

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

LUCAS DA SILVEIRA DALRI

**DIAGNÓSTICO E EXECUÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E REDUÇÃO  
DE PERDAS DE ÁGUA COM USO DA MODELAGEM HIDRÁULICA: ESTUDO DE  
CASO EM UM DMC NO MUNICÍPIO DE BRUSQUE/SC.**

Florianópolis  
2020

Lucas da Silveira Dalri

**DIAGNÓSTICO E EXECUÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E REDUÇÃO  
DE PERDAS DE ÁGUA COM USO DA MODELAGEM HIDRÁULICA: ESTUDO DE  
CASO EM UM DMC NO MUNICÍPIO DE BRUSQUE/SC.**

Trabalho de 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 grau de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Segalla Pizzolatti

Coorientador: Eng. Eduardo Pauly Fernandes

Florianópolis

2020



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

Dalri, Lucas da Silveira  
Diagnóstico e Execução de Estratégias de Controle e  
Redução de Perdas de Água com Uso da Modelagem Hidráulica :  
Estudo de Caso em um DMC no Município de Brusque/SC / Lucas  
da Silveira Dalri ; orientador, Bruno Segalla Pizzolatti,  
coorientador, Eduardo Pauly Fernandes, 2020.  
178 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,  
Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Controle de  
Perdas de Água. 3. Modelagem Hidráulica. 4. Sistemas de  
Abastecimento de Água. 5. Balanço Hídrico. I. Pizzolatti,  
Bruno Segalla. II. Fernandes, Eduardo Pauly. III.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Lucas da Silveira Dalri

**DIAGNÓSTICO E EXECUÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E REDUÇÃO  
DE PERDAS DE ÁGUA COM USO DA MODELAGEM HIDRÁULICA: ESTUDO DE  
CASO EM UM DMC NO MUNICÍPIO DE BRUSQUE/SC.**

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

Local, 07 de dezembro de 2020.

---

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

---

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

---

Eng. Eduardo Pauly Fernandes  
Coorientador  
SAMAÉ Brusque/SC

**Banca Examinadora:**

---

João Henrique Macedo Sá, Dr.  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Eng. Guilherme Violato Girol  
Avaliador  
SANOVA – Soluções para Gestão da Água

Dedicado à minha mãe, pelo dom da vida e pelo amor e carinho proporcionados.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha mãe por todo o amor e os ensinamentos, que serviram de base para o caminho traçado até aqui.

À minha família, principalmente às minhas Tias Roseli e Salete, e aos meus primos/irmãos Arthur, Carlos, Matheus e Vithor, pelos momentos e exemplos compartilhados ao longo desta jornada.

À minha namorada Bruna, pelo amor, apoio, companheirismo e principalmente paciência durante o período de desenvolvimento deste trabalho. Que possamos continuar sendo luz na vida um do outro.

Aos meus amigos de infância, pela amizade e companheirismo desde sempre.

Aos amigos de turma e curso que tive o prazer de conhecer ao longo da graduação. Ao Paulo e ao Daniel, responsáveis por risadas e principalmente apoio nas horas difíceis, gratidão imensa.

Aos Engenheiros Guilherme Girol e Manoel Carlos, pelo desenvolvimento profissional adquirido ao longo do estágio realizado na SANOVA, e também pelo empréstimo dos equipamentos utilizados neste trabalho.

Ao Engenheiro do SAMAE, Eduardo Pauly, pela possibilidade de realizar o trabalho no SAMAE e pela orientação. Aos funcionários do SAMAE, Davi e Diego, pelo apoio e acompanhamento nas atividades realizadas em campo.

Ao Professor Dr. Bruno Segalla Pizzolatti, por ter aceitado o desafio de orientar um trabalho em um ano que apresentou situações fora do comum para todos.

À UFSC e ao ENS, principalmente aos professores, pelos conhecimentos adquiridos ao longo da graduação.

Finalmente, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram em minha vida, para que esse momento chegasse.



*“Be water, my friend.”*

Bruce Lee

## RESUMO

Atualmente, uma eficiente gestão de perdas de água é o principal desafio das prestadoras de serviços de água no Brasil. Os principais indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS para perdas de água apontam que a evolução nos últimos anos tem sido lenta, com índices de perdas na distribuição próximos dos 40% no país. O objetivo deste trabalho foi executar estratégias para o diagnóstico, controle e redução de perdas de água em um Distrito de Medição de Controle - DMC do SAA de Brusque/SC, utilizando a modelagem hidráulica como ferramenta de tomada de decisão. As metodologias do Balanço Hídrico e das Vazões Mínimas Noturnas foram utilizadas para um diagnóstico das perdas no DMC da Elevatória de Água Tratada da Boemia, e a partir dos seus resultados e também do monitoramento de pressões e análise do parque de hidrômetros, foram executadas estratégias com o intuito de mitigar as perdas na área de estudo. Em relação às Perdas Reais, através do gerenciamento de pressões, foi observado o mau funcionamento da Válvula Redutora de Pressão - VRP presente no DMC e o seu correto dimensionamento acarretou em uma redução do Fator de Pesquisa em 22% e da Vazão Mínima Noturna em 25%. Foram identificados através de varredura com haste de escuta e simulações hidráulicas, locais para execução de geofonamento. Em relação as perdas aparentes, foi realizada a compatibilização do cadastro comercial do SAMAE de acordo com a NBR NM 212/02, o que apontou um elevado grau de erros cadastrais e que os dados hoje utilizados não permitem uma análise confiável do parque de hidrômetros do sistema. Uma revisão do número de economias do município pode aumentar em R\$ 540.000 o faturamento anual do SAMAE. Em relação às trocas de hidrômetros, foram realizadas 202 trocas, sendo 196 pelo critério de troca do SAMAE e 6 através da análise do LSC e do FT. Por fim, foram indicados pontos de melhoria na operação do SAMAE, para que a gestão de perdas de água realizada pela autarquia se torne mais eficiente.

**Palavras-chave:** Controle de Perdas de Água. Modelagem Hidráulica. Sistemas de Abastecimento de Água. Balanço Hídrico.

## ABSTRACT

Currently, efficient water loss management is the main challenge for water supply providers in Brazil. The main indicators on SNIS for water losses, point out that the evolution in recent years has been slow, with distribution loss rates close to 40% in the country. The objective of this work was to execute strategies for the diagnosis, control and reduction of water losses in a DMA of the SAA of Brusque/SC, using hydraulic modelling as a decision-making tool. The Water Balance and Minimum Night Flow methodologies were used to diagnose losses in the DMA of EAT Boemia, and based on their results and also on the monitoring of pressures and analysis of the hydrometer park, with the aim of mitigating losses in the studied area. In relation to Real Losses, through the management of pressures, it was observed the malfunction of the PRV present in the DMA and its correct dimensioning resulted in a reduction of the Research Factor by 22% and in the Minimum Night Flow by 25%. Spots for the execution of geophoning services were identified through hydraulic simulations and listening devices. In relation to apparent losses, SAMAE's commercial register was made compatible according to NBR NM 212/02, which pointed out a high degree errors and that the data used today does not allow a reliable analysis of the park's water meters system. A review of the number of registered customers may increase SAMAE's annual revenue by R\$ 540,000. In relation to water meter exchanges, 202 were made, 196 of which were based on the SAMAE exchange criteria and 6 through the LSC and FT analysis. Finally, points of improvement for the SAMAE operation were indicated, so that the water loss reduction policy becomes more efficient.

