodologia utilizada para obtenção de cada dado de entrada do software WB-EasyCalc.

### 3.3.1 Volume de entrada no sistema

#### 3.3.1.1 Fonte de Água

Dentre as áreas de estudo delimitadas, a única que possui macromedição na entrada é a Nova Brasília. A planilha interna de controle da companhia operadora foi disponibilizada e serviu de base para cálculo do volume que abasteceu a região no ano de 2019, onde constam as vazões instantâneas do macromedido na saída da ERAT NB compreendendo todo período entre janeiro e meados de novembro de 2019, com intervalo de tempo médio entre os registros de 241,57 segundos. A Equação (2) calcula o somatório das vazões instantâneas vezes o intervalo de tempo em segundos entre os registros, para todo os passos de tempo registrados, resultando no volume total macromedido nos 10 meses com dados.

$$V_{jan-nov} = \frac{\sum Q_i \times \Delta t_i}{1000} \quad (2)$$

Onde:

$V_{total}$  = Volume total de entrada na área entre janeiro e meados de novembro [m<sup>3</sup>];

$Q_i$  = Vazão instantânea no passo de tempo  $i$  [l/s];

$\Delta t_i$  = Intervalo de tempo de medição em relação ao anterior [s].

O resultado da Equação (2) foi corrigida para os dias onde houve falha de registro, sendo estes:

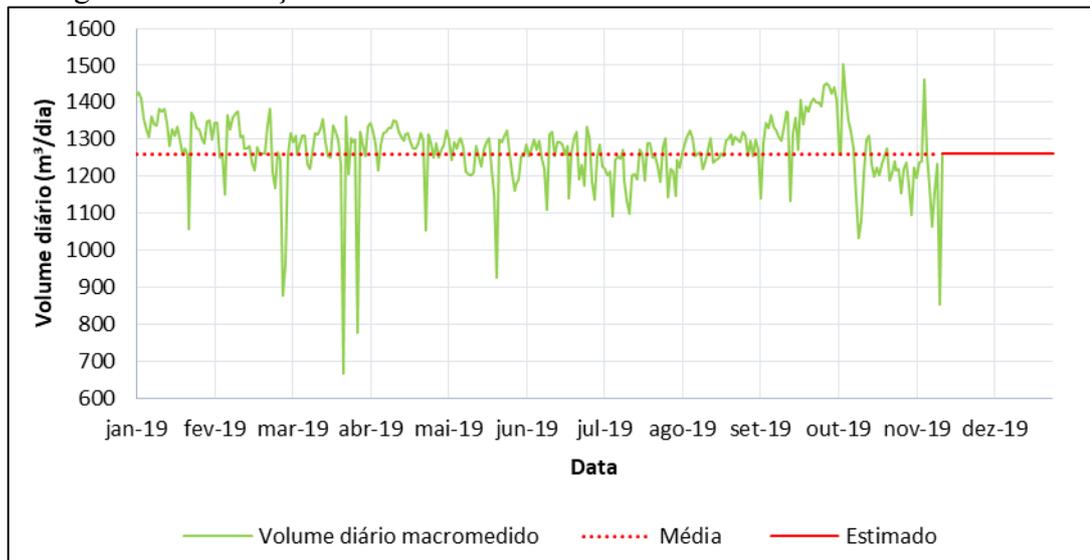
- a) Dias 19 de janeiro e dias 19, 20 e 21 de fevereiro onde foram registradas vazões instantâneas esparsas durante o dia, com períodos de mais de 12 horas sem qualquer dado registrado;
- b) Dias 07 e 08 de outubro, onde o macromedidor acusou vazão nula durante 23 horas e 26 minutos;
- c) E nos dias 10 e 11 de novembro onde houve um pico no registro de vazão instantânea para 212,06 l/s, que ultrapassa a capacidade da ERAT NB.

Em contato com a Serrana Engenharia, foi confirmado a acusação destes dados como espúrios. Portanto, adotou-se o volume médio diário para os 6 dias citados nos itens “a” e “b”, e foi corrigido os picos de vazão descritos no item “c” para vazão instantânea média de 14,6 l/s;

Quanto ao período com dados faltantes na área de estudo Nova Brasília, de meados de novembro e todo mês de dezembro, ocorreu por problemas no macromedidor. O volume de

água produzido para Nova Brasília nesse período foi estimado a partir da média diária registrada no restante do ano. O gráfico da Figura 19 apresenta a variação do consumo macromedido diário na área de estudo Nova Brasília, a média e o período estimado.

Figura 19 – Variação do volume médio diário na área de estudo Nova Brasília.



As demais áreas de estudo tiveram a fonte de água estimada por meio do indicador IN025 – Volume Disponibilizado por Economia apresentado no SNIS (2019), cujo cálculo é realizado a partir do Volume Produzido de Água no sistema, ou seja, considera as perdas reais no sistema. Para isso, obteve-se a média do número de economias no ano de 2019 e estimou-se o volume de entrada no setor para população residente nas áreas, conforme Equação (3).

$$V_{total} = V_e \times E \times 12 \quad (3)$$

Onde:

$V_{total}$  = Volume total de entrada na área [m<sup>3</sup>];

$V_e$  = Volume disponibilizado por Economia IN025 [m<sup>3</sup>/mês/economia];

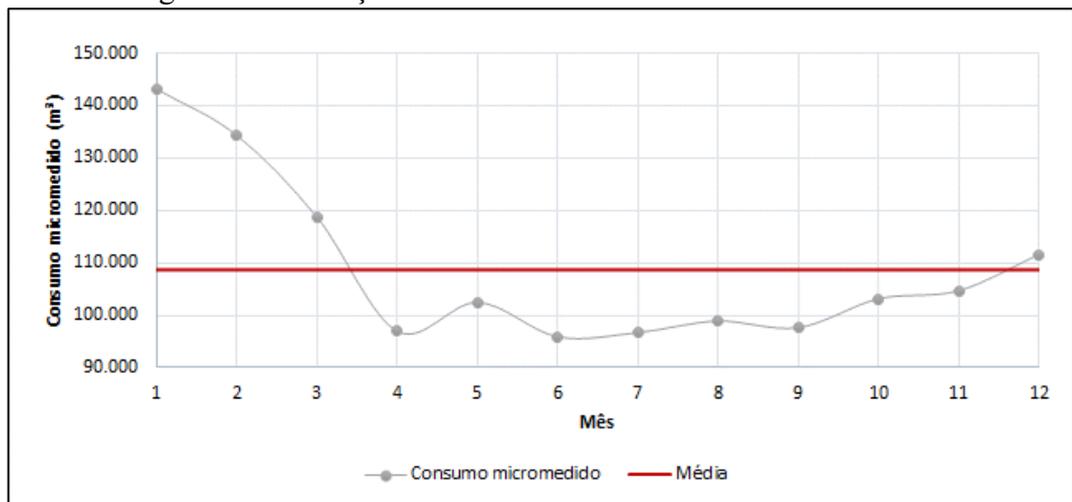
$E$  = Média do número de economias no ano [economia].

Para fins de validação e comprovação do método adotado para estimativa de volume de entrada nas áreas de estudo Norte e Sul, foi aplicada a Equação (3) para a área de estudo Nova Brasília e o resultado foi comparado com o volume macromedido. O valor estimado (468.462 m<sup>3</sup>) superou o volume macromedido em apenas 2%, estando condizente portanto com a região.

Foram consideradas as populações flutuantes das áreas Sul e Norte, baseada na taxa de incremento média populacional de Imbituba obtida no PSBPI (2015) de 71,53% e número de habitantes residentes calculado para cada área com base nos setores censitários do último censo do IBGE (2010). Visto que o aumento de turistas no município não ocorre durante todo ano, foram analisados os comportamentos das curvas de consumo nessas regiões de modo a considerar o incremento da população flutuante apenas no período onde a curva extrapola a média em mais de 10%, ou seja, onde a demanda de água aumenta significativamente.

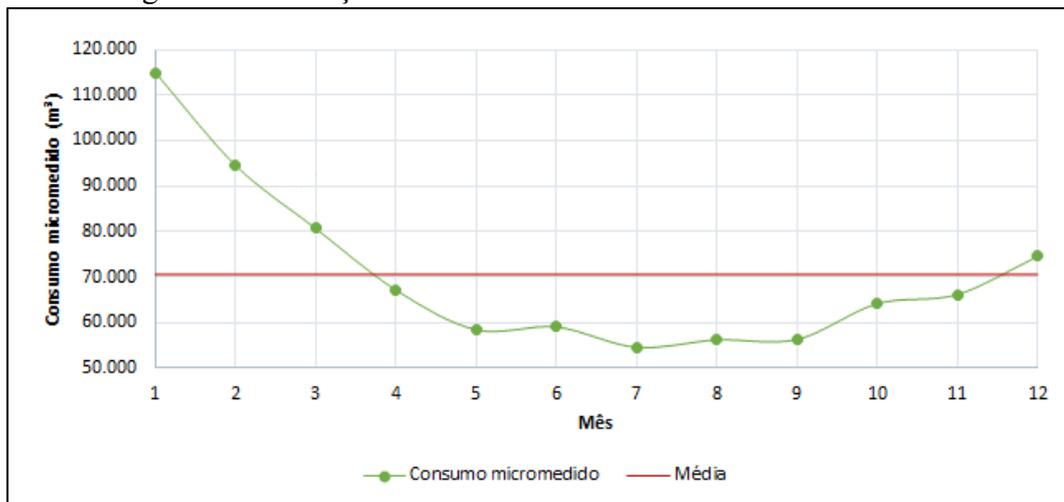
As Figura 20 e Figura 21 apresentam as curvas de consumo nas regiões norte e sul, além da média dos volumes mensais micromedidos em 2019. Sendo assim, na área de estudo Norte foi considerado incremento médio de 71,53% da população residente nos meses compreendidos entre janeiro a março, e o mesmo incremento médio foi aplicado na região sul nos meses entre janeiro e fevereiro.

Figura 20 - Variação do consumo mensal na área de estudo Sul.



Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 21 - Variação do consumo mensal na área de estudo Norte.



Fonte: Elaboração própria (2021).

Com a taxa de incremento populacional e o consumo per capita do município (item 3.3.4.2), pode-se estimar o incremento de volume anual de água produzida para atender a população flutuante por meio da Equação (4).

$$V_{Pop.flutuante} = \frac{p \times P \times n}{1000} \quad (4)$$

Onde:

$V_{Pop.flutuante}$  = Incremento de volume de entrada pela população flutuante [m³];

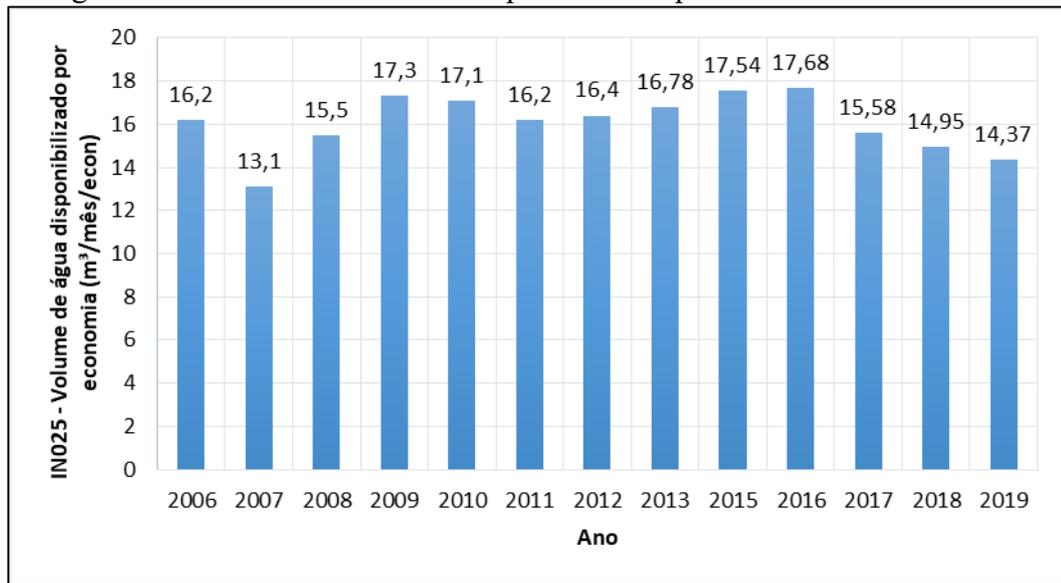
$p$  = Consumo per capita [l/hab.dia];

$P$  = População flutuante [hab];

$n$  = número de dias com presença de população flutuante [dias].

A margem de erro da fonte de água adotada no balanço hídrico das áreas de estudo Norte e Sul foram obtidas a partir do erro associado a variação do valor do indicador IN025 do SNIS entre os anos de 2006 a 2019, visto que este foi um dado de entrada na estimativa de água das áreas em questão. O gráfico da Figura 22 apresenta a variação do indicador ao longo dos anos, sendo o erro associado a este igual a 5%.

Figura 22 - Histórico do volume disponibilizado por economia em Imbituba.



Fonte: SNIS (2019).

Já na área de estudo Nova Brasília, a margem de erro adotada é de 0,5%, referente ao que consta no próprio catálogo do fabricante do modelo de macromedidor Krohne Conaut - KC 2000F/6, existente na saída da ERAT NB.

### 3.3.2 Consumo faturado

#### 3.3.2.1 Consumo medido faturado

O consumo faturado foi extraído das leituras dos consumos micromedidos em ligações ativas presentes nas áreas de estudo. Para obtenção destes dados, foram solicitadas a operadora do sistema as planilhas referentes aos meses do ano de 2019 com os consumos exibidos por ligação para toda cidade de Imbituba/SC.

Para segregar os dados de consumo micromedido por área de estudo, os mesmos foram alocados espacialmente de maneira aproximada aos locais de origem com base na informação de bairro, setor comercial e endereço pertencente, descrito na própria planilha de consumo citada anteriormente. Os setores comerciais abrangem uma série de medidores e são delimitados em mapas de localização disponibilizados pela operadora.

Além disso, em casos onde a leitura do hidrômetro resulta em um volume micromedido no mês menor  $10 \text{ m}^3$ , o faturamento é de  $10 \text{ m}^3$  pois é a taxa mínima vigente. A AESBE (2015) frisa que, para respeitar o conceito do balanço de massas, só pode registrar os volumes efetivamente micromedidos. Logo, quando os volumes micromedidos são menores

que o volume faturado, o valor considerado para o balanço hídrico é o correspondente ao volume medido pelo hidrômetro.

#### *3.3.2.2 Consumo não medido faturado*

O consumo não medido faturado diz respeito às vendas de água que a concessionária pode realizar dentro da sua operação porém sem medição. Segundo informações da companhia operadora, no ano de 2019 houve venda de água em situação emergencial para a cidade de Imaruí, por meio de caminhão-pipa. Porém, por se tratar se uma situação esporádica e de pouca significância do ponto de vista quantitativo, o volume de venda correspondente foi desconsiderado da análise.

Vale ressaltar que ocasionalmente outras empresas procuram a operadora do sistema de abastecimento de Imbituba para compra de água, e quando a mesma é realizada, geralmente há medição no ponto de coleta.

### **3.3.3 Consumo não faturado**

Os componentes de volume gasto em usos operacionais, administrativos e especiais foram investigados em conjunto a companhia responsável pela operação do SAA Imbituba. Já em relação a diferença na estimativa de consumo não medido faturado, este foi considerado nulo visto que o município apresenta um índice de cobertura de micromedição de 100%.

#### *3.3.3.1 Consumo medido não faturado*

O consumo medido não faturado corresponde as ligações de água isentas de faturamento. Conforme relatado pela companhia que opera o SAA, nenhuma categoria de consumo é isenta de faturamento, sendo considerado nulo portanto.

#### *3.3.3.2 Consumo não medido não faturado*

Segundo informações da Serrana Engenharia, no ano de 2019 foram realizadas 13 descargas de rede/cavalete com objetivo de manutenção de trecho com comprimento irrelevante, considerado insignificativo para o presente estudo. Seria considerado significativo em caso de descarga completa, pois neste caso haveria um tempo expressivo de enchimento de toda a rede de distribuição novamente.

Para as limpezas de reservatórios, o procedimento padrão da concessionária é de fechar a entrada do mesmo, permitindo o consumo até alcançar o nível mínimo do

reservatório. Por fim, não há descarte da água prévio para preparar a estrutura para limpeza, e portanto, é estimado descarte de apenas 5 m<sup>3</sup> nos reservatórios de maior porte. Sendo assim, o volume destinado a limpeza de reservatórios presentes nas áreas de estudo foram considerados insignificativos.

As demais manutenções não possuem registro dos volumes perdidos. Sendo assim, para o grupo “Consumo não medido não faturado”, foi adotado valor nulo pelas questões justificadas anteriormente.

### **3.3.4 Consumo não autorizado**

#### *3.3.4.1 Hidrômetros violados, by-passes em clientes registrados e ligações clandestinas*

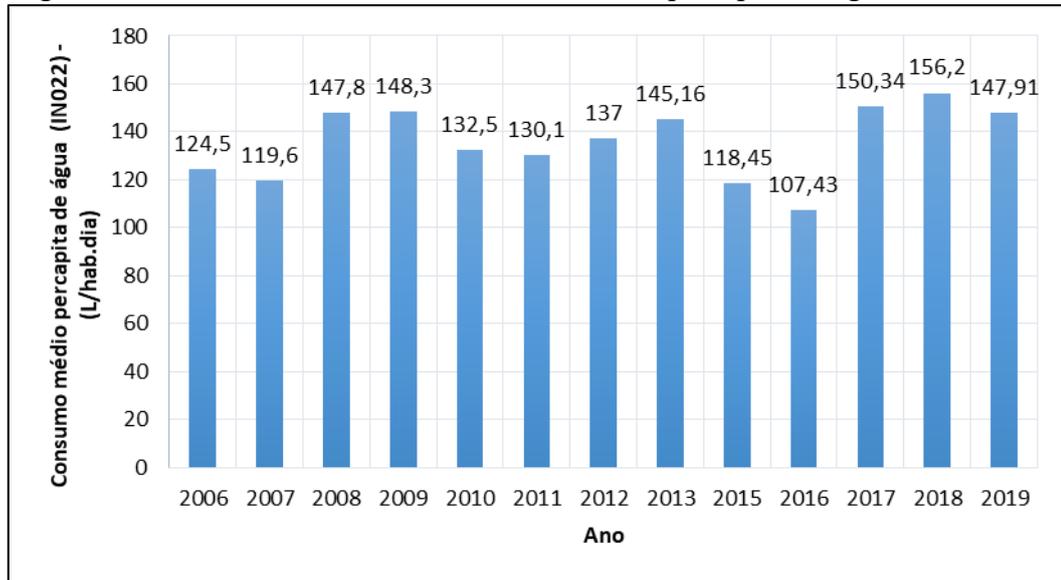
Segundo informações da equipe operacional do SAA de Imbituba, houveram em 2019, 63 ocorrências registradas referentes a fraudes ou ligações irregulares. A listagem de ocorrência disponibilizada consta com endereço das mesmas, tornando possível a segregação por área de estudo. A margem de erro adotada para este grupo foi de 5%.

Quanto a hidrômetros violados e by-passes em clientes registrados, foi considerando nulo por não haver esse tipo de detalhamento nas informações disponibilizadas pela operadora.

#### *3.3.4.2 Consumo médio per capita*

Para embasar a estimativa de consumo médio per capita, foi extraído o histórico do indicador correspondente no SNIS para o município, com enfoque nos últimos três anos de dados visto que houve um aumento significativo nesse período (Figura 23). Em 2019 o indicador resultou em 147,91 l/hab.dia, porém calculando a média de 2017 a 2019 o resultado é de 151,48 l/hab.dia. A projeção populacional e estudo de demandas apresentada no PBSIB (2015) utiliza o valor de consumo médio per capita de 150 l/hab.dia para todo horizonte previsto (2015 a 2050). Sendo assim, o valor adotado para o presente estudo é de 150 l/hab.dia para todas as áreas de estudo.

Figura 23 - Histórico do índice de consumo médio percapita de água de Imituba.



Fonte: Adaptado de SNIS (2021).

### 3.3.5 Imprecisões dos medidores e erros de manipulação de dados

#### 3.3.5.1 Submedição

Segundo AESBE (2015), para determinar a submedição média de um parque de hidrômetros, primeiramente é necessário classificar os hidrômetros existentes em função do tempo de instalação (ou idade do hidrômetro), com seus respectivos volumes micromedidos.

Os dados referentes às quantidades e volumes registrados pelos hidrômetros foram obtidos a partir do cadastro comercial da companhia de saneamento, porém não há informação da idade de instalação de todos os micromedidores registrados.

Partindo de um cenário conservador, nas ligações onde não havia informação do ano de instalação do hidrômetro, utilizou-se a data de fabricação dos aparelhos de medição como sendo a data de instalação dos mesmos, o que corresponde a pior situação possível pois simula uma idade de funcionamento maior que a real. Cabe salientar que geralmente não se instala os hidrômetros assim que a compra é efetuada e a data de aquisição do aparelho sempre será posterior a sua fabricação. Em situações onde não havia informação nem do ano de instalação do medidor, nem de sua fabricação, foi utilizado o ano de instalação da ligação na rede de distribuição.

A determinação da submedição é dada pela Equação (5) a seguir.

$$S_i = \frac{VM_i}{IDM_i} - VM_i \quad (5)$$

Onde:

$S_i$  = Volume de Submedição para idade  $i$  [ $m^3$ ];

$VM_i$  = Volume micromedido de um conjunto de ligações com idade  $i$  [ $m^3$ ];

$IDM_i$  = Índice de desempenho da medição para idade  $i$  [%].

A segregação dos dados de consumo micromedido por área de estudo foi realizada de maneira análoga ao item 3.3.2.1.

A Curva de Desempenho da Medição pode variar em função do tipo de hidrômetro, da classe metrológica e da vazão nominal (AESBE, 2015). De acordo com Ferréol (2005, apud. AESBE, 2015) e Depexe e Gasparini (2012, apud. AESBE, 2015), a eficiência do parque cai aproximadamente 1% ao ano.

Diante da ausência de ensaios para obtenção de curvas de desempenho específicas para o parque de hidrômetros, foi adotada uma eficiência inicial de 95% e uma taxa de redução constante de 1% ao ano para hidrômetros de até 10 anos de idade. Os demais, acima de 10 anos de idade, obtiveram eficiência constante de 85%.

A margem de erro de manipulação dos dados foi obtida comparando o consumo total com o consumo micromedido total (Equação (6)). Para isso, calculou-se o consumo total a partir da soma do volume de submedição com o volume micromedido.

$$E = \frac{VMT - CT}{CT} \quad (6)$$

Onde:

$VMT$  = Volume micromedido total [ $m^3$ ];

$CT$  = Consumo total [ $m^3$ ];

### 3.3.6 Redes de distribuição

#### 3.3.6.1 Comprimento de rede

As extensões totais das redes de distribuição e adução de água tratada foram obtidos do cadastro. A partir do cruzamento da delimitação das áreas de estudo com o cadastro da rede dentro do software de geoprocessamento ArcGIS, foi possível segregar o comprimento

de rede para o balanço hídrico de cada área de estudo. A margem de erro adotada para este grupo foi de 5%.

#### *3.3.6.2 Comprimento médio do ramal*

Pela lei complementar nº 4229, de 10 de julho de 2013 (CAMARA MUNICIPAL DE IMBITUBA, 2013), a faixa livre é a área destinada exclusivamente à livre circulação de pedestres nos passeios públicos e deve possuir largura mínima de 1,20 m. Com base nessa lei, estimou-se um valor aproximado para o comprimento médio do ramal de 1,20 metros. Adotou-se uma margem de erro de 20% pois apesar de padronizada por lei, varia bastante na prática.

#### *3.3.6.3 Número de clientes registrados, ativos e inativos*

O número de clientes ativos e inativos foi obtido da planilha de consumo micromedido disponibilizada pela companhia, com segregação por tipo de ligação, sendo estas denominadas “ativas” ou “cortadas”. O número de clientes registrados equivale a soma das economias com ligações ativas e cortadas.

A segregação dos dados de consumo micromedido por área de estudo foi realizada de maneira análoga ao item 3.3.2.1. A margem de erro adotada para este grupo foi de 5%.