**Keywords:** Water Loss Control. Hydraulic Modeling. Water Supply System. Water Balance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de um SAA.....	17
Figura 2 – Redes malhadas, ramificadas e mista.....	19
Figura 3 – Evolução dos índices de perdas na distribuição no Brasil. ....	21
Figura 4 – Tipos de Vazamentos.....	23
Figura 5 – Matriz do Balanço Hídrico.....	26
Figura 6 - Componentes da Vazão Mínima Noturna. ....	27
Figura 7 – Representação gráfica do Fator Noite/dia.....	28
Figura 8 – Integração em uma companhia, para o controle e redução de perdas.....	29
Figura 9 – Representação de um DMC. ....	30
Figura 10 – Principais ações para o controle de perdas reais.....	31
Figura 11 - Relação entre o controle ativo de vazamentos e perdas reais.....	32
Figura 12 – Geofone eletrônico.....	34
Figura 13 – Principais ações para o controle de perdas aparentes. ....	35
Figura 14 – Exemplo de hidrômetro deitado em Brusque. ....	37
Figura 15 - Exemplo de hidrômetro inclinado. ....	37
Figura 16 - Exemplo de hidrômetro fraudado.....	38
Figura 17 – Tipos de perdas aparentes e ações de combate. ....	39
Figura 18 - Mapa de localização do município de Brusque.....	44
Figura 19 - Sistemas de produção de água de Brusque.....	47
Figura 20 – Captação de água bruta. ....	48
Figura 21 – Elevatória de água bruta.....	48
Figura 22 - Fluxograma de tratamento, ETA Central. ....	48
Figura 23 - Pré-Sedimentador. ....	49
Figura 24 - Flocculadores.....	49
Figura 25 - Decantadores ....	49
Figura 26 - Filtros.....	49
Figura 27 – Interface do modelo hidráulico. ....	51
Figura 28 - Crescimento populacional para Brusque, 2020 - 2050.....	51
Figura 29 – Setores atuais de abastecimento, Brusque. ....	52
Figura 30 – Novos setores de abastecimento, Brusque.....	53
Figura 31 – Delimitação e dados da área de estudo. ....	55

Figura 32 – Interface do sistema de telemetria do SAMAE.....	56
Figura 33 – Macromedidores presentes na área de estudo.....	57
Figura 34 - RLI05M, fechado.....	58
Figura 35 - RLI18M, aberto. ....	58
Figura 36 - Interface <i>WB-EasyCalc</i> .....	60
Figura 37 – Procedimento de Pitometria na saída do Reservatório. ....	62
Figura 38 - Curva de submedição de desempenho de leitura em hidrômetros.....	64
Figura 39 - Localização dos dataloggers de pressão – DMC Limeira. ....	70
Figura 40 – <i>Datalogger</i> instalado no ponto 1.....	70
Figura 41 – Instalação <i>datalogger</i> no ponto 2.....	70
Figura 42 – <i>Datalogger</i> instalado no ponto 3.....	71
Figura 43 – Instalação de <i>datalogger</i> , ponto 4.....	71
Figura 44 – <i>Datalogger</i> instalado no ponto 5.....	71
Figura 45 - Localização dos <i>dataloggers</i> de pressão – Área EAT Boemia. ....	72
Figura 46 - Trecho de rede a ser trocado, SI Limeira.....	73
Figura 47 - Execução da troca de rede. ....	73
Figura 48 - Execução da troca de rede. ....	73
Figura 49 – Antes troca de rede: dados gerais VRP e interligação, respectivamente.	75
Figura 50 - Simulações hidráulicas para o trecho, antes e depois intervenção. ....	75
Figura 51 – Após troca de rede: dados gerais VRP e interligação, respectivamente.	76
Figura 52 - Padrão de Consumo - 18/06.....	77
Figura 53- Resultados simulação, calibração e dados de campo – Saída SI. ....	79
Figura 54- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 1.....	79
Figura 55- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 2.....	79
Figura 56- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 3.....	80
Figura 57- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 4.....	80
Figura 58- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 5.....	80
Figura 59- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 6.....	81
Figura 60 - Padrão de Consumo - 26/06.....	81
Figura 61 - Exemplo de análise do FP. ....	83
Figura 62 –Haste de escuta 4Fluid. ....	84
Figura 63 – Coleta de áudio, haste 4Fluid.....	84
Figura 64 – Reservatório existente, 500 m <sup>3</sup> .....	85

Figura 65 – Novo reservatório, 500 m <sup>3</sup> . .....	85
Figura 66 - Localização da EAT, Topo do Morro e VRP. ....	86
Figura 67 – Código de identificação hidrômetros, conforme NBR NM 212/02. ....	87
Figura 68 – <i>By-pass</i> identificado. ....	93
Figura 69 – Registro utilizado para fraude. ....	93
Figura 70 – Equipamento utilizado. ....	95
Figura 71 – Resultado do BH de outubro de 2019 a setembro de 2020. ....	100
Figura 72 – Evolução do FP, fevereiro a outubro de 2020. ....	104
Figura 73 – Resultado do BH para o mês de outubro de 2020. ....	105
Figura 74 - Resultados simulação e dados de campo – Saída SI. ....	107
Figura 75- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 1. ....	107
Figura 76- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 3. ....	107
Figura 77- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 4. ....	108
Figura 78- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 5. ....	108
Figura 79- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 6. ....	108
Figura 80 - Análise pressão de entrada, EAT Prospero Cadore. ....	111
Figura 81 - Análise FP – EAT Limeira 01. ....	112
Figura 82 - Análise FP – EAT Limeira 02. ....	113
Figura 83 - Análise FP – EAT Eugênio Brandt. ....	113
Figura 84 - Análise FP – EAT Prospero Cadore. ....	114
Figura 85 - Análise FP – EAT Benvenuti. ....	114
Figura 86 - Análise FP – EAT Boemia. ....	115
Figura 87 - EAT Boemia. ....	116
Figura 88 - EAT Limeira 02. ....	116
Figura 89 - Pontos analisados na área da EAT Boemia. ....	117
Figura 90 - Pontos analisados na área da EAT Limeira 02. ....	117
Figura 91 - Pontos indicados como suspeitos através da haste 4fluid. ....	118
Figura 92 - Pontos indicados como suspeitos pelo modelo hidráulico. ....	119
Figura 93 - Ordem de serviço da aferição do sensor de nível, 13/07/2020. ....	120
Figura 94 – Interligação do novo reservatório, 05/11/2020. ....	120
Figura 95 – Resultados simulação e dados de campo – Logger 1. ....	121
Figura 96 – Resultados simulação e dados de campo – Logger 2. ....	121
Figura 97 – Resultados simulação e dados de campo – Logger 3. ....	122

Figura 98 – Local da VRP obstruído.....	123
Figura 99 – Limpeza sendo realizada.....	123
Figura 100 – Limpeza sendo realizada.....	123
Figura 101 – Nova tampa instalada.....	123
Figura 102 – Configuração antiga, 58 mca. ....	124
Figura 103 – Configuração atual, 48 mca. ....	124
Figura 104 - Variação do FP, EAT Boemia.....	125
Figura 105 - Variação da VMN, EAT Boemia. ....	125
Figura 106 - Pressões no ponto mais baixo na área da EAT Boemia. ....	126
Figura 107 – Relação do erro de leitura em hidrômetros, com a idade.....	129
Figura 108 – Ligação 29428.....	133
Figura 109 – Ligação 23231.....	133
Figura 110 – Ligação 20433.....	133
Figura 111 – Ligação 16621.....	133
Figura 112 – Ligação 29506.....	133
Figura 113 – Ligação 32335.....	133
Figura 114 – Local da ligação 32235, Condomínio Residencial 4 torres. ....	134
Figura 115 – Histograma de idade do Parque de Hidrômetros, antes da troca. ....	136
Figura 116 – Histograma de idade do Parque de Hidrômetros, após a troca. ....	136
Figura 117 – HD deitado.....	138
Figura 118 – Quatro residências sem hidrômetro. ....	138
Figura 119 – 2 residências e 1 comércio no mesmo hidrômetro.....	139
Figura 120 – HD fora de alinhamento.....	139
Figura 121 – HD danificado.....	139
Figura 122 – HD deitado.....	140
Figura 123 – HD deitado.....	140
Figura 124 - 1 Residência, 1 supermercado e um galpão no mesmo hidrômetro. ...	140
Figura 125 – Aferição de hidrômetro em andamento.....	143
Figura 126 – Sólidos encontrados na peneira do hidrômetro.....	143
Figura 127 – Aferição de hidrômetro em andamento.....	143
Figura 128 - Quadro de divulgação de indicadores.....	145
Figura 129 - Monitoramento Pressões disponíveis - Ponto 01.....	163
Figura 130 - Monitoramento Pressões disponíveis - Ponto 03.....	164