### **3.3.7 Pressão na rede**

#### *3.3.7.1 Pressão média na rede*

Pode-se definir Pressão Média como aquela que se obtém em um ponto médio da superfície piezométrica do setor (AESBE, 2015). Ainda segundo a associação, na inexistência de superfície piezométrica, pode-se considerar que o monitoramento de algum ponto da rede ao longo da cota média do setor dará normalmente uma boa indicação da pressão média.

Os arquivos em formato *shapefile* com dados de pressão, recebidos pela empresa que opera o sistema, abrangem boa parte do SAA de Imbituba e um total de 467 registros em pontos diferentes no período de janeiro a dezembro do ano de 2019. A coleta desses dados foi realizada em conjunto com outros procedimentos operacionais, ou seja, na existência de alguma ordem de serviço, aproveita-se para documentar a pressão na rede. A empresa responsável pela operação do SAA passou a documentar essas informações em ambiente SIG para melhorar a gestão de informação, porém o horário em que as medições foram realizadas

ficou limitada ao documento da ordem de serviço correspondente pela qual não se obteve acesso para o presente estudo.

Sendo assim, a pressão média na rede foi obtida para cada área de estudo de maneira análoga. Primeiramente, dividiu-se a área de interesse em faixas topográficas. Posteriormente foi extraída a média dos valores de pressão registrados dentro da faixa topográfica média delimitada anteriormente. Os valores registrados com pressão nula foram desconsiderados do cálculo a fim de representar apenas a rede em operação, ou seja, com água chegando ao consumidor. A margem de erro adotada foi de 5%.

#### *3.3.7.2 Número de ligações*

O número de ligações foi obtido de maneira análoga ao descrito no tópico 3.3.6.3, sob a mesma margem de erro.

### **3.3.8 Abastecimento intermitente**

O Tempo Médio de Abastecimento é um parâmetro de nível de serviço, que indica o quanto é intermitente (ou contínuo) um sistema de abastecimento de água (AESBE, 2015). Visto que, apesar da estação de tratamento de água operar de forma descontínua dependendo da época do ano, o tempo médio de abastecimento foi considerado 24 horas por dia pois todas as áreas de estudo possuem reservação de água, portanto ainda que a produção pare, o abastecimento acontece.

Com exceção da área de estudo Nova Brasília, abastecida diretamente da ETA Principal pela ERAT NB, que recalca água do reservatório R5-A de 346 m<sup>3</sup>. Esta unidade é utilizada como tanque de contato para a dosagem dos produtos químicos na ETA, e também, como poço de sucção das estações de bombeamento instaladas na ETA Principal. Ainda assim, com base nos dados de vazão instantânea, a ERAT NB acusou vazão nula em apenas 26 dias dentro de todo o período registrado, tendo duração de menos de 1 hora em média por dia, com exceção dos dias 07 e 08 de outubro, onde acusou vazão de 0 l/s por mais de 10 horas em ambos os dias. Porém, conforme relatado no item 3.3.1.1, foi verificado com a companhia operadora e não houve ocorrência de desabastecimento, sendo portanto erro de registro do medidor. Somando todos os instantes entre o período de janeiro e meados de novembro onde a vazão macromedida anotada é nula, este corresponde a apenas 0,5% do tempo total registrado. Portanto, por se tratar de esporádicos intervalos de tempo, manteve-se o parâmetro de 24h por dia de abastecimento.

Além disso, vale ressaltar que conforme metodologia do presente trabalho, as perdas de água na produção estão fora do escopo do estudo. A margem de erro adotada para esse parâmetro foi de apenas 1%.

### **3.3.9 Dados financeiros**

#### *3.3.9.1 Tarifa média de água*

A tarifa média de água foi retirada do indicador IN005 – Tarifa média praticada do SNIS de 2019.

#### *3.3.9.2 Custo variável de produção e distribuição*

Utilizou-se o resultado do indicador IN003 – Despesa total com os serviços por m<sup>3</sup> faturado do SNIS de 2019.

### **3.4 IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA CRÍTICA**

Uma das funções da avaliação das perdas de água em um sistema de abastecimento é orientar as ações de controle e redução de perdas. Evidentemente que todas as áreas de estudo avaliadas possuem pontos de melhoria a serem trabalhados com intuito de diminuir as perdas de modo geral. Porém, para elencar estratégias viáveis de execução ao município e visando sugerir as ações mais eficazes, será identificada a área crítica do abastecimento.

Tal priorização baseia-se em uma avaliação global por meio de critérios estabelecidos, de forma a subsidiar a alocação de investimento de tempo e de recursos de uma maneira coerente com o cenário da cidade. Assim, com objetivo similar ao que foi apresentado por Morais et al. (2002), o modelo proposto neste estudo possibilita à gestão uma visão geral do sistema em termos de locais críticos de perdas e tornar-se apta a tomar decisões de grandes consequências, o que proporciona um processo mais transparente, bem como uma maior facilidade na construção de estratégias de ação, a fim de mitigar o problema de perdas de forma mais racional.

O critério principal levado em consideração na avaliação da área crítica é referente ao volume total de perdas, visto que quanto maior as perdas maior a necessidade de ações de combate. De modo a linearizar a comparação entre as áreas de diferentes tamanhos, incorporou-se um fator de escala ao critério analisando-o por quantidade de ligação na rede. A uniformização deste indicador também pode ser realizada por extensão de rede porém,

conforme salienta Alegre et al. apud Pertel, Azevedo e Volschan Junior (2016), sugere-se que sua aplicação deva ser somente efetuada para o caso de densidade de ramais inferior a 20 unidades por quilômetro de rede, valor diferente do característico em áreas urbanas.

Alguns critérios a nível social foram elencados para a análise de área crítica, sendo estes: densidade demográfica, população flutuante e tipo de consumo predominante. Quanto mais pessoas habitando permanentemente ou temporariamente uma área, maior será sua prioridade visto que, em casos de alto índice de manutenções de redes por rupturas – o que evidencia perdas reais – maior a quantidade de pessoas que serão afetadas.

Em relação a população flutuante, vale ressaltar que conforme Fabre e Pfitscher (2010) argumentam, é comum no litoral catarinense casos de impossibilidade da micromedição, principalmente em cidades turísticas onde os imóveis ficam fechados na época da baixa temporada dificultando o acesso do leiturista. Neste casos, pode ser emitida a fatura utilizando-se a média dos últimos meses de consumo, o que distorce o volume total faturado do volume realmente consumido, tendo relação direta com perdas aparentes.

Ainda, pensando sob o viés de perdas aparentes, mais imóveis indicam um maior parque de hidrômetros para gerenciar. No caso de população flutuante significativa em épocas de veraneio, o enorme aumento no consumo pode fazer com que hidrômetros funcionem fora da escala de operação de vazão dos mesmos.

Os tipos de consumidores de Imbituba estão classificados em Residencial, Comercial, Industrial, Público e Residencial Social. Conforme salienta Morais et al. (2010), em casos de sinistro e paradas no abastecimento, podem ocorrer graves consequências a depender do tipo de consumidor predominante na área.

Informações de importação e exportação de água também foram elencadas como critérios de priorização das áreas de estudo. No caso de áreas que importam água de outra cidade, este é um fator de priorização visto que quanto maior as perdas de água maior a demanda e a despesa de compra.

No caso de exportação de água, trata-se de uma região de atenção visto que em caso de manutenção por elevada frequência de vazamentos, outra cidade poderá ficar desabastecida. Além disso, apesar de ser considerada outra cidade, esta faz parte da rede de abastecimento de Imbituba visto que estão interligados.

Após identificados os critérios base para selecionar a área de interesse, os mesmos foram elencados em forma de matriz de comparação dos critérios. Na matriz compara-se par a par cada critério, descrito no item 2.6. A hierarquização se deu a ordem de apresentação dos

critérios na própria matriz, com maior importância para o volume total perdido por número de ligações e menor importância para questão de exportação de água, conforme apresentado na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 - Matriz de comparação de critérios.

<b>Critérios</b>	<b>Perdas totais por ligação</b>	<b>Densidade demográfica</b>	<b>População flutuante</b>	<b>Tipo de consumo predominante</b>	<b>Importa água</b>	<b>Exporta água</b>
<b>Perdas totais por ligação</b>	1	4	5	7	8	9
<b>Densidade demográfica</b>	1/4	1	2	5	7	8
<b>População flutuante</b>	1/5	1/2	1	4	5	6
<b>Tipo de consumo predominante</b>	1/7	1/5	1/4	1	3	2
<b>Importa água</b>	1/8	1/7	1/5	1/3	1	2
<b>Exporta água</b>	1/9	1/8	1/6	1/2	1/2	1

Fonte: Elaboração própria (2021).

Após sequência de cálculos estabelecida pelo método AHP para obtenção do autovetor máximo e autovalor máximo, obteve-se os pesos de cada critério, apresentado na Tabela 9 a seguir. O maior peso calculado refere-se as perdas totais, o que já era esperado visto que a avaliação foi realizada considerando este critério mais forte que os demais.

Tabela 9 – Peso dos critérios.

<b>Critérios</b>	<b>Pesos</b>
<b>Perda total por ligação</b>	3,25
<b>Densidade demográfica</b>	1,53
<b>População flutuante</b>	1,02
<b>Tipo de consumo predominante</b>	0,40
<b>Importa água</b>	0,25
<b>Exporta água</b>	0,19

Fonte: Elaboração própria (2021).

Para validação do resultado da hierarquização dos critérios, calculou-se os indicadores Índice de Consistência (CI) e Razão de Consistência (CR) sugeridos por Briozo e Musetti (2015) por meio das Equações (7) e (8) a seguir.

$$CI = \frac{\lambda_{MAX} - n}{(n - 1)} \quad (7)$$

Onde:

$\lambda_{MÁX}$  = autovalor máximo [adimensional];  
 $n$  = quantidade de critérios;

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

Onde:

$CI$  = Índice de consistência [adimensional];

$RI$  = Índice de consistência aleatória [adimensional];

Para cálculo do CR é necessário o índice de consistência aleatória (RI), que depende do número de critérios da matriz. Para matrizes com quantidade de critérios (n) igual a 6, o valor de RI é de 1,24 (SAATY apud BRIOZO E MUSETTI, 2015).

O resultado da Equação (7) para a matriz da Tabela 8 foi de CI igual a 0,13. Com RI de 1,24 calculou-se pela Equação (8) o valor de CR para a mesma matriz, resultando em 0,10. Briozo e Musetti (2015) aconselham que o índice CI fique abaixo de 0,20 e recomendam também que, caso a Razão de Consistência seja maior do que 0,20, o julgamento do avaliador seja revisto. Sendo assim, com os resultados obtidos é validada a avaliação dos critérios e aplicação do método AHP.

Outros pontos gerais interessantes para tratar como critério de escolha de área prioritária foram dispensados da análise por não haver informação para valoração dos mesmos no SAA de Imbituba, tais como: Variação horária de consumo e energia gasta na distribuição.

Após cálculo dos pesos de cada critério conforme método AHP, fez-se a valoração das áreas de estudo sobre cada critério. A valoração do critério de perdas totais por ligação se baseou nos resultados obtidos nas três áreas de estudo, adotando três faixas para valoração variando de 0,33 a 1 dentro da diferença entre o maior e menor resultado encontrado em l/lig/dia.

A classificação de valoração pela densidade demográfica foi feita com base no número de habitantes por quilômetro quadrado de cada área de estudo, sendo os valores mínimo e máximo entre as três áreas usados como limites extremos da classificação para valoração das mesmas, além de um valor intermediário. A densidade demográfica das áreas de NB, Norte e Sul foram extraídas com auxílio do software ArcGis e extração da malha censitária do IBGE no último censo (2010). Calculou-se a densidade populacional dos setores

de interesse e cruzou-se espacialmente com a delimitação das áreas de estudo, corrigindo o indicador de forma proporcional a parcela de área atendida pelo SAA.

Os critérios descritos estão valorados conforme apresentado na Tabela 10. Buscou-se adotar faixas lineares de valoração, sendo o valor máximo igual a 1 e o valor mínimo maior que 0. Em situações onde a classificação se limita a somente duas alternativas para valoração, sendo a menor pouco significativa, optou-se por adotar um valor mínimo representativo de 0,10 ao invés de 0, de modo a não anular o critério da análise, visto que há operação de multiplicação entre os pesos e valoração para obtenção da ordem de priorização das áreas (Equação (1)).

Tabela 10 - Valoração dos critérios para determinação da área crítica.

<b>Critérios</b>	<b>Classificação</b>	<b>Valoração</b>
<b>Perda total por ligação</b>	< 201 l/dia/lig	0,33
	Entre 201 e 223 l/dia/lig	0,66
	≥ 244 l/dia/lig	1
<b>Densidade demográfica</b>	< 310 hab/km <sup>2</sup>	0,33
	Entre 310 e 450 hab/km <sup>2</sup>	0,66
	> 450 hab/km <sup>2</sup>	1
<b>Presença de população flutuante significativa</b>	Não	0,10
	Sim	1
<b>Tipo de consumo predominante</b>	Residencial representa mais de 85% do consumo predominante da área	0,10
	Tipo Industrial, Comercial e Público representam 15% ou mais do consumo predominante da área	1
<b>Importa água</b>	Não	0,10
	Sim	1
<b>Exporta água</b>	Não	0,10
	Sim	1

Fonte: Elaboração própria (2021).

### 3.5 IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS CAUSAS DA PERDA DE ÁGUA

Após identificada a área de estudo crítica dentro do SAA de Imbituba, serão elencadas as principais causas responsáveis pela maior parcela de volume perdido na mesma. O enfoque ao tipo de perda, real ou aparente, dependerá do resultado do balanço hídrico na região de interesse.

Por meio do método AHP serão comparados par a par diversos critérios selecionados como causadores de perdas reais e aparentes, separadamente, de modo a elencar os aspectos que merecem maior atenção no planejamento de combate as perdas.

Após identificar as causas mais relevantes na manifestação de perdas em redes de distribuição, dar-se-á enfoque ao tipo de perda majoritária resultando no balanço hídrico da área prioritária. Os critérios para esse tipo de perda (real ou aparente) serão valorados, ainda conforme método AHP, para posterior avaliação da área crítica.

### **3.5.1 Causas das perdas reais**

As causas identificadas no presente estudo se limitam as causas que são possíveis de avaliar no local do estudo, com base nos dados disponíveis. Dessa forma, foram elencadas seis causas principais: Pressão média, setorização, densidade de ligações, frequência de fugas ou rupturas, tempo médio de reparo de vazamentos e extravasamento de reservatórios.

Conhecida a relação de dependência entre pressão e os demais critérios citados, considerou-se a pressão o parâmetro mais significativo comparado ao restante. O segundo e terceiro critério mais importante na análise estão relacionados com vazamentos, tanto nos ramais quanto em tubulações de distribuição. Para isso, foi avaliada a densidade de ligações na rede, com intuito de quantificar aproximadamente a densidade dos ramais, considerados pontos frágeis do sistema, além da ocorrência de vazamentos em geral na rede.

Seguidamente dos critérios relacionados aos vazamentos, é considerado o tempo de reparo dos mesmos. Pois é evidente que, quanto mais rápido o reparo, menor a perda real e, conseqüentemente, menores as perdas totais.

A setorização da rede conforme NBR 12.218 (2017) é importante na prevenção das perdas reais, logo a setorização inexistente ou precária foi considerada uma causa para perdas físicas.

Por fim, foi elencado o extravasamento de reservatórios como uma das causas menos preponderantes em sistemas de distribuição de água, pois apesar de geralmente representarem grande perda em termos de volume, costumam ocorrer com pouca frequência.

A matriz de causas de perdas reais construída por meio do método AHP resultou na Tabela 11, onde é possível observar as importâncias relativas dos critérios aos pares. A comparação entre as causas foi realizada de modo genérico, sob o viés geral de perdas reais de água em sistemas de abastecimento. Na Tabela 12 é possível observar a hierarquização das causas.

Tabela 11- Matriz de comparação de causas de perdas reais.

<b>Crítérios</b>	<b>Pressão média</b>	<b>Frequência de fugas ou rupturas</b>	<b>Densidade de ligações</b>	<b>Tempo de reparo dos vazamentos</b>	<b>Setorização</b>	<b>Extravasamento de reservatório</b>
<b>Pressão média</b>	1	2	3	4	6	8
<b>Frequência de fugas ou rupturas</b>	1/2	1	2	3	4	6
<b>Densidade de ligações</b>	1/3	1/2	1	2	3	5
<b>Tempo de reparo dos vazamentos</b>	1/4	1/3	1/2	1	2	4
<b>Setorização</b>	1/6	1/4	1/3	1/2	1	3
<b>Extravasamento de reservatório</b>	1/8	1/6	1/5	1/4	1/3	1

Fonte: Elaboração própria (2021).

Tabela 12 - Hierarquização das causas de perdas reais.

<b>Crítérios</b>	<b>Pesos</b>
<b>Pressão média</b>	2,55
<b>Frequência de fugas ou rupturas</b>	1,62
<b>Densidade de ligações</b>	1,04
<b>Tempo de reparo dos vazamentos</b>	0,65
<b>Setorização</b>	0,41
<b>Extravasamento de reservatório</b>	0,21

Fonte: Elaboração própria (2021).

O índice de consistência aleatória (RI) para matrizes com quantidade de critérios (n) igual a 6 é de 1,24 (SAATY apud BRIOZO E MUNETTI, 2015). Os resultados das Equações (7) e (8) para a matriz da Tabela 12 foram de 0,10 e 0,08, respectivamente, validando a avaliação dos critérios e aplicação do método AHP.

Outros fatores importantes que ocasionam o surgimento das perdas reais, não foram elencadas junto aos demais critérios por não haver forma de valoração dos mesmos para avaliação da área crítica posteriormente. Pode-se citar como aspectos relevantes a serem considerados: Idade da rede, qualidade do solo e assentamento das tubulações e vazamentos não aflorantes.

### 3.5.2 Causas das perdas aparentes

Da mesma forma que foi avaliada as causas de perdas reais em SAA, as causas aparentes identificadas no presente estudo se limitam aos itens passíveis de quantificar ou avaliar no local do estudo, com base nos dados disponíveis. Dessa forma, foram elencadas

sete causas principais: Idade do parque de hidrômetros, leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores, erros de medição por deficiente dimensionamento, erros de leitura ou registro, falta de micromedição, ligações clandestinas ou irregulares e ausência de macromedição.

Os critérios referentes a idade do parque de hidrômetros e erros de medição por deficiente dimensionamento foram avaliados com maior relevância. Na sequência, considerou-se as ligações clandestinas ou irregulares como segundo fator de maior relevância.

Ainda pior que erros de medição é a falta de medição por inexistência de hidrômetros. Isto ocorre geralmente em favelas e locais de baixa renda e difícil acesso, onde a medição pode ser feita por estimativas de volumes consumidos.

Em seguida, as leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores foram avaliadas, considerando as diversas situações que impedem o leitorista chegar ao hidrômetro, incluindo presença de cachorro bravo no terreno ou visor de leitura embaçado.

Como erros de leitura ou registro são considerados os dados espúrios da planilha de micromedição por ligação, esta foi considerada como uma das causas menos expressivas para as perdas aparentes.

Macromedição refere-se ao conjunto de medições de vazão, pressão e nível de reservatório efetuadas no sistema de abastecimento de água (TSUTIYA, 2006). Visto que não há como controlar o que não se mede, a ausência de macromedição pode ser considerado um problema de perdas, principalmente aparentes.

A Tabela 13 a seguir apresenta a comparação par a par das causas elencadas para perdas aparentes, conforme metodologia AHP. Na Tabela 14 é possível observar a hierarquização das causas de perdas aparentes.

Tabela 13 - Matriz de comparação de causas de perdas aparentes.

<b>Crítérios</b>	<b>Idade do parque de hidrômetros</b>	<b>Erros de medição por deficiente dimensionamento</b>	<b>Ausência de micromedição</b>	<b>Ligações clandestinas ou irregulares</b>	<b>Leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores</b>	<b>Erro de leitura ou registro</b>	<b>Ausência de macromedição</b>
<b>Idade do parque de hidrômetros</b>	1	2	3	4	7	8	9
<b>Erros de medição por deficiente dimensionamento</b>	1/2	1	2	3	5	6	7
<b>Ausência de micromedição</b>	1/3	1/2	1	2	4	5	6
<b>Ligações clandestinas ou irregulares</b>	1/4	1/3	1/2	1	4	5	6
<b>Leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores</b>	1/7	1/5	1/4	1/4	1	2	3
<b>Erro de leitura ou registro</b>	1/8	1/6	1/5	1/5	1/2	1	2
<b>Ausência de macromedição</b>	1/9	1/7	1/6	1/6	1/3	1/2	1

Fonte: Elaboração própria (2021)

Tabela 14 - Hierarquização das causas de perdas aparentes.

<b>Critérios</b>	<b>Pesos</b>
<b>Idade do parque de hidrômetros</b>	2,88
<b>Erros de medição por deficiente dimensionamento</b>	1,92
<b>Ausência de micromedição</b>	1,29
<b>Ligações clandestinas ou irregulares</b>	0,98
<b>Leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores</b>	0,38
<b>Erro de leitura ou registro</b>	0,26
<b>Ausência de macromedição</b>	0,19

Fonte: Elaboração própria (2021).

O índice de consistência aleatória (RI) para matrizes com quantidade de critérios (n) igual a 7 é de 1,32 (SAATY apud BRIOZO E MUNETTI, 2015). Os resultados de CI e CR (Equações (7) e (8)) para a matriz da Tabela 12 foram de 0,15 e 0,11, respectivamente, validando a avaliação dos critérios e aplicação do método AHP.

Como dito anteriormente, vale destacar também a influência da inclinação dos hidrômetros na submedição dos mesmos. Segundo Ministério das Cidades (2008), hidrômetros inclinados que provocam um atrito nos mancais da turbina e que impedem seu correto funcionamento em baixas vazões, gerando erros negativos. Visto que não houve inspeção na área de estudo para valorar este critério, o mesmo foi desconsiderado da matriz de comparação.

Além disso, a presença de caixas d'água faz com que o funcionamento dos hidrômetros não dependa apenas do padrão de consumo, mas também das características de funcionamento de controle de nível do reservatório. Segundo Heller e Pádua (2016), essa constatação não deve ser confundida com uma proposta de não utilização de caixas d'água domiciliares, sobretudo no Brasil, onde há grande quantidade de sistemas com intermitência no abastecimento.

Sendo assim, entende-se que independente da área de estudo, a grande maioria das residências possuem caixa d'água e este é um elemento importante para o consumidor. Visto que o conjunto de causas elencadas servem para propor ações de redução e controle de perdas, este não foi um parâmetro avaliado na matriz de comparação.

### 3.6 PROPOSIÇÃO DE AÇÕES PRIORITÁRIAS OPERACIONAIS DE COMBATE AS PERDAS

A priorização das ações depende também do conhecimento de cada área de estudo e suas particularidades, sendo essencial para a definição das intervenções com mais precisão. Cada área de estudo terá um tipo de perda predominante resultante do balanço hídrico, que irá definir as melhorias a serem sugeridas. Para elencar a ordem de importância das ações a serem propostas, foram identificadas de forma geral as possíveis causas mais relevantes dentro do âmbito de perdas reais e aparentes, conforme descrito no item 3.5.

A partir da descrição do sistema de abastecimento, contato com a equipe responsável pela operação e resultados do diagnóstico de perdas por meio do balanço hídrico, foram avaliados os critérios elencados ao tipo de perda majoritária correspondente a área prioritária, definida no item 3.4. Nesta etapa, será atribuída uma nota de avaliação da área crítica em relação a cada critério, e ao final do processo ter-se-á um novo ranking de pesos das causas, dessa vez sob o viés do local de interesse. Ou seja, será obtida a maior causa de perda de água da região crítica.

Sendo assim, seguindo a metodologia de análise hierárquica AHP, após elaboração da matriz de comparação dos critérios e obtenção do peso de importância de cada um deles, passa a ser valorada o objeto de interesse do estudo. Os itens a seguir (3.5.3 e 3.5.4) descrevem o conjunto de classificações usadas para valoração da área de estudo na presença de causas referentes a perdas reais e aparentes, respectivamente.

Assim como na definição da área crítica, buscou-se adotar faixas lineares de valoração para os critérios elencados para causas das perdas reais e aparentes, sendo o valor máximo igual a 1 e o valor mínimo maior que 0.

#### **3.5.3 Valoração das causas das perdas reais**

A classificação para valoração da área crítica a respeito do critério relacionado a pressão na rede foi realizada de acordo com as pressões médias encontradas nas demais áreas, variando entre as faixas de menor que 20 mca, entre 20 e 30 mca e maior que 30 mca. Além dessas faixas, considerou-se pressões acima de 40 mca como extremo, visto que ultrapassam o limite máximo previsto por norma. A pressão média da área crítica foi obtida conforme descrito no item 3.3.7.1.

As faixas de valoração elaboradas para os critérios de densidade de ligações, frequência de fugas ou rupturas e tempo médio de reparos foram adaptadas das classificações

apresentadas por Tardelli (2015) para indicadores de performance para as classes: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto.

A frequência de fugas ou rupturas e tempo médio de reparos na área crítica pode ser obtido com base nas planilhas de Ordens de Serviços (OS) geradas pela companhia operadora do sistema de abastecimento. Na planilha disponibilizada, além do endereço das ocorrências, é possível verificar a data de geração da OS e data de execução do serviço para estimar o tempo médio de reparo. Vale ressaltar que há uma margem de erro associada aos dados citados, visto que pode ocorrer o encerramento da OS no sistema um dia após a execução, a depender do horário de trabalho dos funcionários que realizam essa função, entre outros fatores externos.

Por setorização entende-se como definido pela norma NBR 12.218 (2017), com delimitação de distritos de medição e controle, zonas de pressão e setores de manobra. A existência ou não da setorização retorna o valor 0,50 ou 1 para valoração da área crítica, respectivamente.

Já a ocorrência de extravasamento dos reservatórios dentro da área crítica de estudo serão avaliados com base nos arquivos de níveis dos reservatórios, sendo julgado como extravasamento quando o percentual completo ultrapassa o 100% e o evento é confirmado pela companhia operadora do SAA como sendo transbordamento. A ocorrência desse tipo de evento resulta na valoração de 1 caso positivo e 0,50 caso contrário.

A valoração das causas de perdas reais descritas anteriormente estão apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Valoração das causas de perdas reais.

<b>Critérios</b>	<b>Classificação</b>	<b>Valoração</b>
<b>Pressão média</b>	< 20 mca	0,25
	Entre 20 e 30 mca	0,50
	Entre 30 e 40 mca	0,75
	> 40 mca	1,00
<b>Frequência de fugas ou rupturas</b>	Vazamento/100 km.ano < 7	0,20
	7 < vazamento/100 km.ano < 10	0,40
	10 < vazamento/100 km.ano < 15	0,60
	15 < vazamento/100 km.ano < 20	0,80
	Vazamento/100 km.ano > 20	1,00
<b>Densidade de ligações</b>	< 20 ligações/km	0,20
	Entre 20 e 30 ligações/km	0,40
	Entre 30 e 50 ligações/km	0,60
	Entre 50 e 70 ligações/km	0,80
	> 70 ligações/km	1,00
<b>Tempo médio de reparos</b>	< 1 dia	0,20

<b>Crítérios</b>	<b>Classificação</b>	<b>Valoração</b>
	1 a 2 dias	0,40
	2 a 4 dias	0,60
	4 a 8 dias	0,80
	> 8 dias	1,00
<b>Setorização</b>	Possui setorização	0,50
	Não possui setorização	1,00
<b>Extravasamento de reservatório</b>	Inocorrência de evento de extravasamento	0,50
	Ocorrência de evento de extravasamento	1,00

Fonte: Elaboração própria (2021).

### 3.5.4 Valoração das causas de perdas aparentes

As faixas de valoração elaboradas para os critérios de idade do parque de hidrômetros, ausência de micromedição e macromedição foram adaptadas das classificações apresentadas por Tardelli (2015) para indicadores de performance para as classes: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto. A idade do parque de hidrômetros foi obtida conforme descrito no item 3.3.5.1.

Já as ligações clandestinas ou irregulares e as leituras em falta por dificuldade de acesso ao medidor foram classificados conforme o número total registrado no município para cada critério, considerando 1/3 desse valor total como limite de classificação máximo e 1/9 como limite de valor mínimo.

O quantitativo de ligações clandestinas ou irregulares pode ser avaliado com base no dado de entrada do Balanço Hídrico, disposto no item 3.3.4.1. Leituras em falta por dificuldade de acesso ao medidor são indicadas nas planilhas de consumos micromedidos por ligação, disponibilizado pela operadora Serrana Engenharia.

Ainda com base na planilha de consumos micromedidos por ligação, pode-se analisar os critérios referentes a erros por falha nas leituras ou registros e por dimensionamento incorreto. A própria companhia operadora corrige os volumes espúrios anotados na tabela de consumos medidos, inserindo uma coluna denominada “Consumos Corrigidos” pela qual, em casos de volumes negativos, nulos ou que ultrapassem significativamente a média, seja corrigido o valor para a média do consumo mensal da ligação correspondente, caso seja comprovada o erro de leitura após vistoria. Segundo a Serrana Engenharia, após identificação de um dado espúrio de consumo no sistema, a fatura da matrícula em questão fica retida e se inicia um processo de verificação dessas faturam em escritório, onde são abertas as vistorias para mobilizar fiscais que irão até o local confirmar o motivo do ocorrido.

Quanto o dimensionamento incorreto dos medidores, segundo a SABESP por meio da NTS 281, a partir da média de consumo real observados em um período de no mínimo seis meses, o resultado deve ser comparado com os limites inferior e superior de consumo do aparelho e caso esteja fora dessas faixas, entende-se que o dimensionamento está equivocado e há necessidade de troca do medidor.

Conforme dito anteriormente, espera-se que erros de leitura ou registro sejam esporádicos, e portanto classificou-se em faixas de valores menores que 5%, entre 5% e 10%, e maiores que 10%.

A valoração das causas de perdas aparentes descritas anteriormente estão apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Valoração dos critérios de perdas aparentes.

<b>Crítérios</b>	<b>Classificação</b>	<b>Valoração</b>
<b>Idade do parque de hidrômetros</b>	< 3 anos	0,20
	3 a 5 anos	0,40
	5 a 8 anos	0,60
	8 a 10 anos	0,80
	> 10 anos	1,00
<b>Erros de medição por deficiente dimensionamento</b>	< 25% dos hidrômetros subdimensionados	0,25
	Entre 25 e 50% dos hidrômetros subdimensionados	0,50
	Entre 50 e 75% dos hidrômetros subdimensionados	0,75
	Entre 75 e 100% dos hidrômetros subdimensionados	1,00
<b>Ausência de micromedição</b>	> 98% de ligações ativas com hidrômetro	0,20
	Entre 90 e 98% de ligações ativas com hidrômetro	0,40
	Entre 80 e 90% de ligações ativas com hidrômetro	0,60
	Entre 70 e 80% de ligações ativas com hidrômetro	0,80
	< 70% de ligações ativas com hidrômetro	1,00
<b>Ligações clandestinas ou irregulares</b>	< 7 registros de ocorrência por ano	0,33
	Entre 7 e 21 registros de ocorrência por ano	0,66
	> 21 registros de ocorrência por ano	1,00
<b>Leituras em falta por dificuldades de acesso aos contadores</b>	< 83 leituras em falta por ano	0,25
	Entre 83 e 109 leituras em falta por ano	0,50
	Entre 109 e 195 leituras em falta por ano	0,75

<b>Cr�terios</b>	<b>Classifica�o</b>	<b>Valora�o</b>
	ano	
	> 195 leituras em falta por ano	1,00
<b>Erro de leitura ou registro</b>	< 5% das leituras	0,33
	Entre 5% e 10% das leituras	0,66
	> 10% das leituras	1,00
	> 98 % dos volumes disponibilizados	0,20
<b>Aus�ncia de macromedi�o</b>	Entre 90 e 98% dos volumes disponibilizados	0,40
	Entre 80 e 90% dos volumes disponibilizados	0,60
	Entre 70 e 80% dos volumes disponibilizados	0,80
	< 70% dos volumes disponibilizados	1,00

Fonte: Elabora o própria (2021).

### 3.5.5 Proposi o de a es de combate e controle de perdas

Após hierarquiza o das causas de perdas de água mais significativas diagnosticadas dentro da área crítica, serão propostas a es de controle e redu o das perdas com enfoque nos problemas evidenciados no final da aplica o do método AHP e com base nas informa es compartilhadas pela companhia operadora do sistema de abastecimento de água de Imituba acerca dos problemas enfrentados na distribui o de água do município.

Para direcionar as a es a serem propostas e discutidas nos resultados do presente trabalho, o Quadro 7 apresenta um resumo do conjunto de atividades sugeridas em literatura para minimizar as perdas de água em cada campo de atua o correspondente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZA O DAS ÁREAS DE ESTUDO

Conforme delimitada as áreas de estudo na metodologia do presente trabalho, a seguir serão detalhados os bairros abrangidos em cada região da Figura 17 e a popula o residente nos mesmos (APÊNDICE D) com base no censo 2010. O resumo da densidade populacional e área de cada região delimitada está apresentada na Tabela 17, sem considerar a popula o flutuante. A espacializa o dos bairros dentro de cada área de estudo está apresentada na (APÊNDICE E) a seguir.

Tabela 17 – Densidade populacional das áreas de estudo.

<b>�rea de Estudo</b>	<b>Densidade (hab/km<sup>2</sup>)</b>	<b>�rea (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Popula�o (hab)</b>
<b>Norte</b>	171,2	82,86	14182

Área de Estudo	Densidade (hab/km <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	População (hab)
<b>Nova Brasília</b>	379,8	19,58	7433
<b>Sul</b>	588,6	34,53	20330

Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

A Região Norte se destaca por possuir grandes áreas com plantações de arroz e alto potencial turístico e de pesca. A região de Nova Brasília, por sua vez, é caracterizada por forte comércio e adensamento urbano. Na região sul destacam-se também as atividades de turismo nas praias de Itapirubá, nas dunas e na Lagoa do Mirim, com grande potencial a cadeia produtiva da pesca (PBSIB, 2015). No bairro Centro, localizado na área de estudo Sul, está concentrada a sede do executivo municipal, do legislativo, a área portuária, rodoviária, praias, entre outros.

Com a definição dos bairros existentes dentro de cada área de estudo, foram segregadas os dados de ligações e economias entre Sul, Norte e Nova Brasília. A Tabela 18 apresenta a média dos quantitativos de ligações e economias por área de estudo no ano de 2019.

Tabela 18 – Média de economias e ligações por área de estudo no ano de 2019.

Área de estudo	Ligações ativas	Ligações desativadas	Economias ativas	Economias desativadas
<b>Norte</b>	6.794	1.247	7.256	1.350
<b>Nova Brasília</b>	2.388	687	2.717	773
<b>Sul</b>	9.173	1.439	11.541	1.552
<b>Total</b>	<b>18.355</b>	<b>3.372</b>	<b>21.514</b>	<b>3.674</b>

Fonte: Adaptado de Serrana Engenharia (2021).

A seguir é apresentada a extensão total de rede de distribuição por área de estudo (Tabela 19). Nos valores apresentados, não estão inclusos a adutora de água bruta e as adutoras de água tratada fora do escopo do presente estudo, ou seja, referente ao percurso entre a ETA e a entrada das áreas de estudo, definidas no item 3.2. Foram consideradas adutoras de água tratada as tubulações de diâmetro igual ou superior a DN150, conforme ilustrado na Figura 12.

Tabela 19 – Extensão da rede de distribuição por área de estudo.

Área de estudo	Extensão de rede secundária (km)	Extensão de adutoras (km)	Extensão total de rede (km)	Porcentagem (%)
<b>Norte</b>	161,08	41,18	202,26	51%
<b>Nova Brasília</b>	39,69	0,59	40,28	10%
<b>Sul</b>	129,29	27,65	156,94	39%
<b>Total</b>	<b>330,06</b>	<b>69,41</b>	<b>399,47</b>	<b>100%</b>

Fonte: Adaptado de Serrana Engenharia (2021).

## 4.2 BALANÇO HÍDRICO

### 4.2.1 Dados de entrada

#### 4.2.1.1 Volume de entrada no sistema

Conforme salientado no item 3.2, a maior parte do sistema de abastecimento objeto do estudo é definida a partir do volume entregue de reservatórios nas áreas sul e norte, e estação de bombeamento na área de estudo Nova Brasília.

O volume de água que entrou na área de estudo Nova Brasília no período compreendido entre 01/01/2019 e 16/11/2019, conforme dados registrados pelo macromedidor, foi de 401.073,73 m<sup>3</sup>. A vazão instantânea média acusada pelo macromedidor nesse período foi de 14,6 l/s, o que corresponde a um volume diário de 1.260 m<sup>3</sup>/dia. Com base na média de volume diário, estimou-se o volume entregue à área de estudo Nova Brasília no período entre 17/11/2019 e 31/12/2019, multiplicando a média pelo número de dias com dados faltantes (45 dias), que resultou em 56.700 m<sup>3</sup>. Sendo assim, o volume de entrada total para o ano de 2019 na área de estudo de Nova Brasília foi de 457.773,73 m<sup>3</sup>.

Os volumes das demais áreas de estudo foram estimados conforme descrito no item 3.3.1. O resultado do indicador IN025 – Volume Disponibilizado por Economia do SNIS 2019 para o município é de 14,37 m<sup>3</sup> por economia por mês, sendo o número de economias médio por área de estudo descritas na Tabela 18. Com base nesses dois parâmetros, obteve-se o volume produzido para a população residente nas áreas no ano de 2019, apresentados na Tabela 20.

A Tabela 20 também apresenta a estimativa de população flutuante por área e os volumes acrescidos nos setores por conta desse incremento populacional. Conforme descrito anteriormente, o volume produzido para população flutuante média foi estimado com base no percapita de 150 L/hab.dia, considerando o tempo de estadia de 90 dias na área de estudo Norte e 60 dias na área de estudo Sul.

Tabela 20 – Estimativa dos volumes de entrada das áreas de estudo Norte e Sul.

Área de estudo	Norte	Sul	Total
<b>População residente (habitantes)</b>	14.181,62	20.329,53	<b>34.511,15</b>
<b>Volume produzido para população residente (m<sup>3</sup>)</b>	1.251.167,16	1.990.187,52	<b>3.241.354,68</b>
<b>População flutuante (habitantes)</b>	10.144,11	14.541,71	<b>24.685,83</b>
<b>Volume produzido para população</b>	136.945,52	130.875,42	<b>267.820,94</b>

<b>Área de estudo</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Total</b>
<b>flutuante durante estadia no município (m<sup>3</sup>)</b>			
<b>Volume total de entrada na área de estudo (m<sup>3</sup>)</b>	1.388.112,68	2.121.062,94	<b>3.509.175,62</b>

Fonte: Elaboração própria (2021).

A Tabela 21 a seguir resume os volumes totais de entrada em cada área de estudo, sendo para as áreas Norte e Sul os valores equivalentes a soma do volume produzido para população flutuante e residente apresentados na Tabela 20.

Tabela 21 – Volume total de entrada nas áreas de estudo.

<b>Área de estudo</b>	<b>Volume total de entrada (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Norte</b>	1.388.112,68
<b>Nova Brasília</b>	457.773,73
<b>Sul</b>	2.121.062,94
<b>Total</b>	<b>3.966.949,34</b>

Fonte: Elaboração própria (2021) e adaptado de Serrana Engenharia (2021).

O somatório dos volumes resulta em 3.966.949,34 m<sup>3</sup>, valor muito próximo ao volume produzido total repassado pela operadora do sistema de 4.005.781,10 m<sup>3</sup>, correspondendo portanto a uma variação de apenas 1%. Em função dessa pequena variação entre os dados, considera-se que a estimativa realizada está coerente com a realidade no ano estudado.

Vale ressaltar que o volume produzido total de 4.005.781,10 m<sup>3</sup> é o resultado da soma do macromedidor da ETA Principal e macromedidor a jusante da ERAT Nova Brasília, somado ao volume importado de Itapirubá de 205.488 m<sup>3</sup> em 2019 e descontado o volume exportado para Garopaba no mesmo ano, de 150.187 m<sup>3</sup>. Ou seja, equivale a todo volume de água produzido e entregue ao sistema de distribuição de Imbituba.

#### 4.2.1.2 Consumo faturado

Conforme explicado no item 3.3.2.2, o consumo não medido faturado foi considerado nulo visto que se trata apenas de situações esporádicas de venda de água para o município vizinho e de pouco impacto no balanço hídrico anual. Portanto será detalhado nesse capítulo apenas o volume faturado medido. O consumo micromedido no ano de 2019 para cada área de estudo está disposto na Tabela 22.

Tabela 22 – Consumo micromedido por área de estudo em 2019.

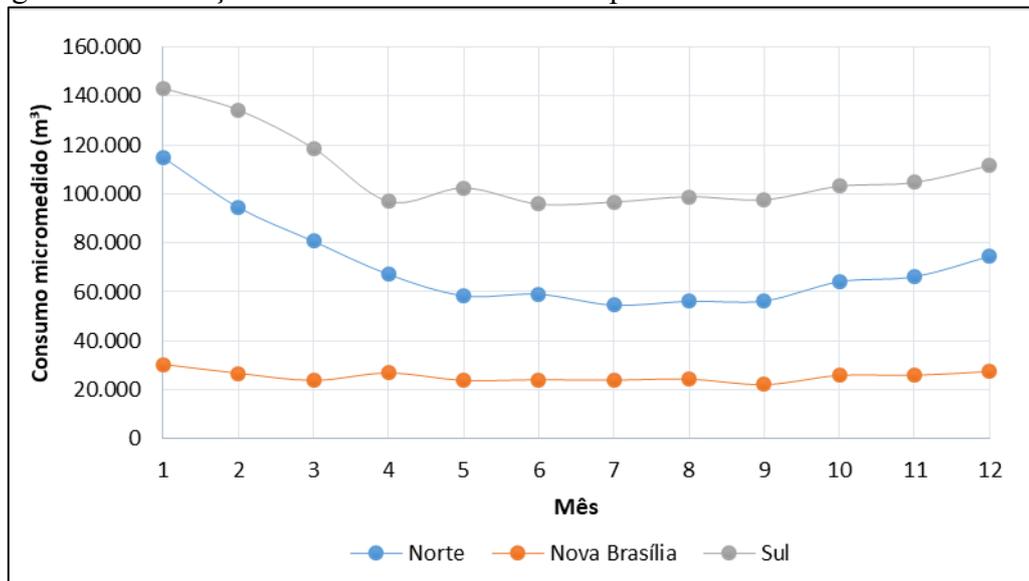
<b>Área de Estudo</b>	<b>Consumo micromedido (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Norte</b>	846.897,00
<b>Nova Brasília</b>	306.124,00

Área de Estudo	Consumo micromedido (m <sup>3</sup> )
<b>Sul</b>	1.304.099,00
<b>Total</b>	<b>2.457.120,00</b>

Fonte: Adaptado de Serrana Engenharia (2021).

O gráfico (Figura 24) a seguir apresenta a variação do consumo ao longo do ano de 2019 nas áreas de estudo. Conforme já salientado no item 3.3.1, é possível observar a influência de população flutuante, em especial nas áreas de estudo Norte e Sul, no período compreendido entre dezembro e março. Já em Nova Brasília, região onde a população não sofre grandes variações sazonais, apresentou pouca variação no consumo total em épocas de veraneio.

Figura 24 – Variação do consumo micromedido por área de estudo no ano de 2019.



Fonte: Adaptado de Serrana Engenharia (2021).

#### 4.2.1.3 Consumo não faturado

O consumo não faturado nas áreas de estudo foram considerados nulos visto que os componentes de volume gasto em usos operacionais, administrativos e especiais foram insignificativos no ano de 2019, pelas questões justificadas anteriormente no item 3.3.3. Além disso, o município possui um índice de micromedicação de 100% e nenhuma categoria de consumo é isenta de faturamento

#### 4.2.1.4 Consumo não autorizado

Conforme descrito no item 2.4.1, o balanço hídrico será realizado com auxílio da ferramenta WB-Easy-Calc. O software estima o consumo não autorizado com base no número de ligações clandestinas e estimativa de consumo percapita. Os registros de ocorrência de

fraudes na rede disponibilizado pela companhia operadora apresentou um total de 63 ocorrências durante o ano de 2019. Do total de registros realizados, quase metade destes estão localizados na área de estudo Norte, conforme apresentado na Tabela 23 a seguir.

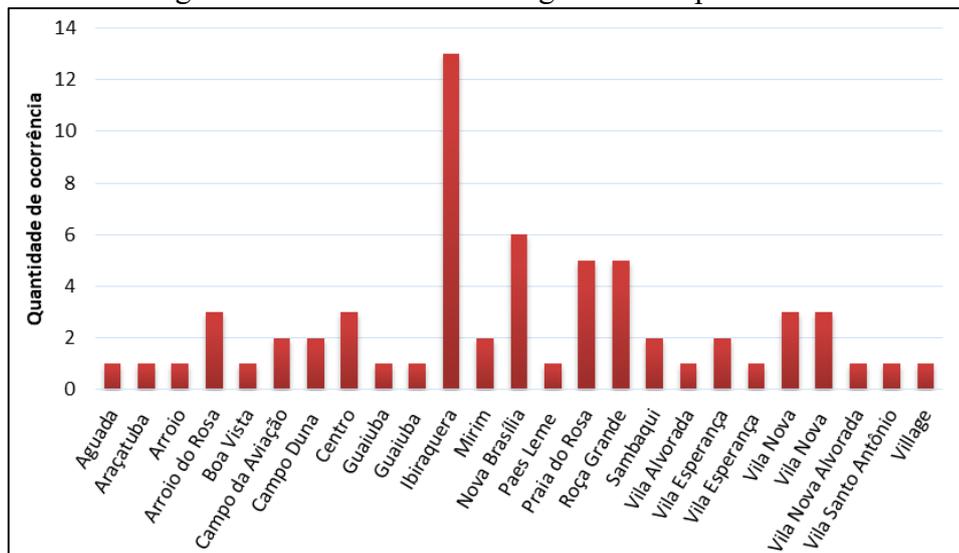
Tabela 23 – Registros de ocorrência de fraudes por área de estudo.

Área de Estudo	Quantidade de ocorrências	Porcentagem
<b>Norte</b>	31	49%
<b>Nova Brasília</b>	8	13%
<b>Sul</b>	24	38%
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>100%</b>

Fonte: Adaptado de Serrana Engenharia (2021).

Visto que as áreas de estudo possuem áreas totais de abrangência diferentes, foi realizada análise dos registros segregados por bairros conforme ilustrado no gráfico da Figura 25. É possível verificar o predomínio de fraudes no bairro de Ibiraquera, onde a quantidade de irregularidades se sobressai significativamente se comparado aos demais bairros no ano de 2019.

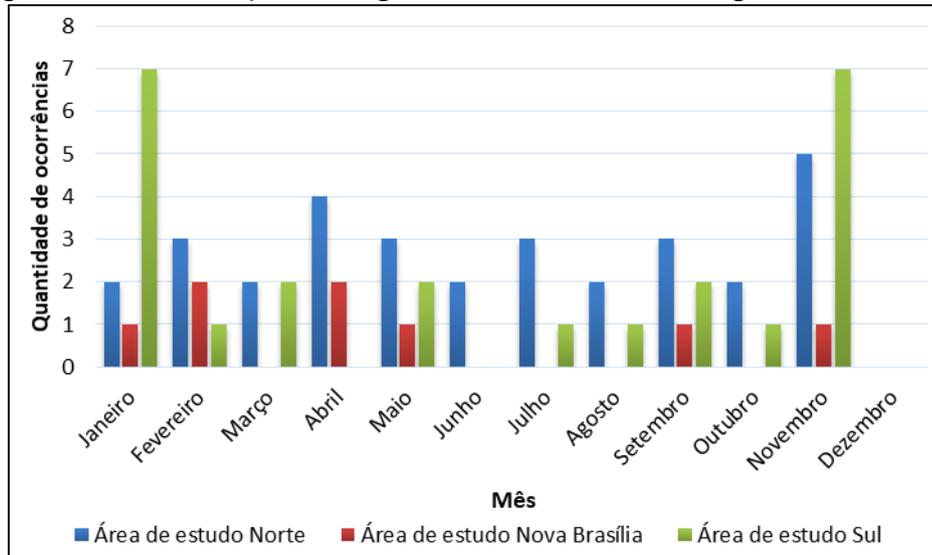
Figura 25 – Ocorrência de irregularidades por bairro.