Figura 131 - Monitoramento Pressões disponíveis - Ponto 04.....	165
Figura 132 - Monitoramento Pressões disponíveis - Ponto 05.....	166
Figura 133 - Monitoramento Pressões disponíveis - Ponto 06.....	167



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Caracterização geral das perdas. ....	22
Quadro 2 – Origens e magnitude das perdas aparentes. ....	24
Quadro 3 - Período de realização das atividades. ....	43
Quadro 4 – Amostra da análise dos códigos dos hidrômetros. ....	88
Quadro 5 – Amostra da análise dos fabricantes dos hidrômetros. ....	88
Quadro 6 – Amostra do cadastro de vazões dos hidrômetros. ....	89
Quadro 7 – Anexo B NTS 281:2011 - Critérios para redimensionamentos de hidrômetros. ....	90
Quadro 8 – Anexo C NTS 281:2011 – Critério para definição de demanda na troca de hidrômetro - Fator de Troca. ....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores de Desempenho ProEEsa. ....	42
Tabela 2 - Sistemas de produção de água de Brusque, 2019. ....	46
Tabela 3 - Dez maiores unidades de reservação do município. ....	50
Tabela 4 - Intervenções sugeridas para o SAA. ....	54
Tabela 5 – Local dos macromedidores do SI. ....	56
Tabela 6 - Dados de entrada, WB EasyCalc. ....	60
Tabela 7 - Valores de Submedição, mensais. ....	64
Tabela 8 – Códigos dos fabricantes.....	88
Tabela 9 – Códigos dos fabricantes.....	89
Tabela 10 - Hidrômetros aferidos, 25/06/2020. ....	94
Tabela 11 – Avaliação do SAA de Brusque em relação às perdas.....	96
Tabela 12 - Vazão, pressão e FND para o local de estudo, 15 de outubro de 2020. ....	102
Tabela 13 - Comparativo entre os BH Anual e Mensal. ....	106
Tabela 14 – Erros absolutos da simulação hidráulica. ....	109
Tabela 15 - Resultados da análise do LSC e LIC.....	128
Tabela 16 - Resultados da análise do FT.....	131
Tabela 17 - Especificações dos Hidrômetros redimensionados. ....	132
Tabela 18 – Comparativo dos fabricantes dos hidrômetros, antes e após as trocas. ....	135
Tabela 19 – Idade média do Parque de Hidrômetros. ....	135
Tabela 20 – Resultado da fiscalização, rota de troca 2011. ....	137
Tabela 21 – Resumo da fiscalização, rota de troca 2011. ....	137
Tabela 22 – Resumo da fiscalização, 15/10/2020. ....	138
Tabela 23 - Resultados dos testes de bancadas de hidrômetros. ....	142

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABENDI	Associação Brasileira de Ensaios Não destrutivos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AESBE	Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento
BH	Balanço Hídrico
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CCO	Centro de Controle de Operações
CI	Coeficiente de Idade
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CT	Coeficiente de Totalização
DMC	Distrito de Medição e Controle
EAB	Estação de Recalque de Água Bruta
EAT	Estação Elevatória de Água Tratada
ETA	Estação de Tratamento de Água
FND	Fator Noite Dia
FoFo	Ferro Fundido
FT	Fator de Troca
HD	Hidrômetro
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID	Indicadores de Desempenho
IDM	Índice de Desempenho da Medição
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das coisas)
IWA	<i>International Water Association</i>
LIF	Limite Inferior de Consumo
LSC	Limite Superior de Consumo
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SI	Sistema Isolado
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
VDPR	Volume Diário de Perdas Reais

VMN Vazão Mínima Noturna

VRP Válvula Redutora de Pressão

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS .....	16
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
2.1	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	17
2.2	MODELAGEM HIDRÁULICA .....	19
<b>2.2.1</b>	<b>Calibração de Modelos Hidráulicos.....</b>	<b>19</b>
2.3	PERDAS DE ÁGUA .....	20
<b>2.3.1</b>	<b>Perdas Reais .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Perdas Aparentes .....</b>	<b>23</b>
2.4	AVALIAÇÃO DE PERDAS .....	24
<b>2.4.1</b>	<b>Método IWA de Balanço Hídrico.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Vazão Mínima Noturna.....</b>	<b>27</b>
2.5	CONTROLE DE PERDAS .....	28
<b>2.5.1</b>	<b>Setorização.....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Perdas Reais .....</b>	<b>30</b>
2.5.2.1	<i>Controle de Pressão .....</i>	31
2.5.2.2	<i>Gestão da Infraestrutura .....</i>	32
2.5.2.3	<i>Controle Ativo de Vazamentos.....</i>	33
2.5.2.3.1	<i>Pesquisa Acústica .....</i>	33
<b>2.5.3</b>	<b>Perdas Aparentes .....</b>	<b>34</b>
2.5.3.1	<i>Redução de Erros de Medidores.....</i>	35
2.5.3.1.1	<i>Macromedição .....</i>	35
2.5.3.1.2	<i>Micromedição .....</i>	36

2.5.3.2	<i>Combate às Fraudes e Fiscalização</i> .....	38
2.5.3.3	<i>Melhorias no Sistema Comercial</i> .....	38
<b>2.5.4</b>	<b>Mão-de-Obra</b> .....	<b>39</b>
2.6	INDICADORES DE DESEMPENHO .....	40
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>43</b>
3.1	DADOS GERAIS DE BRUSQUE .....	44
<b>3.1.1</b>	<b>Características gerais do município</b> .....	<b>44</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Hidrografia</b> .....	<b>45</b>
<b>3.1.3</b>	<b>SAA de Brusque</b> .....	<b>46</b>
3.1.3.1	<i>Captação de água bruta</i> .....	47
3.1.3.2	<i>Estação de tratamento de água – ETA</i> .....	48
3.1.3.3	<i>Sistema de reservação</i> .....	49
3.1.3.4	<i>Sistema de bombeamento</i> .....	50
<b>3.1.4</b>	<b>Aplicação dos Indicadores de Desempenho no SAA do município</b> .....	<b>50</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Modelo Hidráulico</b> .....	<b>50</b>
3.2	ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO .....	54
3.3	DELIMITAÇÃO DO DMC.....	58
3.4	DIAGNÓSTICO DAS PERDAS NO DMC.....	59
<b>3.4.1</b>	<b>Balanco Hídrico – BH (Análise <i>Top-Down</i>)</b> .....	<b>59</b>
3.4.1.1	<i>Volume de Entrada no Sistema</i> .....	61
3.4.1.1.1	Fonte de água.....	61
3.4.1.1.2	Margem de erro.....	61
3.4.1.2	<i>Consumo Faturado</i> .....	62
3.4.1.2.1	Consumo medido faturado.....	62
3.4.1.2.2	Consumo não medido faturado .....	62
3.4.1.3	<i>Consumo Não Faturado</i> .....	63
3.4.1.3.1	Consumo medido não faturado .....	63

3.4.1.3.2	Consumo não medido não faturado .....	63
3.4.1.4	<i>Consumo Não Autorizado</i> .....	63
3.4.1.4.1	Consumo médio per capta [l/hab/dia].....	63
3.4.1.5	<i>Imprecisões dos medidores e erros de manipulação de dados</i> .....	63
3.4.1.5.1	Submedição.....	63
3.4.1.5.2	Margem de erro.....	64
3.4.1.6	<i>Redes de distribuição</i> .....	65
3.4.1.6.1	Comprimento de rede [km].....	65
3.4.1.6.2	Comprimento médio do ramal [m] .....	65
3.4.1.6.3	Número de clientes registrados, ativos e inativos.....	65
3.4.1.6.4	Margem de erro.....	65
3.4.1.7	<i>Pressão na rede</i> .....	65
3.4.1.7.1	Pressão média na rede.....	66
3.4.1.7.2	Número de ligações .....	66
3.4.1.7.3	Margem de erro.....	66
3.4.1.8	<i>Abastecimento Intermitente</i> .....	66
3.4.1.9	<i>Dados Financeiros</i> .....	66
3.4.1.9.1	Tarifa média de água .....	66
3.4.1.9.2	Custo variável de produção o e distribuição.....	66
<b>3.4.2</b>	<b>Vazões Mínimas Noturnas – VMN (Análise <i>Bottom-Up</i>)</b> .....	<b>67</b>
3.5	EXECUÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE PERDAS.....	68
<b>3.5.1</b>	<b>Perdas Reais</b> .....	<b>69</b>
3.5.1.1	<i>Monitoramento de Pressões</i> .....	69
3.5.1.2	<i>Gestão da Infraestrutura</i> .....	72
3.5.1.2.1	Calibração do Modelo Hidráulico .....	76
3.5.1.3	<i>Controle Ativo de Vazamentos</i> .....	82

3.5.1.3.1	Fator de Pesquisa - FP .....	82
3.5.1.3.2	Pesquisa de Vazamentos.....	83
3.5.1.4	<i>Extravasamento de Reservatórios</i> .....	85
3.5.1.5	<i>Gerenciamento de Pressões</i> .....	85
<b>3.5.2</b>	<b>Compatibilização do Cadastro Comercial</b> .....	<b>86</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Perdas Aparentes</b> .....	<b>89</b>
3.5.3.1	<i>Análise do Parque de Hidrômetros</i> .....	89
3.5.3.1.1	Vazões.....	90
3.5.3.1.2	Idade do Parque de Hidrômetros .....	90
3.5.3.1.3	Fator de Troca - FT.....	91
3.5.3.2	<i>Troca de Hidrômetros</i> .....	92
3.5.3.3	<i>Fiscalização de Ligações</i> .....	93
3.5.3.4	<i>Aferição de Hidrômetros</i> .....	94
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>96</b>
4.1	DIAGNÓSTICO SAA BRUSQUE .....	96
4.2	DELIMITAÇÃO DO DMC.....	97
4.3	DIAGNÓSTICO DAS PERDAS NO DMC.....	98
<b>4.3.1</b>	<b>Balanco Hídrico – BH</b> .....	<b>98</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Vazão Mínima Noturna – VMN</b> .....	<b>100</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Comparação entre os métodos – <i>Top-Down e Bottom-up</i></b> .....	<b>103</b>
4.4	EXECUÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DAS PERDAS .....	106
<b>4.4.1</b>	<b>Perdas Reais</b> .....	<b>106</b>
4.4.1.1	<i>Gestão da Infraestrutura</i> .....	106
4.4.1.2	<i>Controle Ativo de Vazamentos</i> .....	112
4.4.1.2.1	Fator de Pesquisa .....	112
4.4.1.2.2	Pesquisa de Vazamentos.....	116
4.4.1.3	<i>Extravasamento de Reservatórios</i> .....	120



4.4.1.4	<i>Gerenciamento de Pressões.....</i>	121
<b>4.4.2</b>	<b>Compatibilização do Cadastro Comercial .....</b>	<b>127</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Perdas Aparentes .....</b>	<b>128</b>
4.4.3.1	<i>Análise do Parque de Hidrômetros .....</i>	128
4.4.3.2	<i>Troca de Hidrômetros .....</i>	132
4.4.3.3	<i>Fiscalização de Ligações.....</i>	137
4.4.3.4	<i>Aferição de Hidrômetros .....</i>	142
<b>5</b>	<b>ENCAMINHAMENTOS .....</b>	<b>144</b>
5.1	ESTRUTURA DO SAMAE.....	144
5.2	DIAGNÓSTICOS.....	145
5.3	PERDAS REAIS .....	146
5.4	PERDAS APARENTES.....	147
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>150</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>152</b>
	<b>ANEXO A – Principais indicadores do SNIS, relacionados à gestão da água.....</b>	<b>157</b>
	<b>ANEXO B – Erro médio absoluto das simulações realizadas após a troca de rede.....</b>	<b>160</b>
	<b>ANEXO C – Pressões Disponíveis antes e após a Ampliação da Rede. ....</b>	<b>163</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O acesso a água potável é um direito garantido por lei aos cidadãos, e que recentemente foi incluído entre os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, com o intuito de assegurar até 2030 a disponibilidade de água de qualidade para as 2,1 bilhões de pessoas que não possuem acesso a água potável (UNICEF, 2017).

O relatório disponibilizado pelo SNIS em março de 2020, indicou que a média de perdas reais no Brasil para o ano de 2018 foi de 38,5%, ou seja, o volume perdido seria suficiente para abastecer 30% da população brasileira, além do prejuízo estimado de R\$ 12 bilhões (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2020).

Em Santa Catarina o índice de perdas em 2018 foi de 34,6%, o que apesar de ser abaixo da média, ainda é elevado. Mais especificamente no município de Brusque, o índice de perdas em 2018 foi de 22,2%. Esse valor apesar de baixo, não é considerado confiável pelos funcionários do próprio SAMAE, devido à falta de uma metodologia definida para a análise e gestão de perdas no município.

O objetivo principal desse trabalho, foi a realização de uma análise das perdas em um DMC do SAA de Brusque, e que a partir dessa análise estratégias como: gerenciamento de pressões, gestão da infraestrutura, controle ativo de vazamentos e análise do parque de hidrômetros, fossem realizadas não só para verificar seus impactos na redução das perdas, mas principalmente para embasar um plano de ações para redução de perdas no município.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Executar ações estratégicas para diagnóstico, redução e controle de perdas de água, através da modelagem hidráulica, em um Distrito de Medição e Controle do Sistema de Abastecimento de Água do município de Brusque