Fonte: Elaboração própria (2021).

A distribuição dos registros de ocorrência ao longo dos meses de 2019 estão apresentados no gráfico da Figura 26 a seguir, por área de estudo. É possível perceber que, principalmente na área de estudo Sul, há um pico de registros nos meses de veraneio. Um dos fatores de acréscimo de fraudes em regiões com intensa presença de população flutuante pode estar associado ao fato dos proprietários retornarem as suas casas de veraneio e religarem por conta própria as ligações cortadas pela operadora.

Figura 26 – Distribuição dos registros de ocorrência ao longo do ano de 2019.

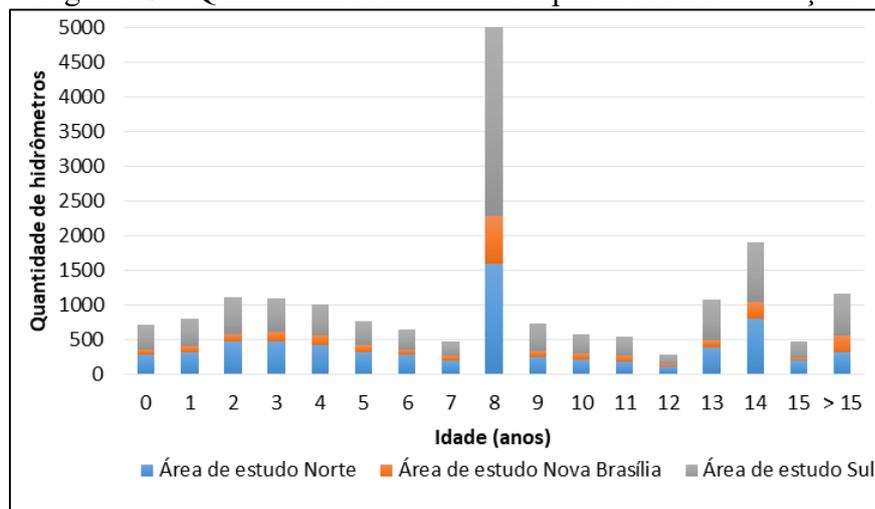


Fonte: Elaboração própria (2021).

#### 4.2.1.5 Imprecisão dos medidores e erros de manipulação de dados

Este item foi obtido pela estimativa da submedição média do parque de hidrômetro existente em cada área de estudo, caracterizando-os em função da idade estimada do hidrômetro, com seus respectivos volumes micromedidos. O gráfico a seguir (Figura 27) apresenta a quantidade de hidrômetros conforme a idade referente ao ano de 2019, ou seja, hidrômetros com 1 ano de idade foram instalados em 2018 e assim por diante. Além disso, é possível observar os dados segregados conforme área de estudo.

Figura 27 – Quantidade de hidrômetros por idade de instalação.



Fonte: Elaboração própria (2021).

Todas as áreas de estudo apresentam similaridade na distribuição do quantitativo de hidrômetros por idade, sendo a idade de 8 anos a mais representativa, correspondendo de 23% a 30% dos hidrômetros totais por área. De acordo com informações compartilhadas pela

Serrana Engenharia, a antiga concessionária realizou uma campanha de troca de hidrômetros em 2011, o que impactou significativamente na quantidade abundante de hidrômetros com 8 anos de idade em 2019.

O procedimento de cálculo, demonstrado no item 3.3.5.1, decorreu para cada área de estudo, e os resultados estão apresentados nas Tabela 24, Tabela 25 e Tabela 26 a seguir. A diferença encontrada entre o volume micromedido anual das tabelas a seguir e do que foi apresentado na Tabela 22 – Consumo micromedido por área de estudo em 2019. Tabela 22 é referente ao consumo de duas matrículas, uma na área norte e uma na área sul, pelas quais não foram identificadas a idade aproximada do medidor e portanto não fizeram parte do cálculo de submedição.

Tabela 24 – Estimativa de submedição dos hidrômetros da área de estudo Norte.

<b>Idade</b>	<b>Quantidade de hidrômetros</b>	<b>Volume micromedido anual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>IDM (%)</b>	<b>Estimativa de submedição média anual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Estimativa de Consumo Anual (m<sup>3</sup>)</b>
<b>0</b>	277	37.127	0,95	1.954	39.081
<b>1</b>	316	51.710	0,94	3.301	55.011
<b>2</b>	474	59.335	0,93	4.466	63.801
<b>3</b>	469	56.376	0,92	4.902	61.278
<b>4</b>	417	52.832	0,91	5.225	58.057
<b>5</b>	325	36.783	0,90	4.087	40.870
<b>6</b>	276	26.943	0,89	3.330	30.273
<b>7</b>	203	22.107	0,88	3.015	25.122
<b>8</b>	1601	247.718	0,87	37.015	284.733
<b>9</b>	255	29.134	0,86	4.743	33.877
<b>10</b>	210	22.693	0,85	4.005	26.698
<b>11</b>	187	21.663	0,85	3.823	25.486
<b>12</b>	113	10.585	0,85	1.868	12.453
<b>13</b>	389	40.561	0,85	7.158	47.719
<b>14</b>	801	83.147	0,85	14.673	97.820
<b>15</b>	189	19.692	0,85	3.475	23.167
<b>&gt; 15</b>	324	28.411	0,85	5.014	33.425
<b>Total</b>	<b>6.826</b>	<b>846.817</b>	<b>-</b>	<b>112.053</b>	<b>958.870</b>

Fonte: Elaboração própria (2021).

Tabela 25 - Estimativa de submedição dos hidrômetros da área de estudo Nova Brasília.

<b>Idade</b>	<b>Quantidade de hidrômetros</b>	<b>Volume micromedido anual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>IDM (%)</b>	<b>Estimativa de submedição média anual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Estimativa de Consumo Anual (m<sup>3</sup>)</b>
<b>0</b>	80	8.741	0,95	460	9.201
<b>1</b>	81	16.088	0,94	1.027	17.115
<b>2</b>	109	18.410	0,93	1.386	19.796
<b>3</b>	135	18.182	0,92	1.581	19.763

Idade	Quantidade de hidrômetros	Volume micromedido anual (m <sup>3</sup> )	IDM (%)	Estimativa de submedição média anual (m <sup>3</sup> )	Estimativa de Consumo Anual (m <sup>3</sup> )
4	141	23.307	0,91	2.305	25.612
5	92	12.283	0,90	1.365	13.648
6	73	9.716	0,89	1.201	10.917
7	71	7.707	0,88	1.051	8.758
8	688	92.827	0,87	13.871	106.698
9	81	9.858	0,86	1.605	11.463
10	85	9.349	0,85	1.650	10.999
11	84	9.446	0,85	1.667	11.113
12	34	4.004	0,85	707	4.711
13	108	12.057	0,85	2.128	14.185
14	246	27.622	0,85	4.874	32.496
15	35	4.565	0,85	806	5.371
> 15	240	21.962	0,85	3.876	25.838
<b>Total</b>	<b>2.383</b>	<b>306.124</b>	<b>-</b>	<b>41.558</b>	<b>347.682</b>

Fonte: Elaboração própria (2021).

Tabela 26 - Estimativa de submedição dos hidrômetros da área de estudo Sul.

Idade	Quantidade de hidrômetros	Volume micromedido anual (m <sup>3</sup> )	IDM (%)	Estimativa de submedição média anual (m <sup>3</sup> )	Estimativa de Consumo Anual (m <sup>3</sup> )
0	365	53.819	0,95	2.833	56.652
1	399	59.611	0,94	3.805	63.416
2	527	94.327	0,93	7.100	101.427
3	483	64.212	0,92	5.584	69.796
4	455	65.458	0,91	6.474	71.932
5	352	48.655	0,90	5.406	54.061
6	292	37.482	0,89	4.633	42.115
7	200	25.077	0,88	3.420	28.497
8	2742	465.263	0,87	69.522	534.785
9	400	63.915	0,86	10.405	74.320
10	280	36.410	0,85	6.425	42.835
11	275	35.843	0,85	6.325	42.168
12	131	14.054	0,85	2.480	16.534
13	577	64.740	0,85	11.425	76.165
14	862	97.815	0,85	17.261	115.076
15	255	26.735	0,85	4.718	31.453
> 15	599	50.563	0,85	8.923	59.486
<b>Total</b>	<b>9.194</b>	<b>1.303.979</b>	<b>-</b>	<b>176.738</b>	<b>1.480.717</b>

Fonte: Elaboração própria (2021).

O resumo da submedição média obtida por área de estudo em porcentagem do volume total micromedido e o erro médio adotado resultante da Equação (6), estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Submedição média e erro adotados.

<b>Área de Estudo</b>	<b>Submedição média (%)</b>	<b>Erro (%)</b>
<b>Norte</b>	14	12
<b>Nova Brasília</b>	13	12
<b>Sul</b>	14	12

Fonte: Elaboração própria (2021).

#### 4.2.1.6 Redes de distribuição

A extensão de rede de distribuição por área de estudo está disposta na Tabela 19. Já o número de clientes registrados, ativos e inativos, foram estimados conforme apresentado na Tabela 18. E ainda, conforme explicado na metodologia (item 3.3.6.2), o comprimento médio do ramal adotado foi de 1,20 metros.

#### 4.2.1.7 Pressão na rede

A Tabela 28, Tabela 29 e Tabela 30 apresentam cinco faixas de elevação para as áreas de estudo Norte, Nova Brasília e Sul, respectivamente, com base no levantamento hipsométrico apresentado no item 3.1.1.2. Além disso, estão indicadas, para cada faixa de elevação, a proporção que as mesmas representam dentro da área total e as pressões médias, máximas e mínimas na rede de distribuição em operação. Os campos sem informação de pressão correspondem as áreas onde não foram registrados nenhum ponto.

Em geral, pode-se perceber que quanto maior o intervalo de elevação, menor a pressão média resultante, o que é esperado visto que a pressão é influenciada pela diferença geométrica entre o ponto de abastecimento e o ponto de consumo. Com exceção de Nova Brasília, onde o comportamento foi o inverso. Porém, os valores médios de pressão para ambas faixas de cota foram muito similares, e por ser uma área menor existem menos pontos para contribuir no cálculo da média, o que influencia no resultado.

Tabela 28 – Pressões na área de estudo Norte.

<b>Faixa de elevação (m)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Pressão média (mca)</b>	<b>Pressão máxima (mca)</b>	<b>Pressão mínima (mca)</b>
<b>0 - 12,91</b>	36,86	53	49,03	82	5
<b>12,91 - 35,97</b>	16,49	24	40,08	80	5
<b>35,97 - 67,33</b>	8,21	12	32,50	72	4
<b>67,33 - 121,75</b>	6,43	9	28,55	70	4
<b>121,75 - 236,12</b>	0,94	1	-	-	-

Fonte: Elaboração própria (2021).

Tabela 29 – Pressões na área de estudo Nova Brasília.

<b>Faixa de elevação (m)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Pressão média (mca)</b>	<b>Pressão máxima (mca)</b>	<b>Pressão mínima (mca)</b>
<b>0,01 - 15,16</b>	8,83	45	13,69	46	5
<b>15,16 - 51,27</b>	8,26	42	14,00	50	2
<b>51,27 - 108,36</b>	1,03	5	-	-	-
<b>108,36 - 171,27</b>	0,96	5	-	-	-
<b>171,28 - 298,25</b>	0,49	3	-	-	-

Fonte: Elaboração própria (2021).

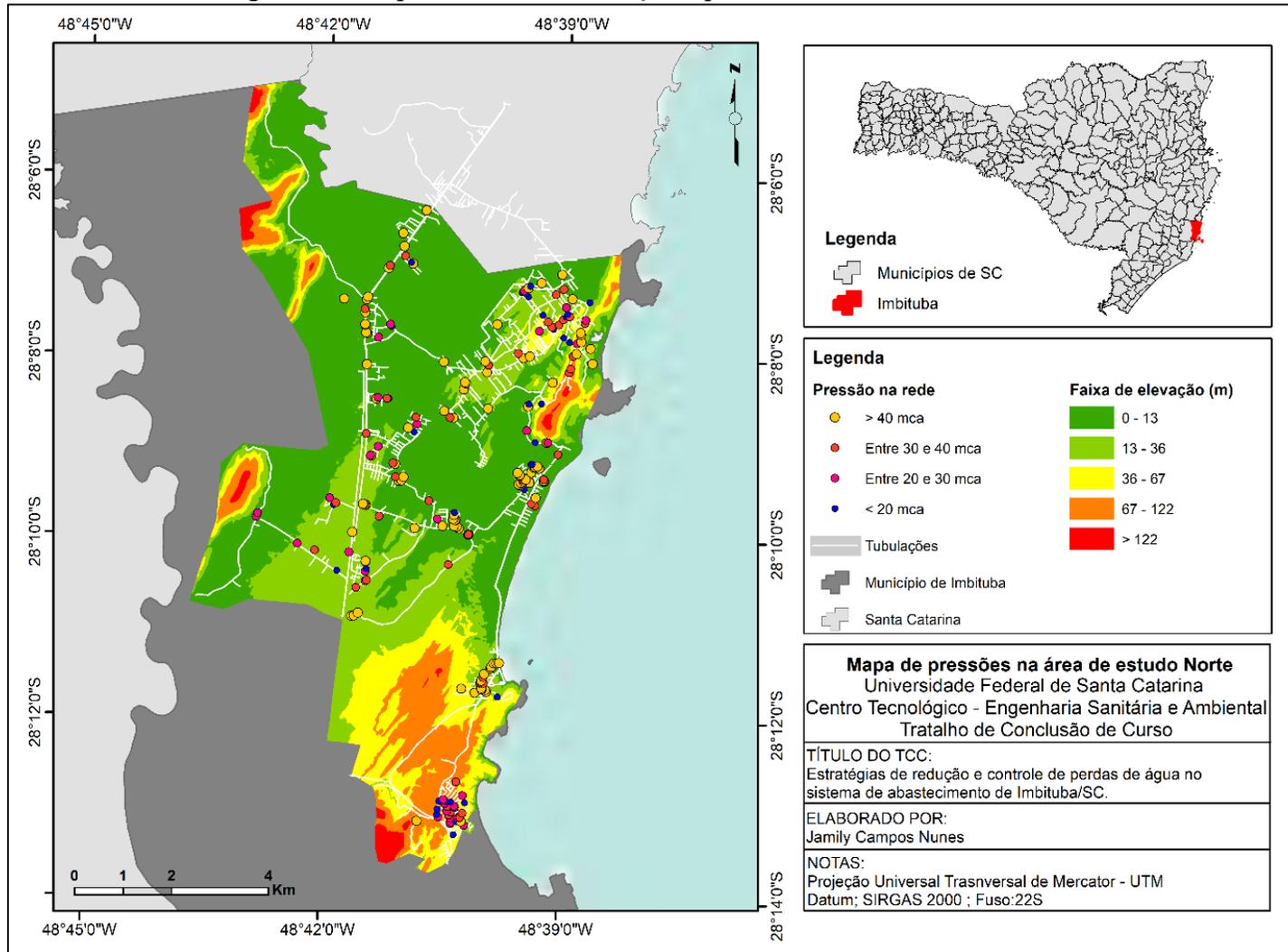
Tabela 30 – Pressões na área de estudo Sul.

<b>Faixa de elevação (m)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Pressão média (mca)</b>	<b>Pressão máxima (mca)</b>	<b>Pressão mínima (mca)</b>
<b>0 - 18,35</b>	23,98	76	35,13	56	2
<b>18,35 - 59,64</b>	4,78	15	21,14	45	4
<b>59,64 - 122,72</b>	1,19	4	-	-	-
<b>122,72 - 189,23</b>	0,99	3	-	-	-
<b>189,23 - 293,60</b>	0,58	2	-	-	-

Fonte: Elaboração própria (2021).

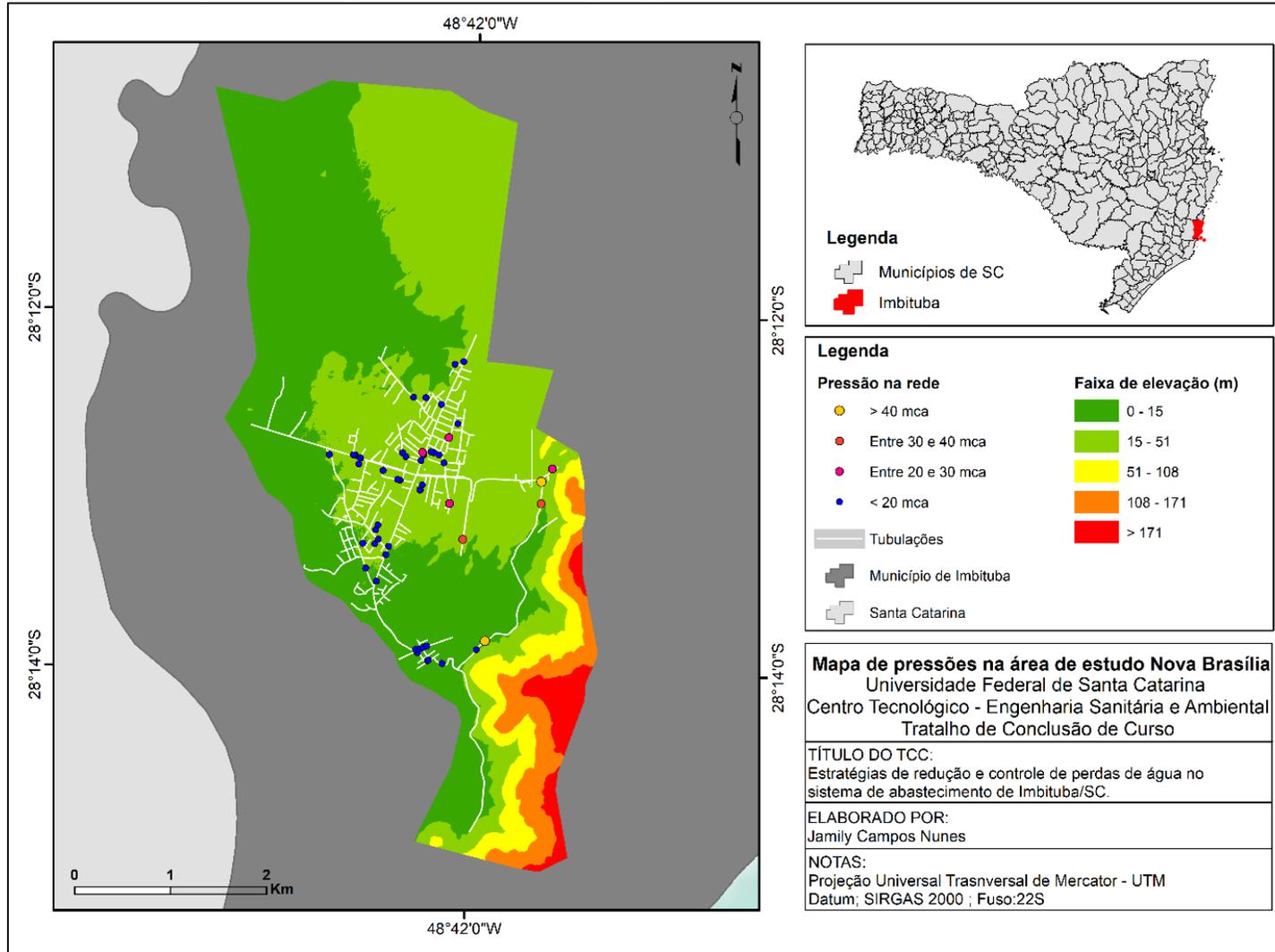
Os valores utilizados como entrada no balanço hídrico foram referentes a média dentro da faixa de cota que compreendem uma maior porcentagem da área de estudo, sendo portanto de 49,03 mca, 13,69 mca e 35,13 mca para as áreas de estudo Norte, Nova Brasília e Sul, respectivamente. Os mapas das Figura 28, Figura 29 e Figura 30 ilustram a disposição dos pontos de registros de pressão em cada área de estudo, além de discriminar as faixas de elevação.

Figura 28 - Mapa de faixas de elevação e pressões na área de estudo Norte.



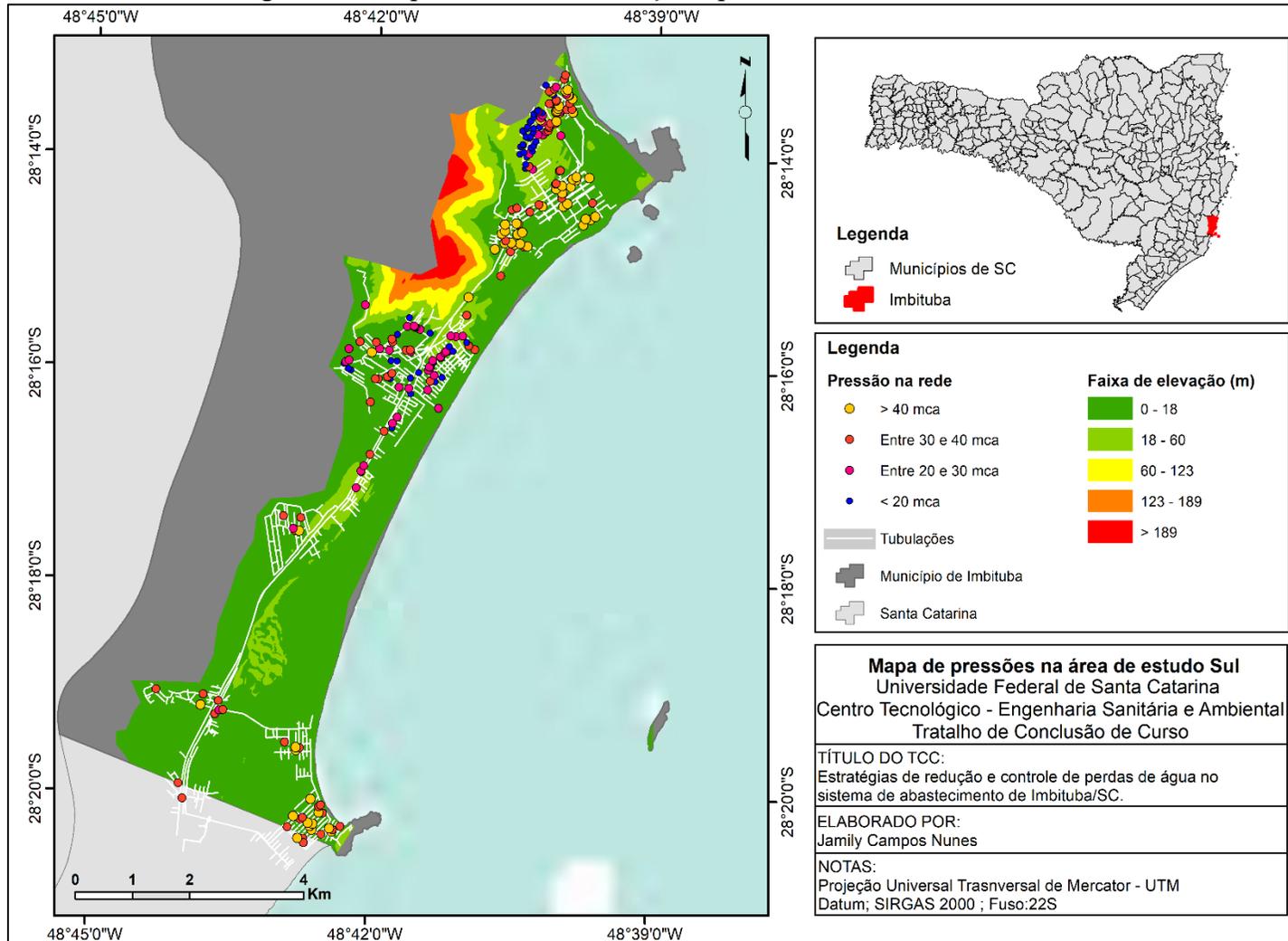
Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 29 - Mapa de faixas de elevação e pressões na área de estudo Nova Brasília.



Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 30 - Mapa de faixas de elevação e pressões na área de estudo Sul.



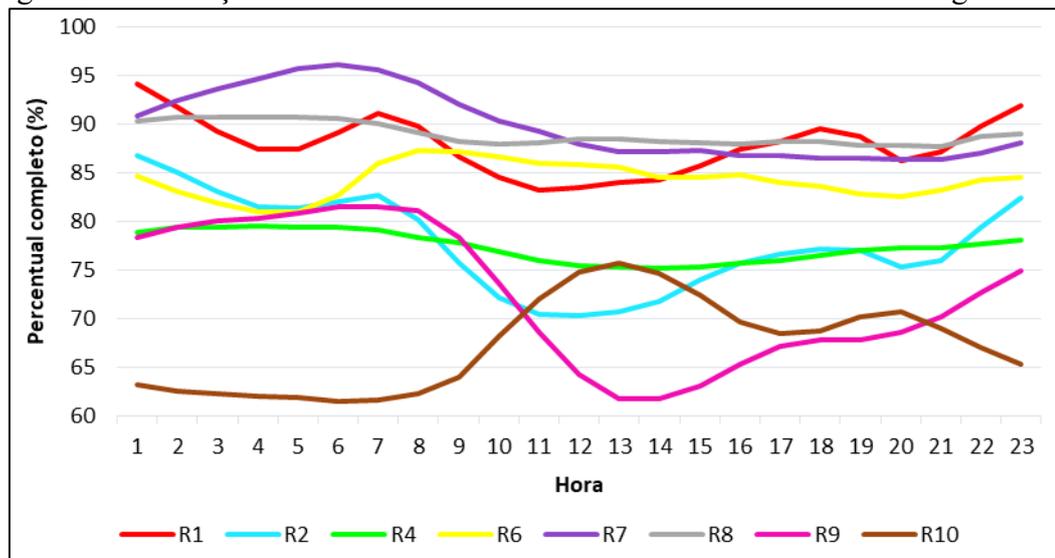
Fonte: Elaboração própria (2021).

#### 4.2.1.8 Abastecimento intermitente

Conforme descrito na metodologia, no item 3.3.8, o funcionamento do sistema de abastecimento de água de Imbituba não conta com abastecimento intermitente por conta dos reservatórios armazenarem água para distribuição em momentos de paralização na ETA. Porém, considerando os limites das áreas de estudo, apenas Nova Brasília não conta com armazenamento de água.

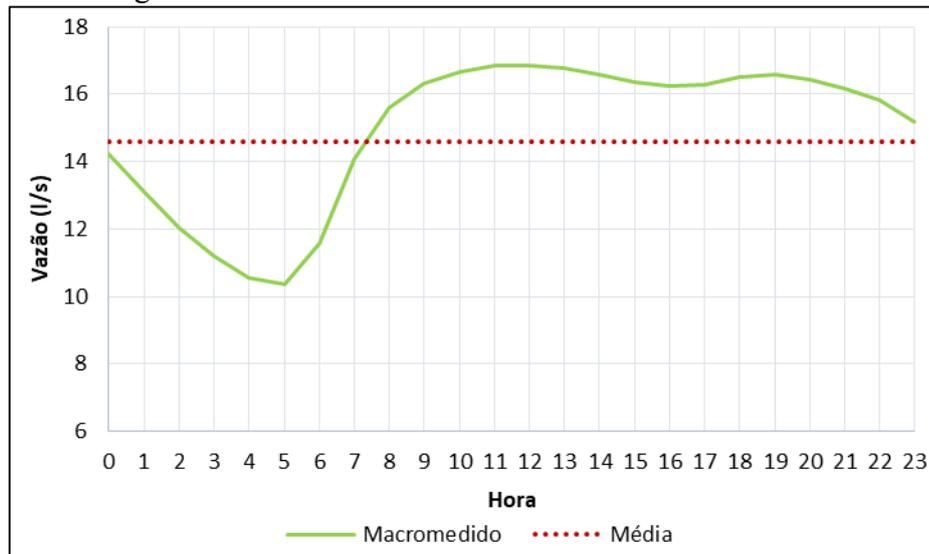
Para ilustrar o funcionamento do abastecimento diário das áreas de estudo Norte e Sul, o gráfico da Figura 31 a seguir apresenta a variação média ao longo do dia dos reservatórios existentes no SAA. Já a Figura 32 a seguir, apresenta a variação de vazão ao longo do dia na ERAT NB, visto que na área de estudo Nova Brasília, a ERAT é a unidade de entrada do abastecimento da região.

Figura 31 – Variação dos níveis dos reservatórios do SAA Imbituba ao longo do dia.



Fonte: Elaboração própria (2021).

Figura 32 - Gráfico de vazão média diária da ERAT NB.



Fonte: Elaboração própria (2021).

#### 4.2.1.9 Dados Financeiros

Os dados financeiros, obtidos dos indicadores do SNIS citados no item 3.3.9, estão apresentados na Tabela 31 a seguir.

Tabela 31 – Dados financeiros.

Indicador	Resultado (R\$/m <sup>3</sup> )
IN005 – Tarifa média praticada	5,38
IN003 – Despesa total com os serviços por m <sup>3</sup> faturado	3,21

Fonte: SNIS (2019).

## 4.2.2 Resultado do Balanço Hídrico

### 4.2.2.1 Área de estudo Norte

Os cálculos realizados através da metodologia do BH apontaram que no ano de 2019, do total de 1.388.113 m<sup>3</sup> de água produzida estimada para a área de estudo norte, 39% foram perdidos entre perdas reais e aparentes. A Figura 33 apresenta o resultado do BH na área de estudo Norte referente ao ano de 2019. Em vermelho estão indicados os percentuais em termos de volume de cada subgrupo se comparado ao volume total disponibilizado no sistema.

Figura 33 - Resultado do BH de 2019 na área de estudo Norte.

<b>Volume de Entrada no Sistema</b> <b>1.388.113 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 5,0% <b>100,0%</b>	<b>Consumo autorizado</b>  <b>846.897 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,0% <b>61%</b>	<b>Consumo autorizado faturado</b>  <b>846.897 m<sup>3</sup>/ano</b> <b>61%</b>	<b>Consumo medido faturado</b> <b>846.897 m<sup>3</sup>/ano</b> <b>61%</b>	<b>Água faturada</b>  <b>846.897 m<sup>3</sup>/ano</b> <b>61%</b>	
		<b>Consumo autorizado não faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,0% <b>0%</b>	<b>Consumo não medido faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup>/ano</b>		
			<b>Consumo medido não faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup>/ano</b>	<b>Água não faturada</b>  <b>541.216 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 12,8% <b>39%</b>	
			<b>Consumo não medido não faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,0%		
		<b>Perdas de água</b> <b>541.216 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 12,8% <b>39%</b>	<b>Perdas Aparentes</b> <b>141.375 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 11,7% <b>10%</b>	<b>Consumo não autorizado</b> <b>3.508 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 5,0% <b>0,25%</b>	
				<b>Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados</b> <b>137.867 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 12,0% <b>10%</b>	
		<b>Perdas Reais</b> <b>399.841 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 17,8% <b>29%</b>			

Fonte: Elaboração própria (2021).

Analisando as perdas totais, 74% correspondem a perdas reais e 26% a perdas aparentes. Vale ressaltar que as perdas aparentes são compostas, nesta análise, majoritariamente por imprecisões nos medidores visto que, conforme descrito no item 4.2.1.5, cerca de 32% do parque de hidrômetros possui idade maior que 10 anos, o que afeta na estimativa de submedição dos mesmos que resultou em 137.867 m<sup>3</sup>/ano.

O resultado no BH hídrico na área de estudo Norte mostra que 39% da água produzida e entregue nessa área não gera receita para a concessionária, ou seja, não é faturada. Para Tardelli (2015) este é um resultado alto para o indicador de índice de água não faturada, pois pertence ao intervalo entre 35% e 45%.

#### 4.2.2.2 Área de estudo Nova Brasília

O balanço hídrico do ano de 2019 é apresentado na Figura 34. A área de estudo Nova Brasília teve 33% do volume disponibilizado perdido no período estudado.

Figura 34 - Resultado do BH de 2019 na área de estudo Nova Brasília.

<b>Volume de Entrada no Sistema</b> <b>457.774 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,5% <b>100,0%</b>	<b>Consumo autorizado</b>  <b>306.124 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,0% <b>67%</b>	<b>Consumo autorizado faturado</b>  <b>306.124 m3/ano</b> <b>67%</b>	<b>Consumo medido faturado</b> <b>306.124 m3/ano</b> <b>67%</b>	<b>Água faturada</b>  <b>306.124 m3/ano</b> <b>67%</b>	
		<b>Consumo autorizado não</b> <b>0 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,0% <b>0%</b>	<b>Consumo medido não faturado</b> <b>0 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,0%	<b>Água não faturada</b>  <b>151.650 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 1,5% <b>33%</b>	
		<b>Perdas Aparentes</b> <b>50.739 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 11,8% <b>11%</b>	<b>Consumo não autorizado</b> <b>905 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 5,0% <b>0,20%</b>		
		<b>Perdas de água</b> <b>151.650 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 1,5% <b>33%</b>	<b>Perdas Reais</b> <b>100.910 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 6,3% <b>22%</b>	<b>Consumo não medido não faturado</b> <b>0 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,0%	
				<b>Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados</b> <b>49.834 m3/ano</b> Margem de erro [+/-] 12,0% <b>10,89%</b>	

Fonte: Elaboração própria (2021).

Dentre as perdas totais de água, 33% foram perdas aparentes, destacando que, assim como descrito no 4.2.2.1, a idade do parque de hidrômetros influenciou negativamente no volume de perdas aparentes. As perdas reais resultaram em 67% do volume total perdido no sistema.

Visto que a área de estudo Nova Brasília foi macromedida em boa parte do ano de 2019 (janeiro a meados de novembro), a margem de erro associada ao volume de entrada no sistema foi menor que o adotado para as demais áreas, o que impacta positivamente nas margens de erro calculadas para os valores obtidos de perdas de água, o que garante maior confiabilidade dos resultados. Ainda assim, em consequência da imprecisão nos dados de idade dos hidrômetros, justificada no item 3.3.5.1, o erro resultante para a estimativa de perdas aparentes alcançou 11,8%.

Estima-se que 33% da água disponibilizada na área de estudo Nova Brasília no ano de 2019 deixaram de ser faturadas, apresentando o melhor resultado para este indicador se comparada as demais áreas de estudo. Segundo Tardelli (2015), índice de água não faturada de 33% enquadra-se em uma faixa considerada moderada.

#### 4.2.2.3 Área de estudo Sul

Para a área de estudo Sul, os cálculos realizados através da metodologia do BH apontaram que no ano de 2019, do total produzido estimado de 2.121.063 m<sup>3</sup>, 39% foram perdidos entre perdas reais e aparentes, conforme Figura 35.

Figura 35 - Resultado do BH de 2019 na área de estudo Sul.

<b>Volume de Entrada no Sistema</b> <b>2.121.063 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 5,0% <b>100,0%</b>	<b>Consumo autorizado</b>  <b>1.304.099 m<sup>3</sup>/ano</b>  Margem de erro [+/-] 0,0% <b>61%</b>	<b>Consumo autorizado faturado</b>  <b>1.304.099 m<sup>3</sup>/ano</b>  <b>61%</b>	<b>Consumo medido faturado</b> <b>1.304.099 m<sup>3</sup>/ano</b> <b>61%</b>	<b>Água faturada</b>  <b>1.304.099 m<sup>3</sup>/ano</b>  <b>61%</b>
		<b>Consumo autorizado não faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 0,0% <b>0%</b>	<b>Consumo medido não faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup>/ano</b>	<b>Água não faturada</b>  <b>816.964 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 13,0%  <b>39%</b>
		<b>Perdas Aparentes</b> <b>215.011 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 11,8%  <b>10%</b>	<b>Consumo não autorizado</b> <b>2.716 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 5,0% <b>0,13%</b>	
	<b>Perdas de água</b>  <b>816.964 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-]  13,0% <b>39%</b>	<b>Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados</b> <b>212.295 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 12,0% <b>10%</b>		
		<b>Perdas Reais</b> <b>601.953 m<sup>3</sup>/ano</b> Margem de erro [+/-] 18,1% <b>28%</b>		

Fonte: Elaboração própria (2021).

Dentre as perdas totais, 74% correspondem a perdas reais e 26% a perdas aparentes. Assim como nas demais áreas de estudo, o resultado do BH para perdas aparentes foi significativamente impactado pela idade estimada dos hidrômetros. Ainda assim, as perdas reais corresponderam a maior parcela das perdas totais.

Portanto, a área de estudo Sul consome o maior volume de água produzido no município se comparada as demais áreas de estudo, e também corresponde ao maior volume de água perdido. Analisando a porcentagem de água não faturada na área de estudo sul, assim como na área de estudo norte, o valor de 39% representa um valor considerado alto na classificação elaborada por Tardelli (2015).

#### 4.3 IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA CRÍTICA

A Tabela 32 apresenta o resultado dos critérios definidos no item 3.4 para todas as áreas de estudo. É possível perceber de antemão que, considerando os critérios selecionados para determinar a área crítica (item 3.4), a área de estudo Sul obteve os resultados mais

alarmantes, sendo todos os critérios enquadrados dentro da faixa máxima da Tabela 10, com exceção do critério referente a exportação de água.

Tabela 32 – Dados de entrada para definição da área de estudo crítica.

Critério	Área de Estudo		
	Norte	Nova Brasília	Sul
<b>Perda total por ligação (l/lig/dia)</b>	218	174	244
<b>Densidade demográfica (hab/km<sup>2</sup>)</b>	171,16	379,76	588,64
<b>Presença de população flutuante</b>	Sim	Não	Sim
<b>Tipo de consumo predominante (% de consumo residencial)</b>	87%	87%	85%
<b>Importa água</b>	Não	Não	Sim
<b>Exporta água</b>	Sim	Não	Não

Fonte: Elaboração própria (2021).

Os resultados de perda total por ligação influenciaram de forma significativa na determinação da área crítica, visto que este foi o critério elencado de maior peso na Tabela 9 e ainda, teve sua valoração classificada de acordo com o resultado obtido para as áreas, sendo 0,33 para Nova Brasília, 0,66 para a área de estudo Norte, e valor máximo de 1 para a área de estudo Sul.

A densidade demográfica das áreas de estudo apresentam grande variação entre si, sendo a região sul responsável pelo valor mais significativo no número de habitantes por km<sup>2</sup>. Apesar de representar uma área grande do município, boa parte da população imbitubense mora nos bairros abrangidos pela área de estudo Sul, conforme apresentado na Tabela 17.

Nova Brasília por sua vez, apresenta uma área pequena se comparada as demais, porém densa em habitantes. Já a área de estudo Norte possui menor densidade demográfica, considerando apenas população residente com base no censo do IBGE de 2010. Porém, conforme já salientado nos itens 3.3.1.1 e 4.1, esta é a região que mais sofre influência da população flutuante no município, fator não representado no indicador de densidade demográfica e sim no critério próprio sobre o assunto.

Dentre as áreas de estudo, a única que não foi considerada como impactada significativamente pela população flutuante foi Nova Brasília por não se tratar de área litorânea, e não apresentar variação no consumo na mesma proporção das demais áreas de estudo, comprovado na Figura 24.

O tipo de consumo predominante nas áreas de estudo foram similares, apresentando predominância de economias residenciais. A Tabela 33 apresenta a porcentagem dos volumes micromedidos por tipo de economia nas áreas de estudo. Visto que os dados de consumo

micromedido estão registrados por ligação, nas ligações onde haviam mais de uma economia, o volume micromedido foi estimado distribuindo igualmente o volume total da ligação entre as economias. Percebe-se que a região sul se destaca das demais no volume consumido por economias comerciais, visto que a região abrange o centro do município, conforme descrito no item 4.1.

Tabela 33 – Porcentagem dos volumes micromedidos por tipo de economia.

Tipo de economia	Área de estudo		
	Norte	Nova Brasília	Sul
<b>Residencial</b>	87%	87%	85%
<b>Comercial</b>	7%	4%	9%
<b>Industrial</b>	0%	0%	1%
<b>Público</b>	3%	2%	2%
<b>Residencial Social</b>	3%	7%	3%

Fonte: Adaptado de Serrana Engenharia (2021).

Por fim, os critérios referentes a importação e exportação de água foram qualificados considerando a importação de água de Laguna para área de estudo Sul e exportação de água para Garopaba, passando pela área de estudo Norte.

A partir dos dados elencados na Tabela 32 foram valorados os critérios nas áreas de estudo conforme Tabela 10 e, por meio da Equação (1) obteve-se o peso final de priorização das áreas de estudo, apresentada na Tabela 34.

Tabela 34 – Peso final dos critérios por área de estudo.

Critérios	Área de estudo		
	Norte	Nova Brasília	Sul
<b>Perda total por ligação</b>	2,15	1,07	3,25
<b>Densidade demográfica</b>	0,50	1,01	1,53
<b>População flutuante</b>	1,02	0,10	1,02
<b>Tipo de consumo predominante</b>	0,04	0,04	0,40
<b>Importa água</b>	0,03	0,03	0,25
<b>Exporta água</b>	0,19	0,02	0,02
<b>Priorização</b>	<b>3,92</b>	<b>2,27</b>	<b>6,47</b>

Fonte: Elaboração própria (2021).

Sendo assim, a área crítica definida foi a área de estudo Sul com pontuação de 6,47. A ordem de priorização segue com a área de estudo Norte na sequência, com pontuação de 3,92 e por último a área de estudo Nova Brasília, com 2,27.

#### 4.4 IDENTIFICAÇÃO DAS PRINCIPAIS CAUSAS DA PERDA DE ÁGUA NA ÁREA CRÍTICA

Após definida a área de estudo pode-se determinar o tipo de perda que será analisada daqui em diante, conforme metodologia do presente trabalho. Sendo assim, em concordância com o resultado do BH para a área de estudo Sul apresentado no item 4.2.2.3, a maior parcela das perdas totais de água corresponde a perdas reais, totalizando 74% das perdas totais diagnosticadas.

Sendo assim, os critérios elencados como causas principais das perdas reais de água no item 3.5.1 foram valorados para a área crítica conforme Tabela 15. A Tabela 35 apresenta o resultado dos critérios na área de estudo Sul e a valoração adotada.

Tabela 35 – Resultado dos critérios de perdas reais na área de estudo crítica.

<b>Critérios</b>	<b>Resultado do critério</b>	<b>Valoração</b>
<b>Pressão média (mca)</b>	35,13	0,75
<b>Frequência de fugas ou rupturas (vazamento/100 km.ano)</b>	222	1,00
<b>Densidade de ligações (ligações/km)</b>	71	1,00
<b>Tempo de reparo dos vazamentos (dias)</b>	0,98	0,20
<b>Setorização</b>	Não	1,00
<b>Extravasamento de reservatório</b>	Não	0,50

Fonte: Elaboração própria (2021).

Conforme apresentado no 4.2.1.7 e de acordo com a metodologia utilizada (item 3.3.7.1), a pressão média na área de estudo Sul é de 35,13 mca, variando entre 2 mca e alcançando valores de até 56 mca.

A grande maioria das pressões altas, acima de 40 mca, estão localizadas nos bairros de Paes Leme, Centro e Vila Alvorada, conforme ilustrado no mapa da Figura 30. Isto pode ser explicado pela distribuição de água desses bairros ocorrer pela adutora de água tratada que sai dos reservatórios R1 e R2, localizados em cota aproximada de 60 metros, em direção ao sul com distribuição em marcha. Para que a água chegue com pressão suficiente até a ERAT 9 por essa mesma linha de adução, os bairros a montante tendem a sofrer as consequências com pressões elevadas. Apesar do bairro Village também ser abastecido diretamente pelos reservatórios R1 e R2, e ser um dos primeiros a receber água no trajeto em direção ao sul, foram encontrados apenas um ponto com registro de pressão acima de 40 mca. Isto pode ser explicado pelo fato do bairro se localizar em uma região mais elevada se comparado a região central, com cotas variando entre 30 e 40 metros, aproximadamente. Ou seja, comparando a

elevação do bairro com a cota aproximada dos reservatórios que o abastece, tem aproximadamente entre 20 e 30 metros de diferença. Além disso, há influência da perda de carga no trecho que abastece o bairro, sendo este uma linha exclusiva de DN150 segundo o cadastro técnico fornecido.

Alguns pontos próximo ao reservatório R10 em Itapirubá também apresentam valores de pressão acima de 40 mca. Considerando que Itapirubá pode ser abastecido tanto pela linha de adução que vem da ETA Itapirubá, quanto pelo reservatório R10 de jusante, as pressões elevadas registradas devem ocorrer devido a carga hidráulica fornecida pelo reservatório apoiado, instalado na cota aproximada de 43 metros conforme MDT utilizado no presente estudo (item 3.1.1.2), ou ainda, pela carga fornecida pela adutora que o abastece.

Ainda que as pressões máximas sejam de maior relevância no surgimento das perdas reais, as pressões abaixo da pressão mínima de 10 mca em redes de distribuição, conforme NBR 12.218 de 2017, foram analisadas na área de estudo crítica. Pode-se perceber predominância dos pontos com registros de pressão baixa nos bairros Vila Nova e Vila Santo Antônio. O mesmo pode ocorrer devido à elevada perda de carga na adutora citada anteriormente, que percorre desde os reservatórios R1 e R2 até a ERAT 9, visto que estes bairros são os últimos a serem abastecidos antes de chegar na estação de bombeamento. O APÊNDICE F apresenta o mapa de calor obtido para os pontos com registro de pressão registrados na área de estudo Sul.

A frequência de fugas ou rupturas foi obtida dos registros de ordem de serviço por reparo de vazamentos na rede. Do total de 642 OSs, 45% foram abertas na área de estudo Sul. O cálculo do indicador utilizado para valoração desse critério resultou em um total de 222 vazamentos/100 km.ano na área de estudo crítica, obtendo valoração máxima nesse quesito.

O critério de densidade de ligações também obteve valoração máxima na área de estudo crítica, por ultrapassar ligeiramente a classificação máxima adotada na Tabela 15, resultando em 71 ligações/km.

O tempo de reparo dos vazamentos em Imbituba, com base nas informações de abertura e execução de OSs, é em média de 1 dia. Para a área de estudo Sul, o resultado médio para esse parâmetro foi de menos de um dia, representando pouco impacto nas perdas reais. Ainda assim, vale ressaltar que a fonte de dado utilizada tem uma margem de erro associada ao tempo em que de fato inicia o vazamento até ser aberta a ordem de serviço para conserto, e ainda após execução do serviço há o tempo entre a finalização e o registro no sistema na companhia.

Conforme enfatizado no item 3.2, nenhuma das áreas de estudo possuem setorização, portanto, este critério foi valorado de acordo com valor máximo da Tabela 15. Ainda que os setores de estudo não possuam DMCs, zonas de pressão ou setores de manobra definidos por meio de projeto específico para tal, vale ressaltar que existem alguns dispositivos instalados na rede que visam facilitar a operação ou adequar a pressão em alguns pontos.

Quanto ao extravasamento de reservatório, em análise aos dados recebidos de níveis dos reservatórios concluiu-se que os reservatórios que pertencem a área de estudo crítica e fazem parte do escopo do diagnóstico realizado no presente trabalho, não apresentaram ocorrência de extravasamento, sendo estes os reservatórios R9 e R10. Os níveis máximos para ambos reservatórios estão apresentados na Tabela 36 a seguir. Apesar da telemetria do R9 conter registro de mais de 100% do percentual completo, a variação de nível corresponde a apenas 0,12 metros. Em contato com a companhia operadora do sistema, foi alegado que não há ocorrência de extravasamentos nos reservatórios da área de estudo Sul, podendo ser imprecisão nos dados registrados pela telemetria.

Tabela 36 – Níveis máximos registrados nos reservatórios da área de estudo Sul.