### 1.1.2 Objetivos Específicos

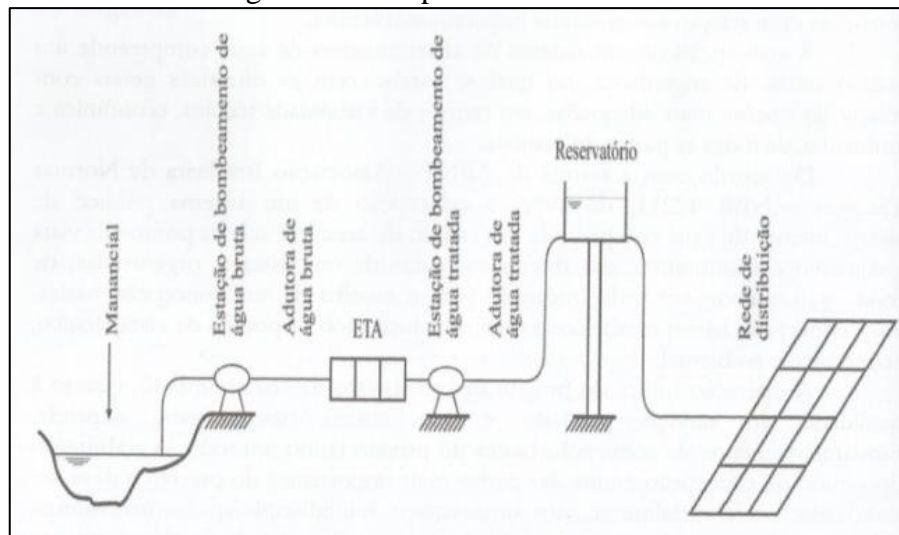
- Definir um DMC e executar um diagnóstico das perdas de água na área analisada;
- Validar a modelagem hidráulica como ferramenta de tomada de decisão para a redução das perdas de água no sistema de abastecimento de água de Brusque;
- Validar os métodos *bottom up* e *top down* como ferramentas para diagnóstico de perdas em SAA;
- Executar ao menos uma ação corretiva para cada componente da matriz do Balanço Hídrico da IWA;
- Identificar pontos chave que devem ser incluídos em um Plano de ação para o combate as perdas de água no município de Brusque.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Segundo Gomes (2019), os sistemas de abastecimento de água são estruturas de engenharia necessárias para distribuir água potável para as populações a serem atendidas em zonas urbanas e rurais. Tem como objetivo fornecer aos usuários, água de boa qualidade além da quantidade e pressões adequadas.

Figura 1 – Componentes de um SAA.



Fonte: GOMES (2013).

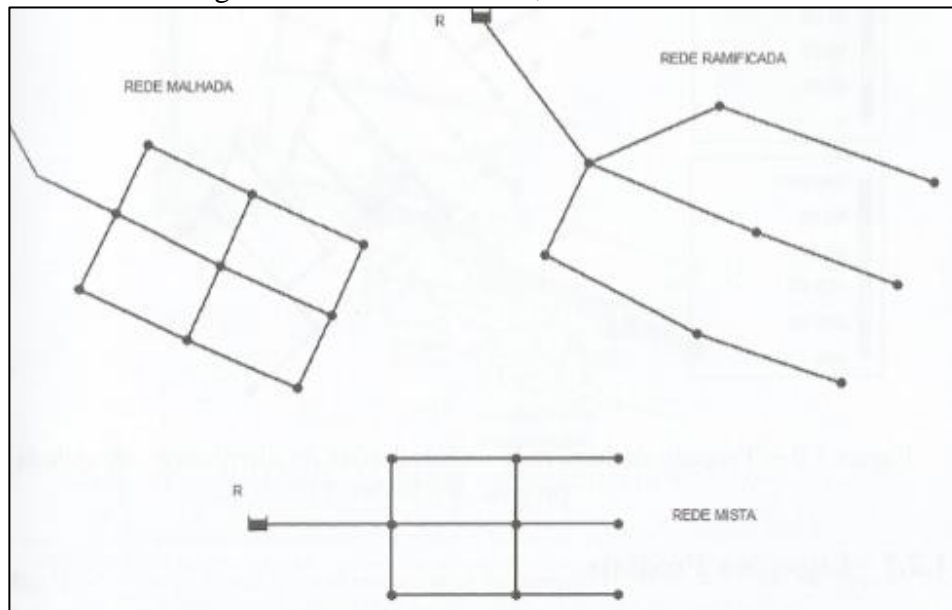
As partes integrantes de um sistema de abastecimento de água, são de acordo com Tsutiya (2013):

- **Manancial:** É o ponto escolhido para a captação da água bruta. Os mananciais podem ser superficiais - rios, barragens ou lagos - ou subterrâneos, como aquíferos;
- **Captação:** Estruturas necessárias para a captação da água dos mananciais. Em captações superficiais, barragens ou canais de captação são utilizados, já em captações subterrâneas, são utilizados poços rasos ou profundos;
- **Estação Elevatória:** Nas situações em que a água não pode ser transportada por gravidade, é necessário a instalação de conjuntos motobombas para superar os desníveis geométricos. Podem ser utilizadas tanto para recalque da água bruta

entre a captação e a ETA, quanto para recalque da água tratada aos pontos de reservação. Existem também os *boosters*, que têm como sua principal função o reforço de pressão em pontos críticos do sistema (SABESP, 2016);

- **Adutora:** São as redes de maior importância em um SAA, com maiores diâmetros e vazões, já que transportam a água entre unidades de abastecimento e tratamento, por exemplo entre a ETA um Reservatório. Não são responsáveis por distribuir água aos consumidores;
- **Estação de Tratamento de Água (ETA):** Unidades responsáveis por receber a água bruta captada nos mananciais, e tratá-la adequando aos padrões e normas de qualidade exigidos;
- **Reservatório:** Estruturas destinadas a reservar água e regularizar as variações de consumo em um SAA, permitindo além de pressões mais estáveis, um maior equilíbrio entre as vazões de adução e distribuição;
- **Distribuição:** Parte final de um SAA, responsável por distribuir a água captada, tratada e armazenada aos consumidores. Formada por tubulações e órgãos necessários, podem ter diferentes formatos de traçado (HELLER; PÁDUA, 2010):
- **Rede Ramificada:** Habitualmente chamadas de redes “em grelha” ou “espinha de peixe”, apresentam sentido único de escoamento. Seus pontos positivos são a facilidade e baixo custo de instalação, se comparados com a rede malhada, porém vêm sendo cada vez menos empregadas devido aos problemas de manutenção, visto que em um episódio que seja necessário um reparo em algum trecho, todos os outros a jusante deste ficarão desabastecidos;
- **Rede Malhada:** Essa configuração prioriza a interligação das redes, evitando a formação de pontas de rede. Com isso, não existe somente um fluxo para o escoamento, que variará conforme as demandas de consumo;
- **Rede Mista:** Possui trechos com as duas características.

Figura 2 – Redes malhadas, ramificadas e mista.



Fonte: GOMES (2013).

## 2.2 MODELAGEM HIDRÁULICA

Um modelo hidráulico é uma representação computacional de um sistema, seja ele existente ou em fase de dimensionamento, constituído de duas partes principais: uma base de dados e um *software* de modelagem (SANOVA, 2019).

De acordo com Gomes (2013), a modelagem hidráulica pode ajudar na gestão de um SAA, através de análises de alternativas que influenciam na qualidade do abastecimento, redução das perdas e no aumento da eficiência energética.

A utilização do modelo hidráulico para Bezerra & Cheung (2013), possibilita que os responsáveis por um SAA conheçam os parâmetros de vazão, pressão e perda de carga para determinados cenários e alternativas simuladas.

### 2.2.1 Calibração de Modelos Hidráulicos

Soares *et al.* (2004) afirma que a calibração de um modelo hidráulico é uma etapa preliminar que deve ser adotada anteriormente a qualquer análise de sistemas existentes, para assim avaliar o comportamento mais realístico das suas variáveis. A calibração visa ajustar os parâmetros do sistema para minimizar os desvios entre os dados simulados e observados.

A calibração de um modelo hidráulico parte de um processo de comparação entre os dados observados em campo e os simulados pelo modelo, para que posteriormente ocorra um ajuste nos dados de entrada do modelo, a fim de aproximar os valores observados e simulados (WALKSI, 1983).

Ormsbee & Wood (1986) formularam um algoritmo onde os valores de pressão e/ou vazão são modificados, influenciando nas perdas de carga do sistema, até o ponto de convergência entre os dados simulados e observados.