<b>Reservatório</b>	<b>Percentual completo máximo (%)</b>	<b>Nível máximo registrado (m)</b>	<b>Extrapolação do nível máximo do reservatório (m)</b>
<b>R9</b>	102,5	4,92	0,12
<b>R10</b>	91,5	3,66	-

Fonte: Adaptado de Serrana Engenharia (2021).

A Tabela 37 apresenta o *Ranking* final obtido para as causas de perdas reais na área de estudo Sul. A causa predominante obtida é a pressão média, seguida de frequência de fugas ou rupturas, densidade de ligações, setorização, tempo de reparo dos vazamentos e por último, extravasamento de reservatório.

Vale destacar que, apesar de o peso atribuído para o critério tempo de reparo dos vazamentos ter sido maior que o peso atribuído à setorização na análise das causas de perdas reais no item 3.5.1, para a área de estudo Sul a ordem de priorização se mostrou inversa após valoração dos critérios, mostrando a aplicabilidade do método conforme as características da região.

Tabela 37 – *Ranking* obtido para as causas de perdas reais na área de estudo crítica.

<b>Critérios</b>	<b>Ranking das causas prioritárias</b>	<b>Ordem de priorização</b>
<b>Pressão média</b>	1,91	1
<b>Frequência de fugas ou rupturas</b>	1,62	2
<b>Densidade de ligações</b>	1,04	3
<b>Setorização</b>	0,41	4

<b>Cr�terios</b>	<b>Ranking das causas priorit�rias</b>	<b>Ordem de prioriza��o</b>
<b>Tempo de reparo dos vazamentos</b>	0,13	5
<b>Extravasamento de reservat�rio</b>	0,10	6

Fonte: Elaboração própria (2021).

#### 4.5 PROPOSIÇÃO DE A  OES PRIORITÁRIAS OPERACIONAIS DE COMBATE AS PERDAS

##### 4.5.1 Hierarquização das causas do tipo de perda predominante na área crítica

Com base nos resultados obtidos na Tabela 37, as ações de combate e controle das perdas reais na área crítica serão propostas visando principalmente controlar a pressão na rede de distribuição e diminuir a frequência de fugas e rupturas das tubulações e ramais. A implantação de uma setorização na área de estudo, também elencada como um dos cr terios prioritários para ser trabalhado, será avaliada em conjunto.

É evidente que, conforme apresentado no Quadro 7, as ações operacionais para minimização dos impactos nas perdas referente as quatro primeiras causas prioritárias elencadas para a área crítica estão fortemente relacionadas entre si, tendo impacto uma sobre a outra. Ou seja, uma mesma ação operacional pode contribuir com melhorias sobre mais de um cr terio. A exemplo da setorização, que conforme salientado no item 2.5.1, se busca operar com pressões de serviço adequadas. E as pressões médias, por sua vez, possuem relação direta com a ocorrência de vazamentos, sendo responsável por diminuir a frequência de novos vazamentos e da vazão perdida naqueles já existentes, conforme explicado também no item 2.5.1.

Além disso, a implantação de uma setorização a nível de setores de manobra, pode também contribuir com o tempo médio de reparo da rede, visto que a implantação de válvulas de manobra delimitando pequenos setores em conjunto com pontos de controle de pressurização do sistema, contribuem para uma detecção mais rápida de vazamento, além de possibilitar a manutenção na rede com menor impacto na distribuição.

Ainda que, conforme descrito anteriormente, a setorização possa contribuir com o tempo médio de reparo da rede, este cr terio não foi elencado como causa de perda prioritária na área de estudo crítica portanto, não serão propostas ações com enfoque no mesmo. Isto porque, conforme informações recebidas pela companhia operadora, o tempo médio de reparo da rede de distribuição da área de estudo crítica é considerado baixo de acordo com a classificação de Tardelli (2015).

Além disso, o fato de não haver ocorrência de extravasamentos dos reservatórios na área de estudo acarretou em uma menor priorização dessa causa de perda real, descartando-a das ações a serem propostas no item 4.5.2 a seguir. Ainda assim, o critério em questão não foi anulado e possui um peso na ordem de priorização, representando a importância de que independente das ocorrências ou não de extravasamento, os reservatórios devem receber as manutenções adequadas para melhoria das condições operacionais e estruturais dos mesmos e das tubulações adjacentes.

#### **4.5.2 Ações propostas**

A seguir, serão descritas as ações prioritárias de combate e controle das perdas de água na área crítica, de acordo com o resultado obtido para o *ranking* de causas principais de perdas reais na área de estudo Sul (Tabela 37). As sugestões são feitas com base nas experiências vivenciadas por outros sistemas de distribuição que sofreram com os mesmos problemas e as soluções estão apresentadas em literatura e estudos de caso, visto que não houve visita técnica para o presente estudo, tampouco a implantação das ações sugeridas para acompanhamento dos resultados.

##### *4.5.2.1 Controle de pressão*

Em redes de distribuição de água com elevadas variações topográficas, o gerenciamento de pressões torna-se mais complexo e, em casos de inexistência de setorização em zonas de pressão, é provável a ocorrência de pressões fora da faixa recomendada entre mínima (10 mca) dinâmica e máxima (40 mca) estática (NBR 12.218/2017).

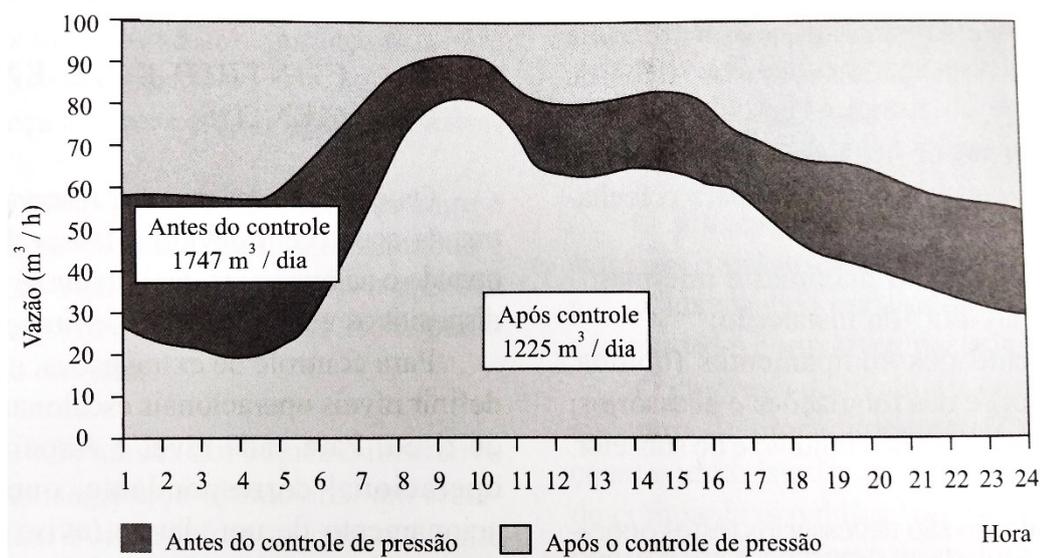
No caso da área de estudo Sul, pode-se observar pela Tabela 30 e mapa da Figura 30 que a maior parcela da área atendida está dentro da faixa de cota de 0 a 18,35 metros, totalizando 76% da área total. Os locais mais elevados, principalmente no morro entre o bairro Mirim e a região central, não possui adensamento urbano. Sendo assim, considerando os locais onde há ligações, a diferença topográfica não é um fator agravante na região.

As pressões altas registradas na área de estudo crítica, conforme apresentado no item 4.4, tendem a ser consequência da forma de distribuição de água na região, por meio da adutora de água tratada que segue distribuindo em marcha até a ERAT 09. Portanto, o controle de pressão da área de estudo Sul deve ter enfoque na concepção da distribuição de água.

Uma experiência ilustrada por Manzi (2020) em um DMC, com 222 ligações e cerca de 2,7 km de redes em PVC, permitiu reduzir o índice de perdas de 66% para 49% (ou 974 L/ligação.dia para 467 L/ligação.dia) apenas com controle de pressão. O exemplo dado por Manzi (2020) se trata de um setor muito menor que a área crítica estudada em termos de quantidade de ligação e extensão de rede, visto que se trata de um DMC estabelecido. Porém, será proposta a delimitação de distritos de medição e controle na área crítica (item 4.5.2.1.1), portanto é válido ressaltar a consequência do controle de pressão no índice de perdas em um DMC.

Tsutiya (2006) apresenta uma experiência similar da SABESP, onde o resultado da aplicação de uma VRP reduziu significativamente as vazões do subsetor, creditada à diminuição das vazões perdidas nos vazamentos. A Figura 36 apresenta os resultados da redução de pressão.

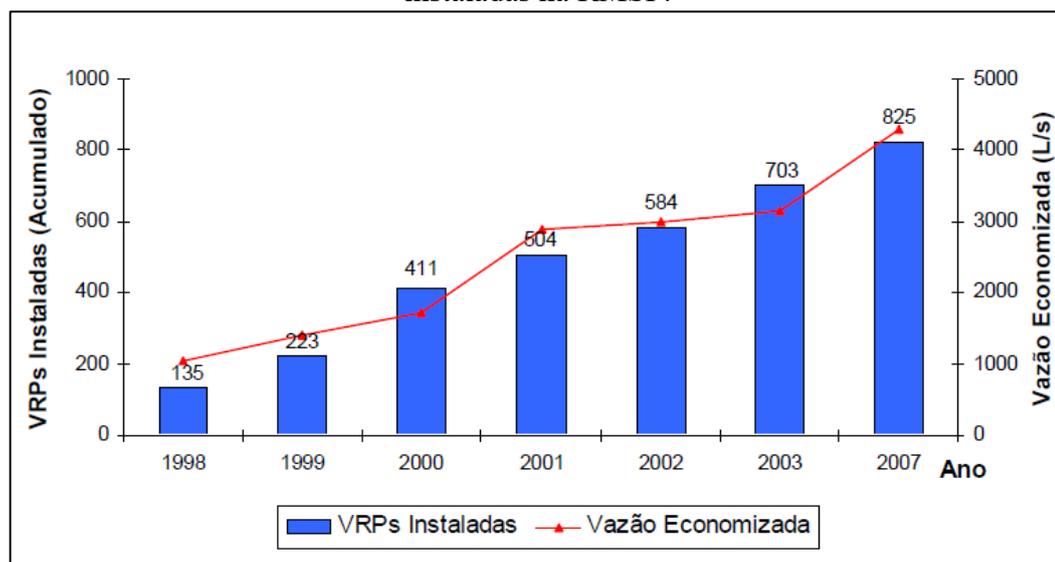
Figura 36 – Resultados da redução da pressão na SABESP/BBL em 1999.



Fonte: Tsutiya (2006).

Motta (2010) mostra que a Sabesp vem empregando largamente válvulas redutoras de pressão nas redes de distribuição como uma das principais ações de combate às perdas de água, e com isso, vem alcançando resultados expressivos em economia de água potável, conforme apresentado na Figura 37. Em 2007 haviam 825 VRPs na região metropolitana de São Paulo, cobrindo 30% da rede existente (cerca de 8.000 km), gerando uma economia de 4,2 m³/s (Freitas et al., 2007), equivalente a 53 vezes o consumo de água do município de Imbituba.

Figura 37 – Evolução do volume de água recuperado em função do número de válvulas instaladas na RMSP.



Fonte: Freitas et al., 2007 apud. Motta, 2010.

A Região Metropolitana de São Paulo obteve, por meio do Programa de Redução de Pressão, ganhos de eficiência na operação do sistema de distribuição, promovendo redução de custos, economia de água e postergando a implantação de novos mananciais para a RMSP (Freitas et al., 2007).

A solução do problema das pressões é o zoneamento piezométrico, ou seja, a divisão de um setor de abastecimento em zonas com comportamento homogêneo dos planos de pressão (TSUTIYA, 2006). Portanto, recomenda-se para a área de estudo Sul a subdivisão da mesma em zonas de pressão distintas com auxílio de modelagem matemática.

#### 4.5.2.1.1 Implantação de setorização

Segundo Tsutiya (2006), em sistemas abertos ou sem controle dos fluxos entre sistemas, a mistura incontrolada das águas gera também comportamentos mais difíceis de serem previstos e gerenciados em termos de pressão, qualidade de água e consumos.

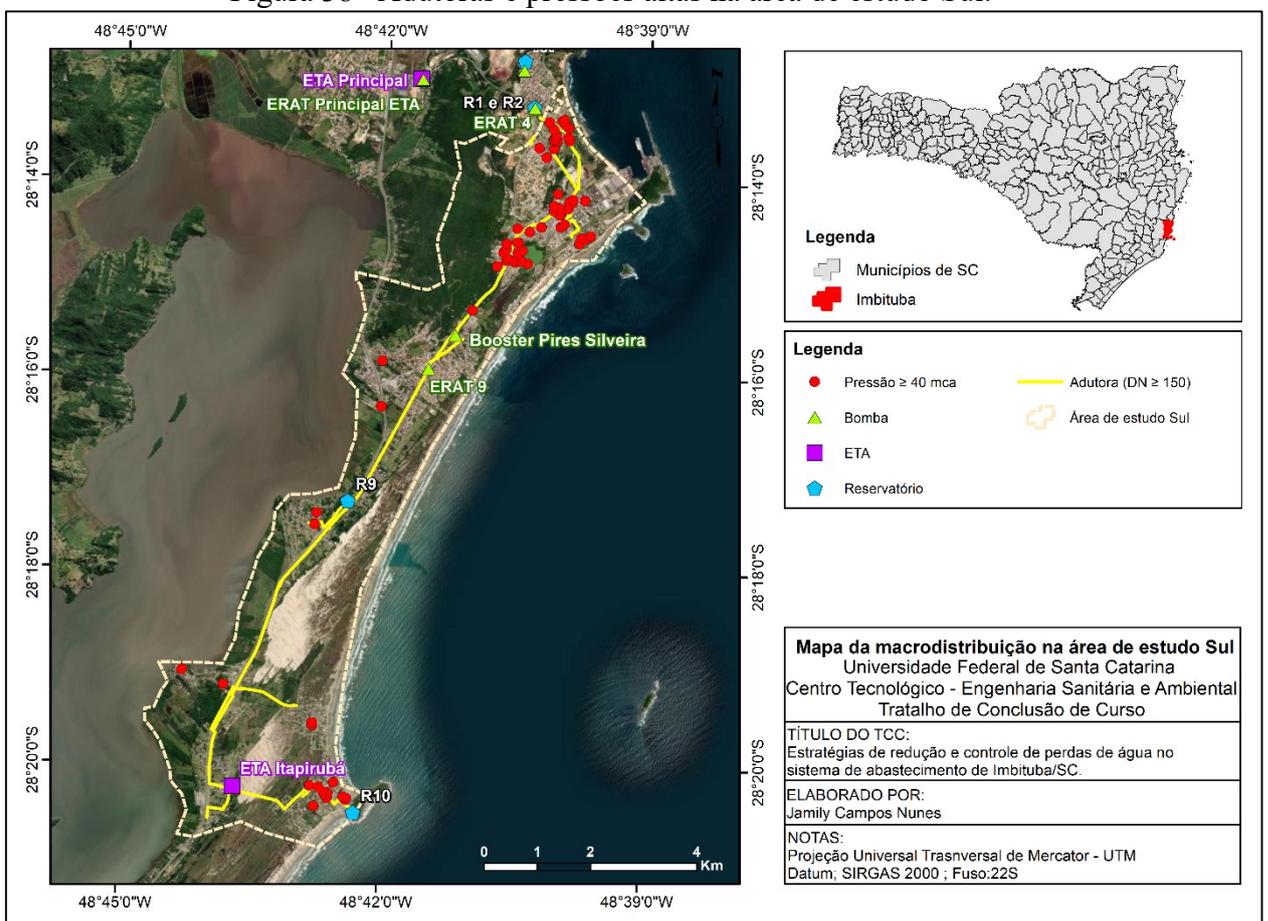
O setor de abastecimento clássico pode ser definido a partir de um ponto de entrega de volumes de água, que pode ser um reservatório de regularização ou uma derivação de adutora (TSUTIYA, 2006). As áreas de estudo apresentadas no presente trabalho, possuem seus pontos de entrega de volume descritos no item 3.2, e poderiam, portanto, se enquadrar nos padrões de setores de abastecimento distintos.

Ainda segundo Tsutiya (2006), os próximos níveis de setorização são as zonas de pressão, utilizando para isso os reservatórios setoriais, instalação de Boosters ou VRPs.

Atualmente, o município de Imbituba não possui nenhuma VRP instalada. Já Boosters, conforme apresentado no item 3.1.2.4, a cidade possui três, sendo um deles na área de estudo crítica, denominado Booster Pires Silveira. O booster existente na área crítica pressuriza a linha que abastece a rua Pires Silveira em direção ao litoral.

A Figura 38 abaixo apresenta a imagem de satélite da área de estudo sul, com as unidades principais e com destaque nas adutoras de água bruta que abastecem a região Sul atualmente. Além disso, está representado os pontos com registros de pressão que ultrapassaram 40 mca em 2019.

Figura 38 – Adutoras e pressões altas na área de estudo Sul.



Fonte: Elaboração própria (2021).

Para reduzir as pressões nos pontos em vermelho da Figura 38, pode-se considerar a setorização como uma solução, podendo ser adotada alguma das alternativas:

- Delimitação de zonas de pressão por meio da instalação de VRP nas áreas com pressão alta;
- Instalação de reservatório de jusante para abastecimento dos bairros centrais (Centro, Paes Leme e Vila Alvorada), aproveitando a pressão disponível na

adutora de água tratada para enchimento do reservatório nas horas de menor consumo e auxílio no abastecimento nas horas de maior consumo, provocando uma queda de pressão na rede.

Apesar das alternativas descritas serem soluções usuais na solução de pressões altas em redes de distribuição de água, estas precisam ser validadas por meio de modelagem hidráulica para simular o comportamento hidráulico das tubulações e subsidiar a reformulação dos setores existentes (item 4.5.2.1.2) em função dos padrões e dinâmica da rede. Vale ressaltar que o uso indiscriminado da VRP para controle de pressões não é uma prática recomendável, devendo ser avaliada em conjunto com a reformulação de setores de abastecimento (MOTTA, 2010).

Para ambas alternativas, é recomendada o isolamento da adutora de água tratada, diminuindo ao máximo o número de ramificações no trajeto da mesma e mantendo o menor número possível de entradas de alimentação por DMC delimitado, conforme recomenda a NBR 12.218/2017.

Quanto a delimitação da rede em DMCs, a norma 12.218/2017 recomenda seguir a topologia natural, as fronteiras hidráulicas da rede, e ter como base as zonas de pressão e outros subsistemas já existentes. Considerando os limites máximos estipulados por norma para extensão total de rede por DMC de 25 km e número máximo de ligações de 5.000, com base na extensão total de rede da área de estudo Sul (Tabela 19), espera-se que a mesma seja delimitada em aproximadamente 5 DMCs.

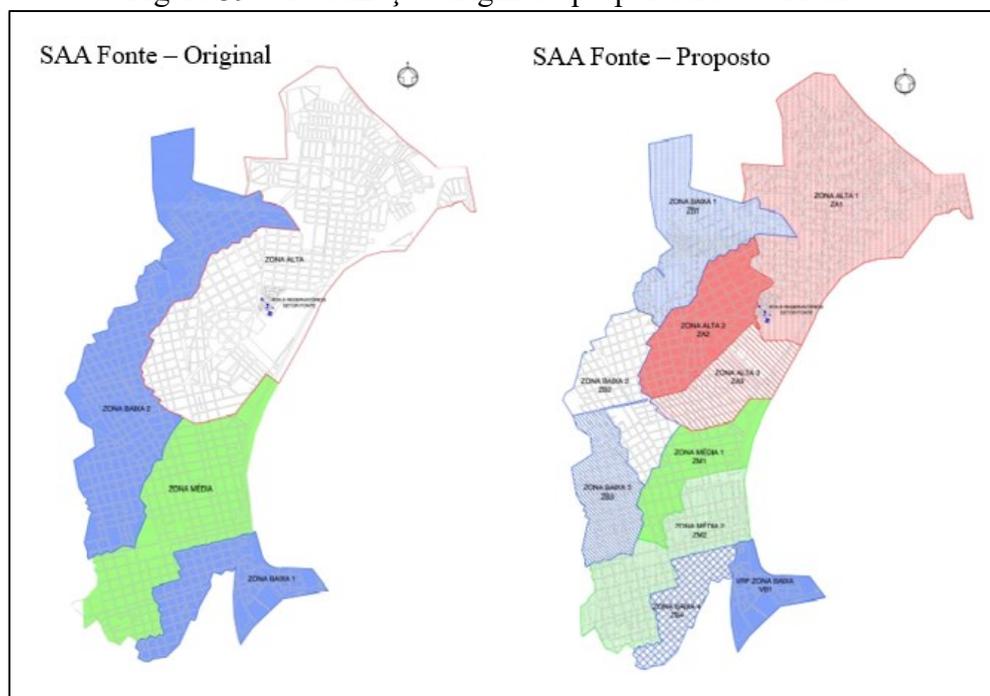
Júnior (2014) mostra que a gestão atual das perdas de água no município de Bragança Paulista/SP com a utilização dos DMC's, trouxe resultados significativos através da gestão das vazões e pressões nos DMC's. Os DMCs foram implantados em 2007, e a partir daí houve uma redução significativa nos índices de perdas de água por ligação, passando de 317 L/lig/dia para 138 L/lig/dia em 2013. A minimização dos volumes de água perdidos ocorreu, pois, as alterações nas vazões nos DMC's passaram a ser identificadas com maior brevidade devido ao monitoramento dos mesmos, mostrando a importância do gerenciamento da rede (item 4.5.2.1.3).

Motta (2010) estudou o efeito da subsetorização do setor de abastecimento Fonte, localizado em Araraquara/SP, e o resultado teórico obtido por meio de modelagem na redução das perdas reais advindo da subdivisão do setor em microzonas. O setor possui 277 km de rede de distribuição, o que equivale a 84% da extensão de rede de distribuição total do município de Imbituba.

A simulação de Motta (2010) buscou o melhor equilíbrio possível na distribuição, homogeneizando o plano piezométrico. O setor original contava com apenas 3 zonas de pressão e nenhum subsetor. A nova proposta subdividiu o setor fonte em dez zonas de pressão e 14 subsetores, sendo 8 áreas de controle de pressões e 6 setores de manobra. Os cálculos demonstraram a redução da vazão noturna de 419 m<sup>3</sup>/h para 373 m<sup>3</sup>/h, equivalendo a uma redução de 12%. A média das pressões noturnas também reduziu após subsectorização, de 38,5 mca para 34,3 mca.

O estudo de Motta (2010) ainda sugere a instalação de VRPs nas extremidades do setor, onde estão localizadas as cotas mais baixas, porém não foi considerada a interferência desses acessórios na rede nos resultados apresentados, a fim de evidenciar o efeito do isolamento físico dos subsetores em comparar com as condições atuais. Apesar do estudo não apresentar o efeito obtido após implantação da setorização proposta, a calibração do modelo hidráulico para condições atuais apresentou resultados bastante fiéis as medições de campo e portanto, traduz as condições hidráulicas do setor, atribuindo confiabilidade nos resultados apresentados.

Figura 39 – Setorização original e proposta no setor Fonte.



Fonte: Adaptado de Motta, 2010.

Ainda que, para delimitação adequada das zonas de pressão e distritos de medição e controle na área de estudo Sul seja necessária a simulação hidráulica da rede (item 4.5.2.1.2), é possível de antemão identificar pela distribuição das tubulações na área e pelas aglomerações urbanas, onde seria mais conveniente segregar.