Walski (1983) associa grupos de tubulações com as mesmas características, adotando uma perda de carga padrão para este grupo, baseado nas observações realizadas em campo, em condições de escoamento diferentes. Para Soares *et al.* (2004), o processo de calibração de um modelo hidráulico pode ser realizado em seis etapas:

- Obtenção dos dados cadastrais do local em estudo diâmetros, comprimentos e materiais;
- Inspeção da área de estudo para instalação de equipamentos de monitoramento;
- Divisão da rede em setores com características homogêneas, com o intuito de facilitar a identificação de um fator global de ajuste para cada setor;
- Monitoramento e coleta dos dados em campo;
- Carregar as informações do cadastro e rodar a simulação hidráulica;
- Calibrar o modelo, visando obter o melhor ajuste entre os dados simulados vs observados em campo.

### 2.3 PERDAS DE ÁGUA

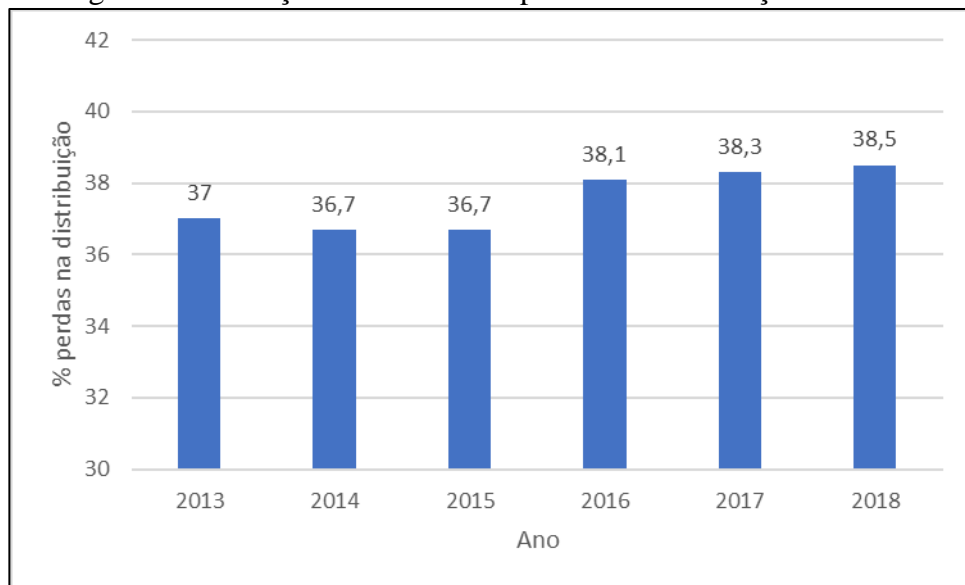
De maneira simplista, podemos caracterizar perdas de água como todo volume de água que em algum momento entre os processos de captação, adução, tratamento e distribuição, é perdido e não chega ao consumidor final, ou que não é devidamente contabilizada/medida (TSUTIYA, 2013.)

As perdas de água em SAA são influenciadas por fatores relacionados a infraestrutura e operação dos sistemas, sendo diretamente relacionadas com as características das instalações, práticas de operação, nível de tecnologia aplicada aos sistemas e da experiência do corpo técnico envolvidos nos processos de gestão e controle em um SAA (BEZERRA; GOMES, 2013).

Vicentini (2012) afirma que no caso do Brasil, somente a partir da década de 70 houve uma movimentação por parte do Governo Federal em direção ao combate de perdas, com a criação do Plano Nacional de Saneamento – PLANASA. As principais medidas deste plano focaram em micromedição, pitometria e pesquisa de vazamentos não visíveis.

O PLANASA obteve expressivos resultados se considerarmos o aumento no índice de população com acesso ao abastecimento de água em zonas urbanas, elevando essa cobertura de 50,4% para 87,5% em apenas 15 anos (MONTEIRO, 1993). Porém, como pode ser observado na Figura 3, a gestão de perdas não acompanhou esse resultado, sendo que chegamos ao século XXI com índices de perdas na distribuição próximos dos 40% (SNIS, 2018), e que baseados em dados do Instituto Trata Brasil (2018), são muito superiores aos índices de países desenvolvidos como a Dinamarca (6,9% em 2015), Austrália (10,3% em 2013) e Estados Unidos (12,8% em 2011).

Figura 3 – Evolução dos índices de perdas na distribuição no Brasil.



Fonte: Adaptado de SNIS (2018).

Em 1997, a *International Water Association* – IWA criou um grupo de trabalho chamado de *Water Task Force* (Grupo de Trabalhos sobre Perdas de água), cujo foco seria uniformizar os conhecimentos e terminologias existentes sobre perdas de água.

Um dos resultados deste grupo de trabalho foi a elaboração do Balanço Hídrico (Tópico 2.4.1) onde as perdas foram destrinchadas em componentes, com o termo “Perdas



Reais” substituindo “Perdas Físicas” e “Perdas Aparentes” substituindo “Perdas não físicas ou comerciais”.

Tsutiya (2013) relaciona os volumes perdidos nos vazamentos – perdas reais – com os custos de produção e transporte da água tratada: energia elétrica, produtos químicos e mão de obra, por exemplo. Já nas perdas aparentes, os custos relacionados são os valores relacionados ao preço da água repassado ao consumidor final, através da política tarifária da companhia de saneamento. O quadro abaixo agrupa essas ponderações.

Quadro 1 – Caracterização geral das perdas.

ITEM	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
<b>Tipo de ocorrência mais comum</b>	Vazamento.	Erro de medição.
<b>Custos associados ao volume de água perdido</b>	Custos de produção de água tratada.	Valor cobrado no varejo ao consumidor.
<b>Efeito no meio ambiente</b>	Desperdício de recursos naturais; Maiores impactos ambientais devido à necessidade de ampliação da exploração dos mananciais.	Não é relevante.
<b>Efeito na saúde pública</b>	Riscos de contaminação.	Não é relevante.
<b>Ponto de vista empresarial</b>	Perda de produto "industrializado".	Perda elevada de receita.
<b>Ponto de vista do consumidor</b>	Imagem negativa da empresa, associada ao desperdício e ineficiência.	Não é uma preocupação imediata.
<b>Efeitos finais no consumidor</b>	Repasse de custos à tarifa; Desincentivo ao uso racional da água.	Repasse de custos à tarifa; Incitamento ao roubo e fraudes.

Fonte: Adaptado de TSUTIYA (2013).

### 2.3.1 Perdas Reais

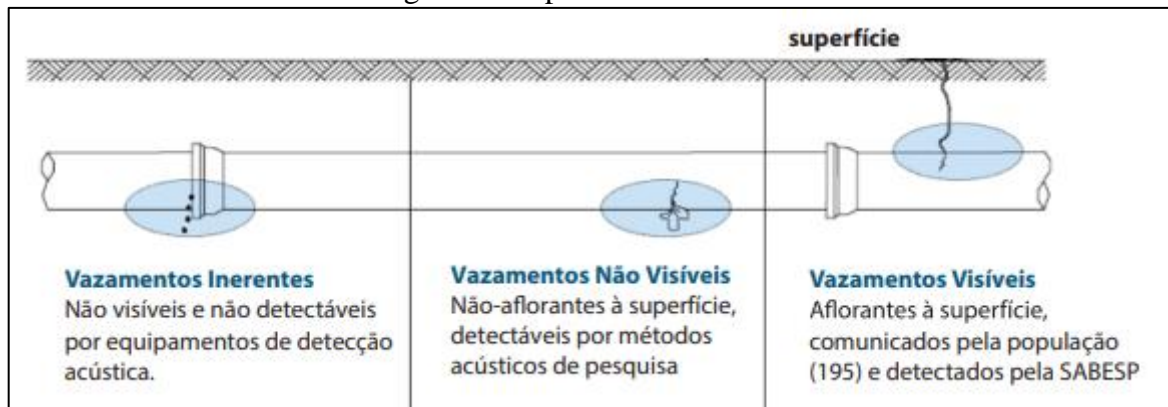
São o tipo de perdas mais comum em sistemas de abastecimento, ocorrendo entre a captação de água bruta e o cavalete do consumidor. São constituídas pelos vazamentos visíveis e não visíveis em tubulações e ramais prediais, pelas descargas de rede, extravasamentos em reservatórios e pelo uso da água para limpeza de unidades de tratamento (WERDINE, 2002).