#### 4.5.2.1.2 Simulação hidráulica da rede

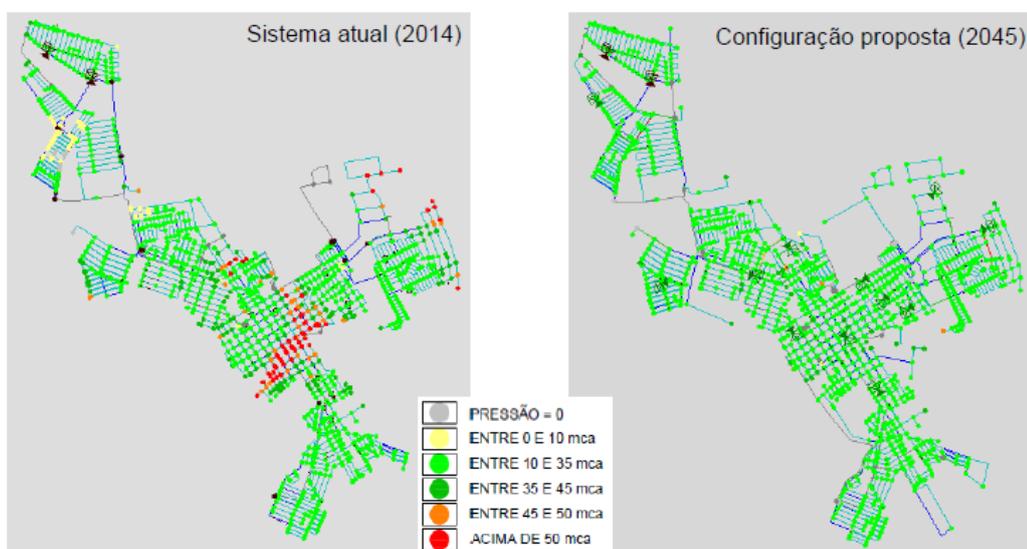
Para todas as sugestões dadas no item anterior, conferindo setorização a rede (item 4.5.2.1.1), estas podem e devem ser validadas por meio de simulação hidráulica, pois com isso é possível conhecer detalhadamente as condições de vazão e pressão no sistema para cada hipótese.

Por exemplo, para alocação de VRPs, Itonaga (2005) salienta que o uso de modelos hidráulicos permite a visualização das pressões nos diversos pontos do sistema distinguindo as pressões críticas (máxima e mínima) ao longo do dia conforme a variação horária de consumo. Assim, locando-se as VRPs em diferentes pontos pode-se chegar a situações adequadas para o sistema. Ainda segundo o autor, além da instalação dos dispositivos, podem ser necessárias interligações ou capeamentos de trechos de rede, fazendo com que a comunicação ou não das tubulações conduza a uma configuração de pressões mais adequada.

Bastos *et al.* (2015) apresenta os resultados obtidos para as pressões na rede do SAA Pederneiras, em São Paulo, antes e após setorização do sistema (Figura 40). Neste caso em específico, as proposições envolveram, de maneira geral, a ressetorização de determinadas zonas de pressão, manobras e intervenções de pequeno porte para melhoria da rede, a implantação de três reservatórios, e implantação de duas novas adutoras entre Centros de Reservação, com estações de bombeamento.

A cidade do estudo citado possui número de habitantes próximo ao de Imbituba, com total de 40.350 habitantes. O estudo além de simular o cenário atual do abastecimento da cidade com e sem setorização, simula os cenários para as demandas futuras de até 30 anos do horizonte de projeto. A conclusão do trabalho mostra que, observando a diferença entre a demanda total do sistema no cenário com as intervenções propostas e no cenário mantendo-se a proporção de perdas reais atual, não haverá necessidade de ampliação do sistema de captação adotando a concepção proposta, uma vez que a redução de perdas compensará o aumento de demanda futura.

Figura 40 - Comparação entre as pressões na rede no sistema atual e configuração proposta, no horário de máxima demanda, no SAA Pederneiras.



Fonte: Bastos et al. (2015).

Para realização de uma simulação hidráulica, é imprescindível a atualização cadastral do município a ser estudado, além de medições em campo de pressão e vazão em pontos estratégicos da rede para alimentar os dados de entrada utilizados na calibração do modelo. Sendo assim, o primeiro passo a ser feito, antes de prosseguir com as ações propostas no presente estudo, é a realização da atualização cadastral da rede de distribuição de Imituba, verificando a confiabilidade dos dados apresentados na planta de tubulações existente e adicionando as unidades e tubulações implantadas nos últimos anos. E ainda, faz-se imprescindível a instalação de medidores de pressão e vazão fixos em pontos estratégicos de modo que seja possível a validação de um modelo hidráulica da rede.

#### 4.5.2.1.3 Gerenciamento de rede e pontos de controle

Em conjunto das ações operacionais citadas anteriormente, é de suma importância a realização de coleta de dados operacionais para gerenciamento da rede, contribuindo também para avaliação da eficácia das ações operacionais propostas e direcionamento de ações futuras. De acordo com a NBR 12.218/2017 o DMC deve ser equipado com medidores de vazão em todas as entradas e saídas, e medidores de pressão nos pontos críticos da rede.

Definidos e isolados os setores e subsetores da rede de distribuição da área de estudo crítica, devem ser conhecidos os volumes disponibilizados em no mínimo, cada zona de pressão além da instalação de pontos de controle de pressão. Quando há verificação do nível de pressurização em cada setor, uma pesquisa de vazamentos pode ocorrer em uma área muito menor e com isso o tempo de detecção diminuir significativamente.

Outra poderosa ferramenta no controle e redução de perdas, é realizar as medições das Vazões Mínimas Noturnas em cada sub-setor (zona de pressão ou DMC). Segundo Santos (2018), o acompanhamento da vazão mínima noturna é um forte indicador operacional pois a sua elevação sinaliza a ocorrência de vazamentos.

Bággio et al. (2012, apud. SANTOS; MONTENEGRO, 2014)) em um trabalho realizado na Companhia Águas de Juturnaíba/RJ, perceberam a importância de ter uma metodologia para ataque às causas das perdas e controle de resultados. Após a criação de uma sistemática, o monitoramento da vazão mínima noturna tornou-se o sinal de alerta para desencadear ações imediatas. Este monitoramento foi realizado diariamente e se ocorresse a elevação da vazão mínima noturna, equipes de pesquisa de vazamentos eram acionadas para agir prontamente.

Sob o viés de planejamento, a execução de balanços hídricos à escala dos subsistemas da área crítica poderá ser realizada de modo a identificar eventuais casos onde os indicadores de perdas sejam piores, justificando intervenções prioritárias ainda dentro da área crítica. Para isso, é importante não só os registros de vazão e pressão citados, como também a manutenção dos registros de ocorrência por fraude, eventos de vazamentos, e demais informações utilizadas como dado de entrada para o balanço (item 4.2.1).

#### *4.5.2.2 Controle ativo de vazamentos*

Conforme identificado no item 2.5.1, uma das maneiras de combater perdas reais é através do controle ativo de vazamentos, ou seja, através de técnicas acústicas de detecção encontrar os vazamentos não visíveis nas tubulações. Esse método se opõe ao controle passivo, realizado atualmente pela companhia operadora do sistema de abastecimento de água de Imbituba, atuando apenas no vazamento que aflora à superfície.

Em consonância com as ações operacionais citadas anteriormente no item 4.5.2.1.3, Santos e Montenegro (2014) salientam que para avaliar os resultados das pesquisas acústicas em uma área de controle (setor de abastecimento, zona de pressão ou DMC) é necessário realizar campanhas de medição de vazão e pressão antes e depois das varreduras.

Para o exemplo do DMC de 222 ligações, cujos resultados do controle de sua pressão já foram apresentados (item 4.5.2.1), a evolução do Fator de Pesquisa durante o período de controle revelou boa resposta do indicador como ferreamente operacional (MANZI, 2020), ilustrado na Tabela 38.

Tabela 38 – Evolução do FP em um DMC sob controle de perdas.

<b>Etapa</b>	<b>Vazão média diária (L/s)</b>	<b>Vazão mínima noturna (L/s)</b>	<b>Fator de pesquisa - FP</b>
<b>Situação inicial (março /2016)</b>	3,76	2,90	0,77
<b>Após controle de pressão (abril/2016)</b>	2,62	0,66	0,25

Fonte: Adaptado de Manzi (2020).

A AESBE (2007) apresenta um exemplo dos resultados obtidos na pesquisa de vazamentos não visíveis realizado durante 3 meses em uma rede setorizada, localizada em Paranoá, no Distrito Federal. Foram encontrados um total de 96 vazamentos que após os devidos consertos, estima-se uma vazão recuperada de 12,43 L/s, que representa cerca de 16% do consumo do município de Imbituba em 2019. Comparando esse valor com a média das perdas reais no local estudado, obtidas a partir do monitoramento da vazão mínima noturna, tem-se que 84 % das perdas reais foram recuperadas com a pesquisa e conserto de vazamentos não visíveis. Quanto ao índice de perdas, este passou 29 % para 21 % após a pesquisa e retirada de vazamentos.

Sugere-se que, para não desperdiçar recursos e para otimizar a atividade de pesquisa, as ações descritas no item 4.5.2.1 sejam aplicadas previamente, visto que são as ações prioritárias definidas no *ranking* elaborado para a área crítica (Tabela 35). Posteriormente, será possível utilizar as zonas de pressão, onde deverão ser medidas as vazões diárias e vazões mínimas noturnas para priorização das áreas através do indicador Fator de Pesquisa.

Sob o viés de planejamento, Junior (2014) estudou a redução de perdas de água nos sistemas de distribuição, utilizando os DMC's como ferramenta de gestão e apresentou resultados significativos ao priorizar o direcionamento de serviços de detecção de vazamentos e posterior reparo dos mesmos para o DMC com o maior índice de perdas do município de Bragança Paulista, obtendo-se no estudo de caso realizado, uma redução no índice de perdas de 43,46% em janeiro de 2014 para 30,75% em julho de 2014. Este exemplo ilustra não só a eficácia do controle ativo de vazamentos, como também do gerenciamento e diagnóstico de subsetores, conforme relatado no item 4.5.2.1.3.

Após definido o local, o procedimento básico para a pesquisa de vazamentos é primeiramente executar uma varredura com “haste de escuta”, posicionando-a em diversos pontos da rede, de modo a levantar os possíveis trechos com ocorrência de vazamento. Ao definir os trechos suspeitos, parte-se para a investigação como “geofone”, que indica o ponto

do solo onde o ruído é mais elevado. Por fim, a confirmação do vazamento pode ser realizada com uma “barra de perfuração” capaz de detectar a umidade provocada pelo vazamento.

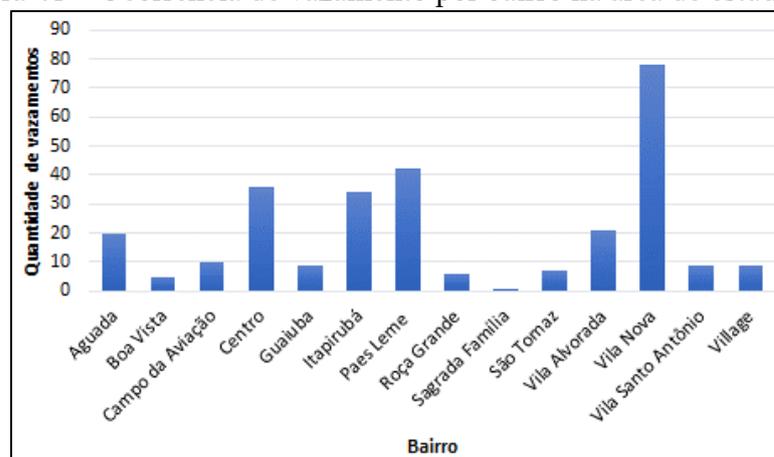
#### 4.5.2.3 Reabilitação de redes de distribuição

Ainda com enfoque no campo de atuação de vazamentos, sugere-se para a área crítica a renovação da infraestrutura, substituindo as tubulações (redes e ramais) que estão com maior incidência de vazamentos. Seria válido analisar também a idade das tubulações, visto que Tardelli (2006, apud. Motta 2010) alega que quanto mais antigas as redes, maior a probabilidade de ocorrências de arrebatamentos e de vazamento devido à fadiga dos materiais das tubulações. Porém, esta é uma informação difícil de obter em companhias de saneamento.

Sendo assim, foram levantadas as ocorrências de vazamento por bairros na área de estudo Sul durante o ano de 2019, apresentada na Figura 41. É possível perceber pelo gráfico que a maior ocorrência de vazamentos na rede se localizam no bairro Vila Nova, totalizando 78 ocorrências no ano de 2019. Segundo informações repassadas pela companhia operadora do SAA, a região sul do município de Imbituba recebeu diversas obras de infraestrutura e pavimentação nos últimos anos, o que possivelmente influenciou na quantidade de OS registradas por vazamentos decorrente das obras.

Ainda assim, vale ressaltar o destaque do número de ocorrência de vazamentos na região exposta no item 4.4, por apresentar resultados de pressão média elevada na rede, sendo esta composta pelos bairros: Paes Leme, Centro, Vila Alvorada e Aguada, e Itapirubá. Este pode ser um indicativo de ocorrências de rupturas e vazamentos devido a pressão alta.

Figura 41 – Ocorrência de vazamento por bairro na área de estudo Sul.



Fonte: Elaboração própria (2021).

Por remanejamento de rede ser uma ação muito onerosa, recomenda-se que seja realizada após implementação da setorização e simulação hidráulica. Isto porque, mais de

50% das ocorrências estão localizadas em locais identificados com pressão média alta e portanto, com o controle de pressões instaurado, tal intervenção pode ser postergada. Ou seja, conforme recomendado por Tsutiya (2006), o remanejamento deve ser realizado após esgotadas todas as alternativas técnicas e operacionais, sendo nesse sentido, a redução de pressão a primeira medida mais adequada.

A exemplo do caso no município de Bragança Paulista, apresentado no item 4.5.2.1.1, onde após implantação da setorização em DMCs e controle das pressões na rede, foram observadas as consequências no índice de vazamentos na rede e ramais. Os vazamentos em redes de água tiveram uma queda significativa no período, com uma redução de 454 vazamentos no ano de 2009 para 262 vazamentos no ano de 2013. Já o aos vazamentos em ramais de água se mantiveram praticamente estáveis. Com essa confirmação, concluiu-se que haveria necessidade de ações estruturais como a substituição de ramais, para que possa ocorrer uma redução significativa no número de manutenções realizadas anualmente, tendo em vista que ainda haviam ramais de água no município que possuíam materiais não mais utilizados atualmente (ferro galvanizado, PVC e PEAD antigo).

Abranches (2009) também apresenta o resultado da SABESP após troca de ramais domiciliares no setor de abastecimento Mooca. O setor possui um total de 833,18 km de extensão e 111.046 ligações de água. Em 2007 foram substituídos 10.786 ramais e o investimento resultou numa diminuição de 15,06% das perdas do setor no período de junho de 2007 a junho de 2008.

Sendo assim, é indicada a manutenção do mapeamento de eventos de ocorrência de vazamentos no município de Imbituba, pois como apresentado neste tópico, pode ser uma forma de orientar programas futuros de renovação de redes e ligações.

Além disso, durante a simulação hidráulica da rede para validar concepção de setorização da área de estudo, serão identificados os trechos com incidência de perda de carga muito alta, que podem prejudicar o abastecimento. Portanto, um dos resultados de uma simulação hidráulica é o remanejamento de tubulações, quando necessário. Inclusive, uma das premissas que podem ser adotadas na modelagem é a substituição de tubulações existentes não usuais, com diâmetro comercial inferior a 50 mm. Isto porque, segundo o cadastro técnico, cerca de 14% da rede de distribuição de Imbituba possuem diâmetro comercial menor que 50 mm, em material de PVC e PEAD. O PSBPI (2015) complementa afirmando que existem prolongamentos de redes executados com mangueiras de PEAD para atendimento de várias ligações.

## 5 CONCLUSÃO

Estratégias de controle e redução das perdas nos sistemas de abastecimento de água se mostram cada vez mais importantes, visto que evita o desperdício de recursos naturais e pode inclusive ser um meio de postergar investimentos em ampliação do sistema de captação de água.

O resultado do diagnóstico das perdas por meio do balanço hídrico em áreas de estudo diferentes permitiu uma avaliação mais precisa do município. O resultado do balanço hídrico para a área Nova Brasília obteve margens de erro menores, mostrando a importância da macromedição dos volumes produzidos por área. Além disso, o método se mostrou bastante sensível a estimativa de submedição dos hidrômetros, visto que este pode alcançar porcentagens elevadas do consumo micromedido a depender da metodologia utilizada para determinar a eficiência do parque de hidrômetros e da confiabilidade da informação referente a idade dos medidores.

A definição da área de estudo crítica teve como balizador principal o indicador de perdas totais por ligação, sendo o critério de maior peso avaliado. As áreas de estudo apresentaram características similares quanto à tipo de consumo predominante por área, porém discrepantes no quesito de densidade demográfica. As pressões médias registradas no município foram de grande importância para a análise de perdas, em especial as perdas reais na área de estudo crítica.

Dentre as causas de perdas reais elencadas no presente estudo, a área de estudo Sul, definida como área crítica, se destacou com elevada densidade de ligações, frequência de fugas e rupturas nas tubulações e falta de setorização, obtendo valoração máxima na avaliação desses tópicos. A pressão média calculada na área em 2019 não ultrapassa a máxima permitida por norma, porém foram analisadas pontualmente os locais com registro de pressão elevada. Concluiu-se que, devido a distribuição em marcha da adutora que sai dos R1 e R2 em direção ao sul, para que esta chegue com pressão suficiente na ERAT 09, acaba comprometendo o abastecimento dos bairros a montante.

Depois da avaliação e hierarquização das causas do tipo de perda predominante na área de estudo crítica, foi possível propor um conjunto de ações dentro do campo de atuação de controle de vazamentos. Dentro do conjunto de ações julgadas prioritárias, pode-se perceber a correlação entre as mesmas, sendo estas: controle de pressões, implantação de setorização com auxílio de modelagem hidráulica da rede, gerenciamento da rede e pontos de controle, controle ativo de vazamentos e reabilitação de redes.

Apesar de não ser o foco do presente trabalho, vale ressaltar que a setorização e simulação hidráulica da rede de distribuição de Imbituba pode permitir o estudo de viabilidade de atendimento de todo município pela ETA Principal, desvinculando da necessidade de compra de água do município vizinho. Pode-se, por meio da modelagem, criar cenários que contemplem além de melhorias nas condições hidráulicas da distribuição na área de estudo Sul decorrente da setorização, a verificação da necessidade de ampliação da ERAT 09 para suprir a demanda de Itapirubá e abastecer o reservatório R10.

Vale ressaltar que a atividade de controle e redução de perdas é contínua e pode sofrer alterações de prioridades ao longo do tempo. Sendo assim, pode-se alegar que o desenvolvimento do presente trabalho permitiu criar uma base de procedimentos para diagnosticar as perdas de água em diferentes regiões do município de Imbituba, podendo ser utilizado de período em período de modo a subsidiar o planejamento de ações operacionais.

## 6 RECOMENDAÇÕES

A metodologia do presente trabalho se limitou a encontrar as causas referentes ao tipo de perda predominante na área crítica e propor ações operacionais com enfoque na mesma. Portanto, a seguir serão descritas as recomendações do presente trabalho, sendo estas pontos de melhorias na operação atual do SAA e sugestões para estudos futuros.

- Recomenda-se a continuidade do registro das informações de pressão na rede georreferenciadas, com inclusão do horário pelo qual é realizada a medição, visto que é um fator de grande influência no resultado.
- Reaplicação do método do balanço hídrico anualmente para atualização do ranking de causas prioritárias de acordo com a situação atual da rede. Os pesos atribuídos a cada critério para determinação da área crítica podem variar de acordo com o objetivo a ser alcançado pela concessionária, ou ainda, pode-se atribuir novos critérios.
- Busca por meios de atingir maior confiabilidade dos dados de entrada para o balanço hídrico, a fim de resultar em diagnósticos mais apurados. A exemplo disso pode-se citar: atualização cadastral da rede, utilização de sistemas de informação SIG, georreferenciamento dos pontos de consumo da rede, manutenção dos registros de fraudes e ocorrências de vazamento na rede e ramais.
- Recomenda-se para próximos estudos, a aplicação da metodologia para ambos tipos de perdas e para as demais áreas de estudo, de modo a elencar todas as ações de combate e controle de perdas de água no município, sendo estas prioritárias de acordo com a hierarquização das áreas e causas de maior peso.
- Acompanhamento das ações operacionais realizadas e verificação dos impactos no SAA antes e depois das mesmas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE SANTA CATARINA ARES. **Relatório de Fiscalização Inicial dos Serviços de Saneamento Básico**: Relatório ARES GEFIS nº 034/2020. Imbituba, 2020.

Agência Intermunicipal de Regulação do Médio Vale do Itajaí AGIR. **METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE DESEMPENHO**. Blumenau: Agir, 2018.

ALEGRE, Helena et al. **CONTROLO DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS PÚBLICOS DE ADUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO**. [S. L.]: Irar, 2005. (GUIAS TÉCNICOS).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO AESBE. **Guia prático para quantificação de balanços hídricos e indicadores de desempenho operacional**. [S. L.], 2015. (Balanço Hídrico).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO AESBE. **Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água. Pesquisa e Combate a vazamentos não-visíveis**. [S. L.], 2007. (Guias Práticos).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL ABES. **CONTROLE E REDUÇÃO DE PERDAS NOS SISTEMAS PÚBLICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**: posicionamento e contribuições técnicas da abes. [S. L.], 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL ABES. **PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. [S. L.]: Abes, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BARROSO, Lidiane Bittencourt. **ESTUDO DA MINIMIZAÇÃO DAS PERDAS FÍSICAS EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA UTILIZANDO O MODELO EPANET**. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

BASTOS, Mariana Machado *et al.* ESTUDO DE CASO: ESTUDO DE REDUÇÃO DE PERDAS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE PEDERNEIRAS/SP ATRAVÉS DE FERRAMENTA DE MODELAGEM. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO, 2015, Poços de Caldas. **Anais [...]**. Poços de Caldas: Assemae, 2015. p. 1-14.

BRASIL. Ministério da Saúde. FUNASA Fundação Nacional da Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. FUNASA Fundação Nacional da Saúde. **Redução de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água**. Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. Programa Nacional de Combate Ao Desperdício de Água Pncda. **DTA - Documento Técnico de Apoio nº A2**: indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água. Brasília: Ministério das Cidades, 2003.

BRASIL. Ministério das Cidades. **SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília, 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Projeto COM+ÁGUA**: sistematização das metodologias empregadas. Brasília: Prol Editora Gráfica, 2008.

BRITO, Acelmo de Jesus. **Métodos para Estimativas de Perdas Reais em Rede de Abastecimento de Água: Estudo de Caso - Residencial Domingos Sávio Brandão**. 2012. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

CÂMARA MUNICIPAL DE IMBITUBA. **Lei Complementar nº 4229, de 10 de julho de 2013**. Dispõe sobre a construção de passeios públicos ou calçadas no Município de Imbituba e dá outras providências. Imbituba.

CERTI. **PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE SANTA CATARINA - PERH/SC**: caracterização geral das regiões hidrográficas de santa catarina. [S. L.]: Sds, 2017. Companhia de Saneamento de Minas Gerais COPASA. **Programa de redução de perdas de água no sistema de distribuição**. Belo Horizonte: Copasa, 2003.

FREITAS, Valdemir Viana de; ORELLANA, Alex; KUHL, José Gilberto; OLIVEIRA, Claudia Regina Osório. Uma década de controle de pressão nas redes de distribuição da Sabesp. **Revista Dae**, [S.L.], v. 55, n. 176, p. 28-33, 2007. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.011>.

GO ASSOCIADOS. Instituto Trata Brasil. **RANKING DO SANEAMENTO - SNIS 2019**. São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2021.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de Abastecimento de Água**: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 3. ed. João Pessoa: Universitária - Ufpb, 2009.

GULARTE, Cristiano Bittencourt. **Um Estudo sobre a Submedição em Hidrômetros para Aplicação no Controle de Perdas Aparentes no Sistem**. 2005. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2005.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2016. 870 p.

HÜBNER, Ricardo. **Medidas de redução de perdas de água em redes de abastecimento**. 3. ed. rev. Brasília: SENAI/DN, 2011. 117 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 agosto 2021.

MANZI, Daniel. **A Hidráulica de todo dia no Saneamento**. Curitiba, 2020.

MELATO, Débora Soares. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo**. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MIRANDA, Ernani Ciríaco de. **AVALIAÇÃO DE PERDAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA – INDICADORES DE PERDAS E METODOLOGIAS PARA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE**. 2002. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

MORAIS, Danielle Costa *et al.* **AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO PARA ADEQUAÇÃO DE SISTEMAS DE REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Abepro, 2002. p. 1-8.

MOTTA, Renato Golçalves da. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

NTS 281 SABESP. **Norma Técnica SABESP NTS 281 - Critérios para gestão dos hidrômetros (exceto 1ª ligação)**, 2013.

ORSATTI, Walter Antonio. **A água do amanhã. Saneas: Controle e Redução de Perdas**, São Paulo, v. 9, n. 27, p. 4-4, set. 2007.

PATRÍCIO, Robinson José de Oliveira. **Análise de Perdas na Rede de Distribuição de Água em um Subsetor da Cidade de Presidente Prudente - SP**. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Faculdade de Engenharia - Unesp, Ilha Solteira, 2007.

PERTEL, Monica; AZEVEDO, José Paulo Soares de; VOLSCHAN JUNIOR, Isaac. **Uso de indicadores de perdas para seleção de um benchmarking entre as companhias estaduais de serviço de distribuição de água no Brasil**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 159-168, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41520201600100120418>.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Setorização, modelo para controle de perdas e manter o pleno abastecimento de água**. 2020. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/perdas-abastecimento-agua/>. Acesso em: 30 jul. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IMBITUBA. **REVISÃO DO PLANO DE SANEAMENTO BÁSICO PARTICIPATIVO DE IMBITUBA (PSBPI)**. Imbituba, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IMBITUBA. **REVISÃO DO PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO - PMSB**: diagnóstico técnico participativo. Imbituba: Saneville Engenharia e Consultoria, 2021.

SANTOS, Daniel Augusto Alegre dos. **Indicadores de perdas físicas de água nos sistemas urbanos de distribuição**. 2018. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontífca Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.

SANTOS, Danielle Dionisia; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima. Avaliação da Metodologia para redução de perdas de água no Recife-PE. **Revista Dae**, [S.L.], v. 62, n. 197, p. 56-70, 2014.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL SNSA. **Perdas Aparentes**: ações de assistência técnica em redução e controle de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica. [S. L.], 2018.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Plano Nacional de Saneamento Básico PLANSAB**. Brasília, 2019.

SENS, Maurício Luiz *et al.* SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. In: UFSC (org.). **Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas**: saneamento básico i. Florianópolis. 2004. p. 1.

SILVA, Roterdan Moura da *et al.* **CONSIDERAÇÕES SOBRE MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO**. [S. L.]: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, [20--].

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS (Brasil). Ministério do Desenvolvimento Regional. **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília, 2020.

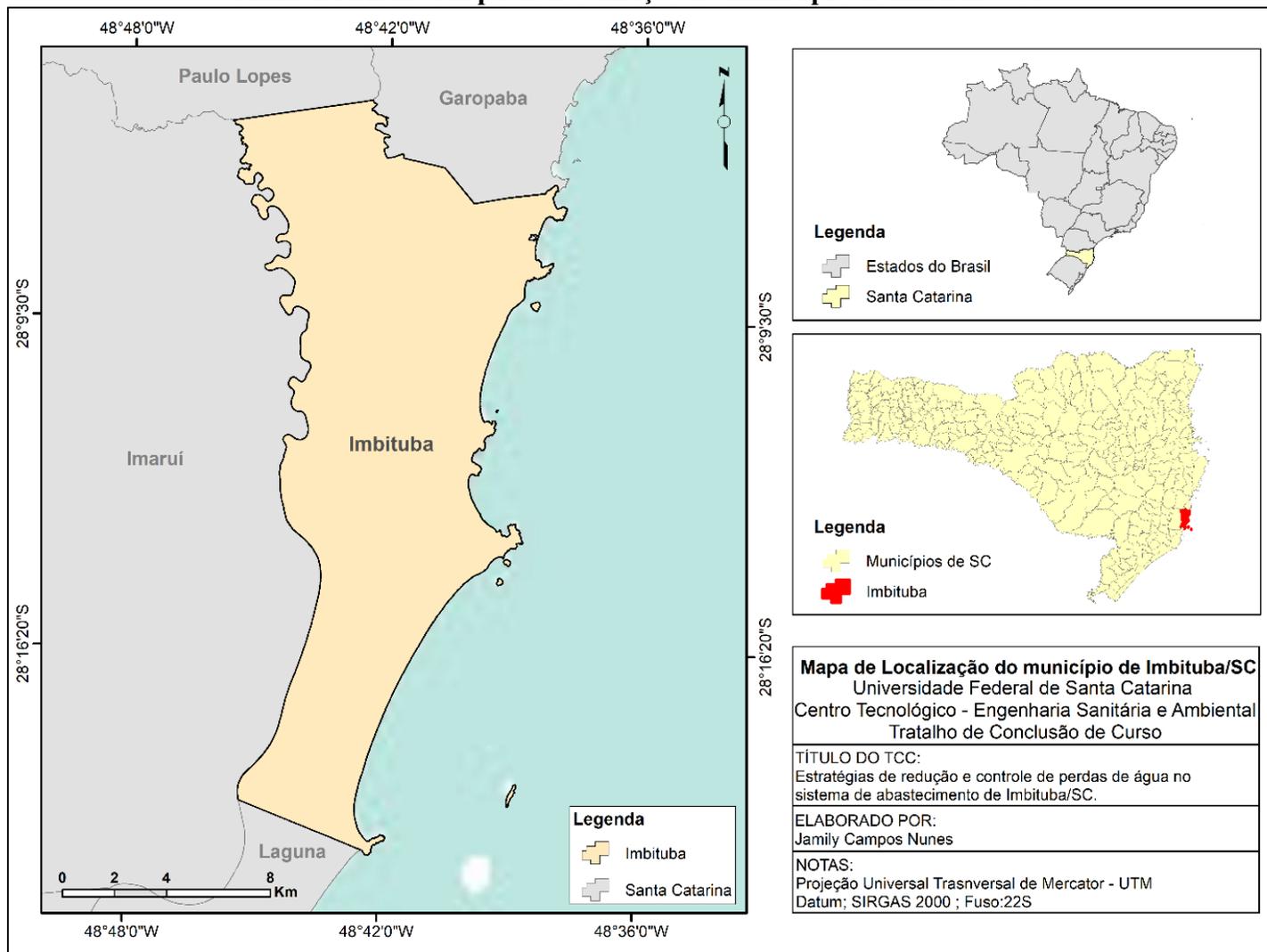
SOUZA JÚNIOR, José do Carmo de. **DISTRITOS DE MEDIÇÃO E CONTROLE COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE PERDAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**. 2014. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

TARDELLI, Jairo. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista Dae**, [S.L.], v. 64, n. 201, p. 6-20, 2015.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

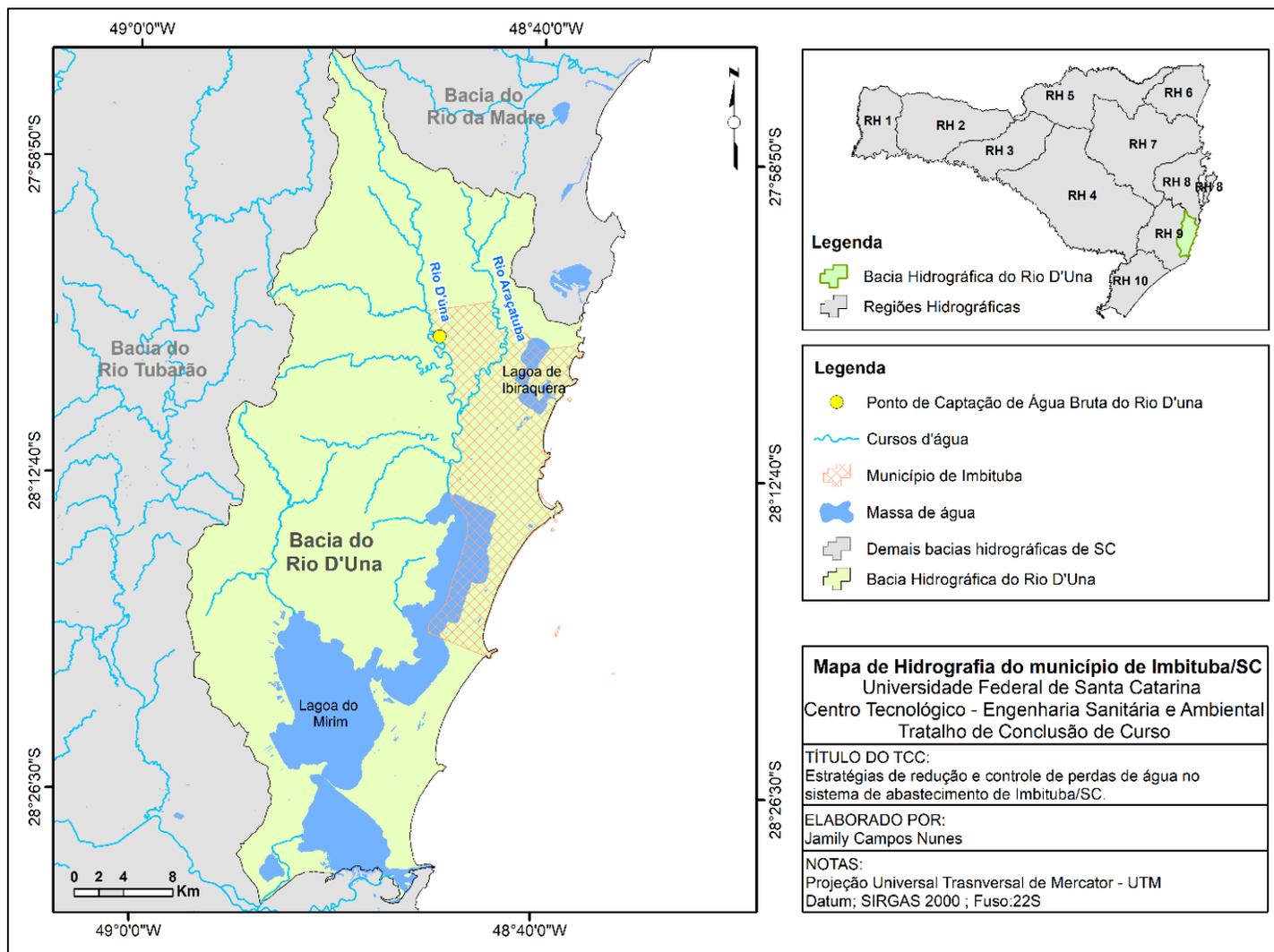
VICENTINI, Liliana Pedroso. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

### APÊNDICE A - Mapa de localização do município de Imbituba/SC.



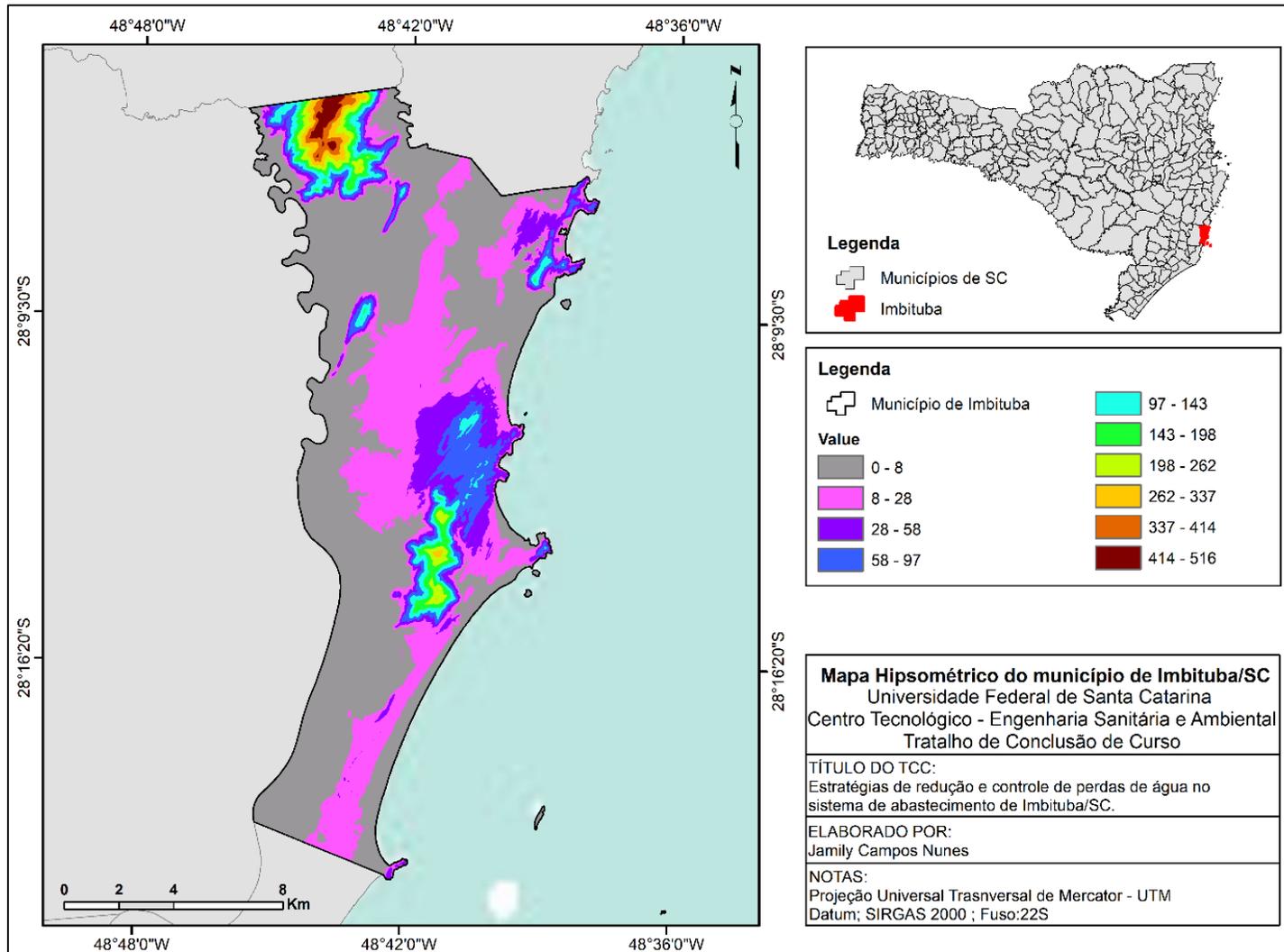
Fonte: Elaboração própria (2021).

## APÊNDICE B – Mapa da hidrografia do município de Imbituba/SC.



Fonte: Elaboração própria (2021).

**APÊNDICE C – Mapa Hipsométrico de Imbituba/SC.**



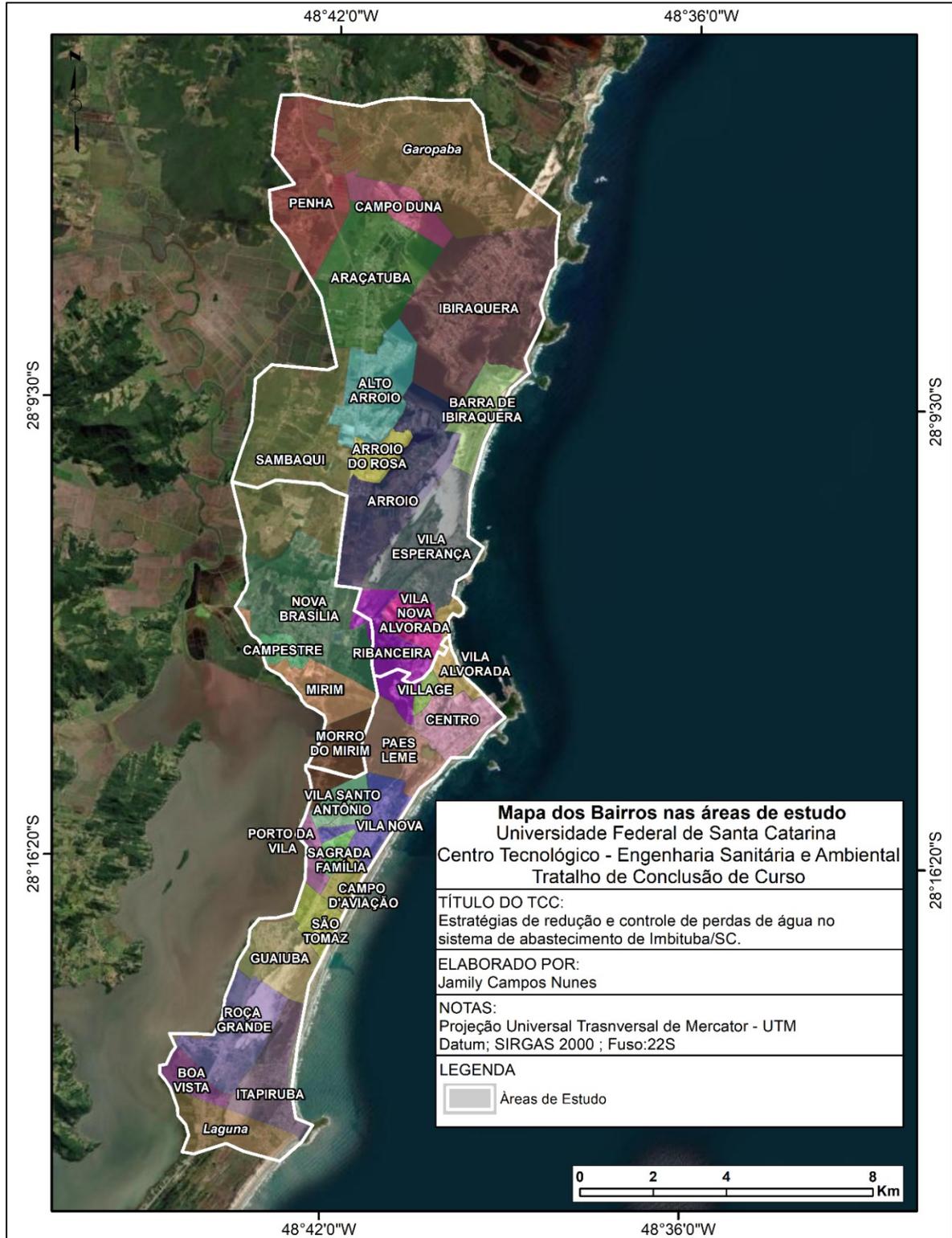
Fonte: Elaboração própria (2021).

**APÊNDICE D – Densidade demográfica por bairro.**

<b>Área de Estudo</b>	<b>Densidade (hab/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Bairro</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>População (hab)</b>		
<b>Nova Brasília</b>	379,76	Campestre	0,91	1789		
		Mirim	2,78	695		
		Morro Do Mirim	2,01	261		
		Nova Brasília	8,65	4592		
		Ribanceira	0,23	5		
		Sambaqui	5,00	91		
<b>Norte</b>	171,16	Bairros pertencentes a Garopaba	13,91	2298		
		Alto Arroio	4,99	1523		
		Araçatuba	8,70	849		
		Arroio	8,00	642		
		Arroio do Rosa	1,44	251		
		Barra de Ibiraguera	2,64	321		
		Campo Duna	2,50	596		
		Ibiraguera	13,77	2549		
		Penha	7,03	92		
		Ribanceira	2,46	194		
		Sambaqui	8,68	274		
		Vila Alvorada	0,48	557		
		Vila Esperança	6,47	666		
		Vila Nova Alvorada	1,79	3369		
		<b>Sul</b>	588,64	Bairros pertencentes a Laguna	3,41	933
				Boa Vista	1,43	401
Campo D'avição	1,10			1084		
Centro	2,93			3217		
Guaiuba	3,37			1437		
Itapirubá	3,79			251		
Morro Do Mirim	0,66			167		
Paes Leme	3,39			2602		
Porto da Vila	1,01			444		
Ribanceira	1,02			117		
Roça Grande	4,81			1369		
São Tomaz	1,52			562		
Sagrada Família	0,57			1049		
Vila Alvorada	0,96			1291		
Vila Nova	2,50			3445		
Vila Santo Antônio	1,59			1429		
Village	0,47	532				
<b>Total</b>	<b>306,17</b>	<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>41945</b>		

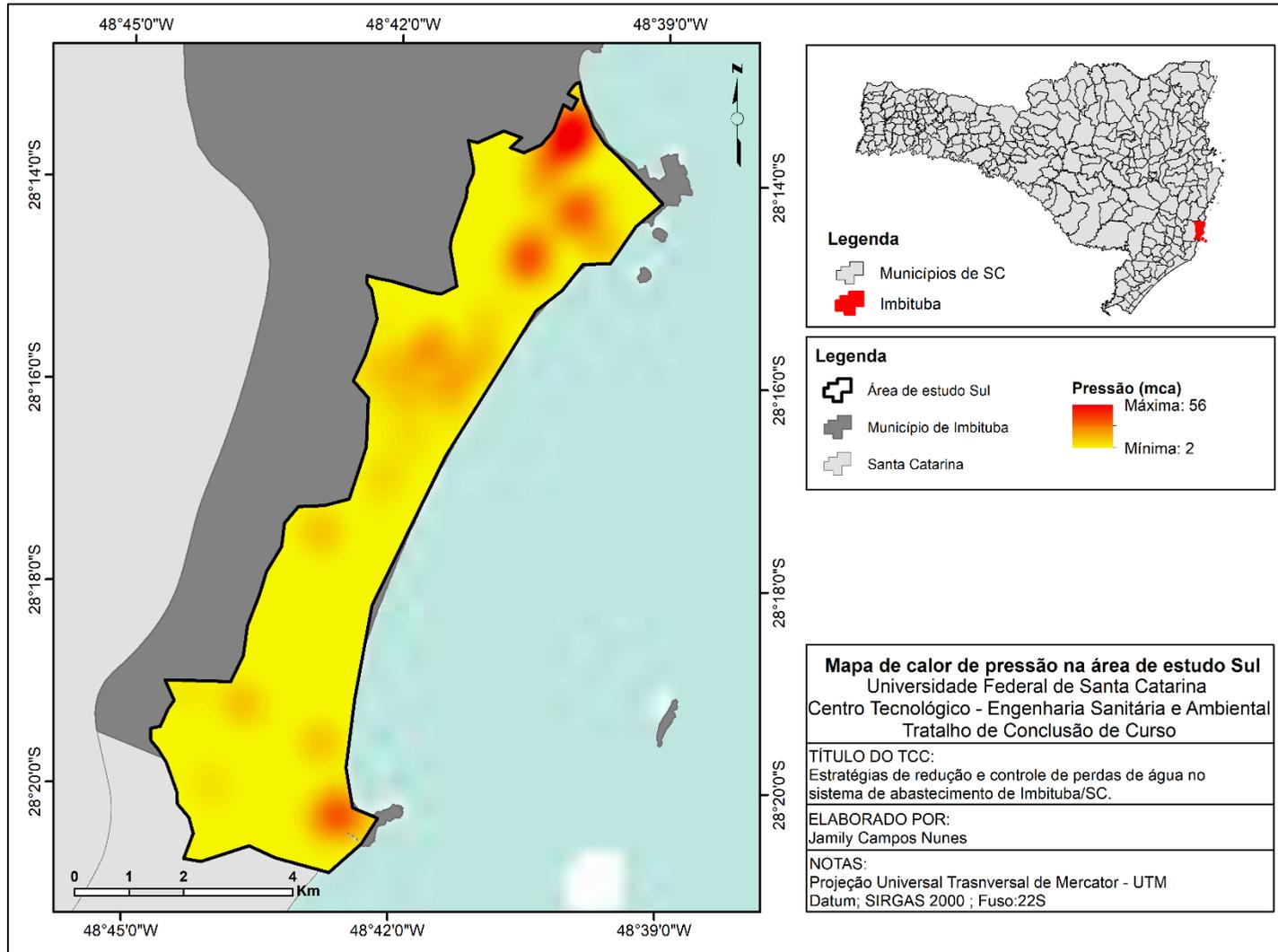
Fonte: Elaboração própria (2021).

**APÊNDICE E – Mapa dos bairros abrangidos por área de estudo.**



Fonte: Elaboração própria (2021).

**APÊNDICE F – Mapa de calor de pressão na área de estudo Sul.**



Fonte: Elaboração própria (2021).