A IWA classifica os vazamentos em três tipos (Figura 4):

- Vazamentos Inerentes: De pequena magnitude e que são de maneira geral, indetectáveis por equipamentos de detecção acústica;

- Vazamentos não visíveis: Apesar de não aflorarem à superfície, são de magnitude considerável e podem ser detectados através de pesquisa acústica;
- Vazamentos visíveis: Acabam aflorando a superfície e por serem facilmente detectados, geralmente pela população, são reparados rapidamente.

Figura 4 – Tipos de Vazamentos.



Fonte: FUNASA (2014).

Costa (2009) lista como principais motivos para a ocorrência de vazamentos:

- Pressões elevadas nas redes;
- Variações bruscas de pressão;
- Manobras de rede que geram transientes hidráulicos;
- Má qualidade das tubulações, acessórios e mão de obra utilizados;
- Falta de fiscalização por parte das concessionárias de saneamento.

### 2.3.2 Perdas Aparentes

Perdas aparentes consistem no consumo não faturado, ou seja, fraudes, furtos e uso ilegal da água, falhas de cadastro e imprecisões nas medições, seja nas micro ou macromedições (DE CARVALHO *et al.*, 2004). Em linhas gerais, a água é consumida, porém não é faturada nem medida adequadamente (FUNASA, 2014).

Desta maneira, um elevado índice de perdas aparentes reduz a capacidade financeira de uma concessionária, já que os recursos que deveriam ser investidos em melhorias operacionais e de qualidade do serviço, não são captados (GO ASSOCIADOS, 2015).

O quadro abaixo relaciona um detalhamento das perdas aparentes em SAA.

Quadro 2 – Origens e magnitude das perdas aparentes.

	Origens	Magnitude
<b>Perdas Aparentes (Não Físicas)</b>	Ligações clandestinas/ irregulares	Podem ser significativas, dependendo de:
	Ligações sem hidrômetros	i) procedimentos cadastrais e de faturamento;
	Hidrômetros parados	ii) manutenção preventiva;
	Hidrômetros que subestimam o volume consumido	iii) adequação de hidrômetros; e
	Ligações inativas reabertas	iv) monitoramento do sistema.
	Erros de leitura	
	Número de economias errado	

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades (2013).

## 2.4 AVALIAÇÃO DE PERDAS

Estimar a quantidade de água perdida em um SAA pode ser realizada através da seguinte equação (TSUTIYA, 2013):

$$Perda = V - m - u \quad (1)$$

Onde:

$V$  é o volume produzido pelo sistema em um determinado tempo;

$m$  é o volume faturado do consumidor final;

$u$  é o uso operacional, que corresponde ao volume utilizado pela concessionária em suas operações no dia a dia.

Tardelli Filho (2013) aponta que quantificar as perdas é relativamente simples, mas a diferenciá-las entre reais e aparentes é mais trabalhoso. Para auxiliar nessa identificação, o autor sugere a utilização dos métodos do Balanço Hídrico (*Top-Down*) e das Vazões Mínimas Noturnas (*Bottom-up*).

### 2.4.1 Método IWA de Balanço Hídrico

Esse método foi um dos resultados do grupo de trabalho criado pela IWA, o *Water Task Force*, conforme citado no tópico 2.3.

Gomes (2019) cita que o método do BH é conhecido também como *top-down*, por realizar análise de cima para baixo, partindo do volume de água que entra no sistema e retirando o volume que é consumido, avaliando os fluxos, usos e perdas nos sistemas. Os resultados do BH permitem:

- Obter melhor monitoramento dos efeitos para decisões de gestão;
- Obter informações chave para suporte a atitudes proativas;
- Destacar os pontos fortes e fracos dos diversos setores da concessionária/empresa;
- Criar uma base técnica de suporte a processos de auditoria das atividades;
- Identificar as parcelas de água adicionadas ao sistema;
- Segregar as perdas de águas entre reais e aparentes;
- Identificar falhas de equipamentos de medição, sistemas de informação, entre outros;
- Auxiliar na implementação de um sistema de gestão.

Thornton, Sturm e Kunkel (2008) afirmam que esse é o método mais confiável para estimar as perdas em um sistema de abastecimento, não só por ter sido um trabalho inovador para área, mas também por sua metodologia e resultados terem sido validados mundialmente.

O BH apresenta seus resultados em forma de uma matriz (Figura 5), e os seus componentes de acordo com Tardelli Filho (2013), são:

- Volume de Entrada: Volume anual de água que entra em um sistema;
- Consumo Autorizado: Volume de água medido ou não, que é fornecido para aos consumidores ou utilizado pela própria autarquia;
- Perdas de Água: Diferença entre o volume que entra no sistema e o volume autorizado;
- Consumo Autorizado Faturado: São os volumes que geram receita para as companhias, através do faturamento e emissão de contas aos consumidores finais;
- Consumo Autorizado não Faturado: Volume autorizado para uso, mas que não gera arrecadação para a companhia. É caracterizado por volumes medidos: usos da própria concessionária para lavagem de reservatórios e filtros, por exemplo, e

não medidos: lavagem de logradouros, uso para manutenção de espaço públicos e combate a incêndios;

- Perdas Aparentes: São os volumes consumidos, mas não contabilizados, seja por erros de medição, fraudes ou erros de cadastro;
- Perdas Reais: Volumes de água que são perdidos através de vazamentos na distribuição ou extravasamentos de reservatórios;
- Volume faturado: Representa a parcela de água que foi comercializada, ou seja, faturada pelo consumo dos clientes;
- Volume não faturado: Diferença entre o volume total de água que entra no sistema, e o consumo autorizado. Engloba não só as perdas reais e aparentes, mas também o consumo autorizado não faturado.

Figura 5 – Matriz do Balanço Hídrico.

VOLUME DE ENTRADA	CONSUMO AUTORIZADO	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	
	PERDAS DE ÁGUA	PERDAS APARENTES	SUBMEDIÇÃO	
			CLANDESTINOS / FALHAS DE CADASTRO	
			FRAUDES	
		PERDAS REAIS		

Fonte: AESBE (2015).

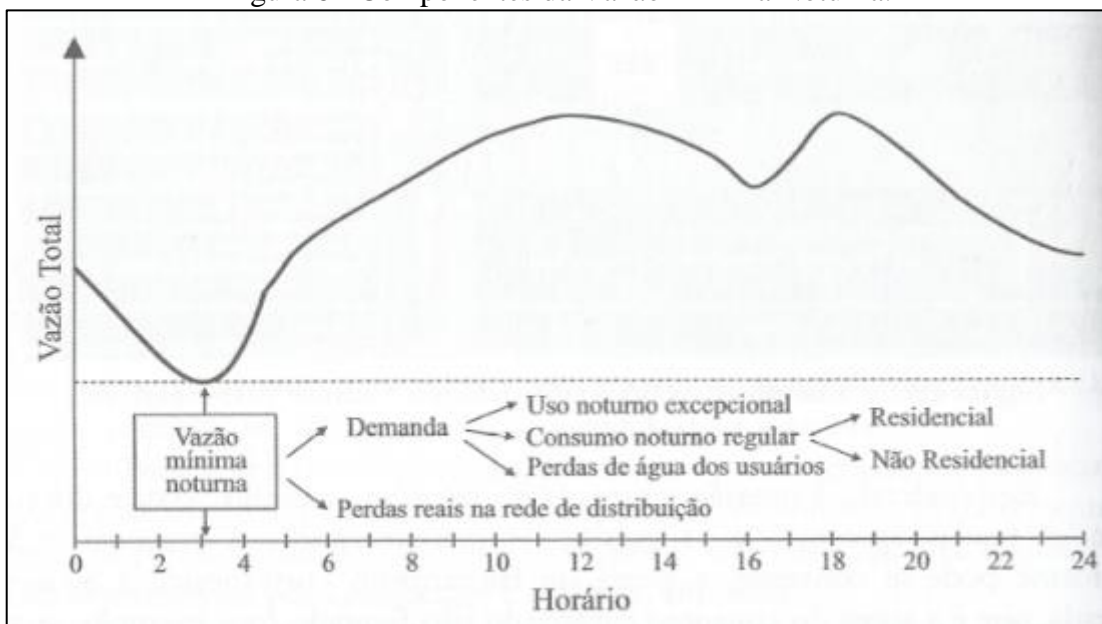
### 2.4.2 Vazão Mínima Noturna

O método das Vazões Mínimas Noturnas – VMN utiliza de dados colhidos em campo para quantificar o volume de perdas reais em um sistema de abastecimento. Esses resultados podem ser comparados com o volume de perdas obtido através do método do BH - *top-down* (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

A metodologia da VMN é caracterizada como *bottom-up* por avaliar as perdas “de baixo para cima”, através de pesquisas e testes em campo, considerando tanto as perdas reais quanto aparentes (MELATO, 2010).

O método da VMN baseia-se na análise das vazões durante o horário de menor consumo em um SAA, que geralmente é o intervalo entre as 2 e 4 horas da manhã. Nesse período, grande parte dos consumidores está dormindo e as caixas da água estão cheias, então estima-se que 70% a 90% da VMN correspondam a vazamentos (perdas reais) nas redes (GOMES, 2019).

Figura 6 - Componentes da Vazão Mínima Noturna.

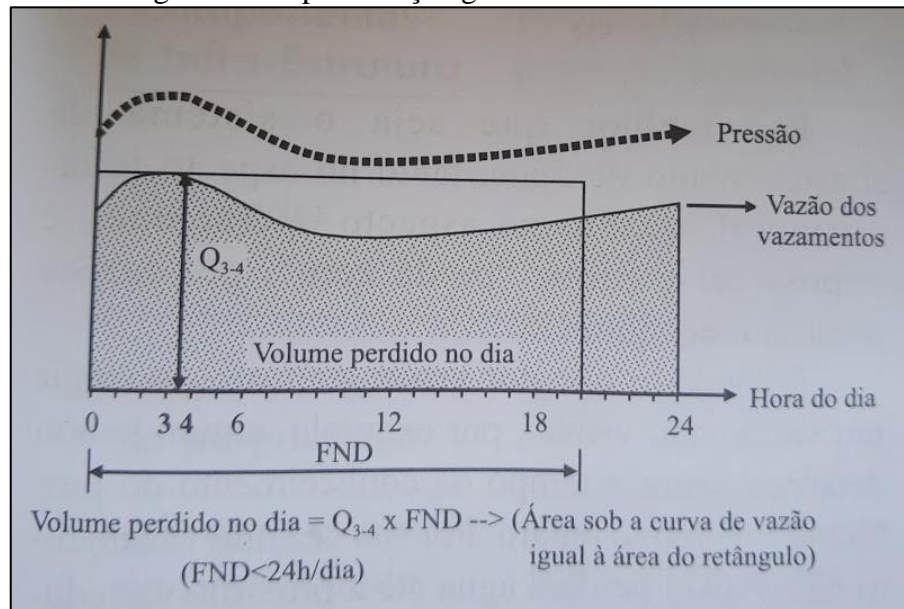


Fonte: GOMES (2019).

Um ponto importante a ser considerado quando da utilização deste método, é que a vazão dos vazamentos é máxima durante a madrugada, devido as pressões máximas na rede, mas durante o dia as pressões disponíveis diminuem devido ao aumento do consumo, reduzindo também as vazões de vazamento. Caso o valor da VMN obtido durante a madrugada fosse utilizado para as 24 horas de um dia, haveria uma superestimação do volume perdido.

É necessário então, multiplicar o VMN por um fator de correção, denominado Fator Noite/Dia – FND (Lambert & Thornton, 2002). Segundo Tsutiya (2014), O FND (Figura 7) é obtido através de medições de pressões em um setor, e utilizando a relação entre pressão vazão - equação 7.

Figura 7 – Representação gráfica do Fator Noite/dia.



Fonte: LAMBERT (2002).

## 2.5 CONTROLE DE PERDAS

É importante levar em consideração o fato que não existem sistemas 100% estanques e com 100% de exatidão nas medições de água. Em maiores ou menores proporções, todo sistema de água terá uma parcela de perda. Porém, índices de perdas reais acima de 30% são inaceitáveis, e as experiências práticas desenvolvidas ao longo dos anos tem comprovado que o combate as perdas é algo contínuo (GOMES, 2019).

Melato (2010) cita que uma gestão de perdas envolve todos os setores de uma companhia de saneamento (Figura 8), sendo fundamental que haja comprometimento e

entendimento entre as áreas, para que um programa de controle e redução de perdas obtenha sucesso.

Figura 8 – Integração em uma companhia, para o controle e redução de perdas.



Fonte: SOUZA JÚNIOR (2014).

### 2.5.1 Setorização

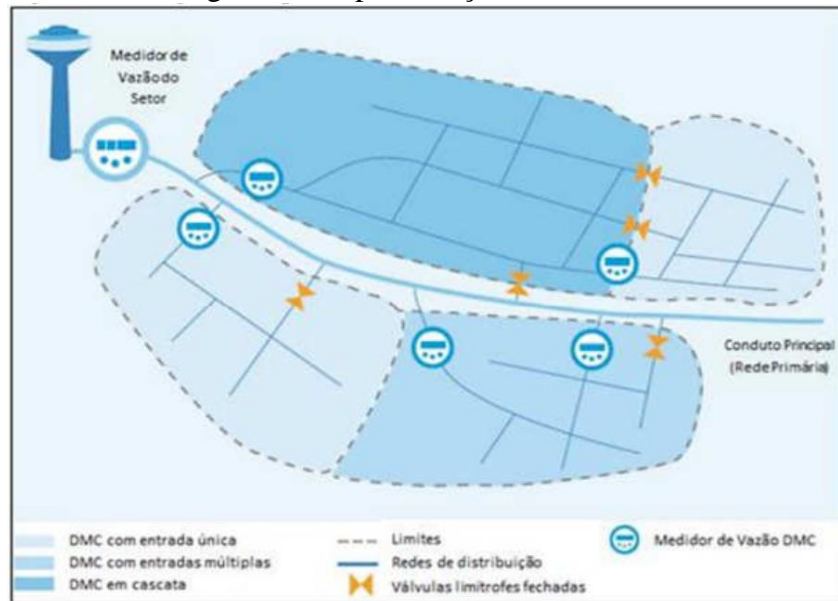
Um dos passos mais importantes para o controle e redução das perdas, é a criação dos Distritos de Medição e Controle – DMC (TARDELLI FILHO, 2013).

Farley (2008) afirma que uma gestão ativa para o controle de perdas de água só é possível através da setorização, dividindo um sistema em subsistemas onde seja possível medir o volume de água não faturado em seus interiores, através da macromedição em suas entradas de água.

Apesar de não existir um consenso sobre o tamanho máximo em um DMC (Figura 9), que pode variar entre 3000 a 8000 ligações (BEZERRA; GOMES, 2013) a ABNT, através da NBR 12218/2017 orienta que um DMC possua no máximo 5000 ligações ou 25 km de extensão de redes.



Figura 9 – Representação de um DMC.



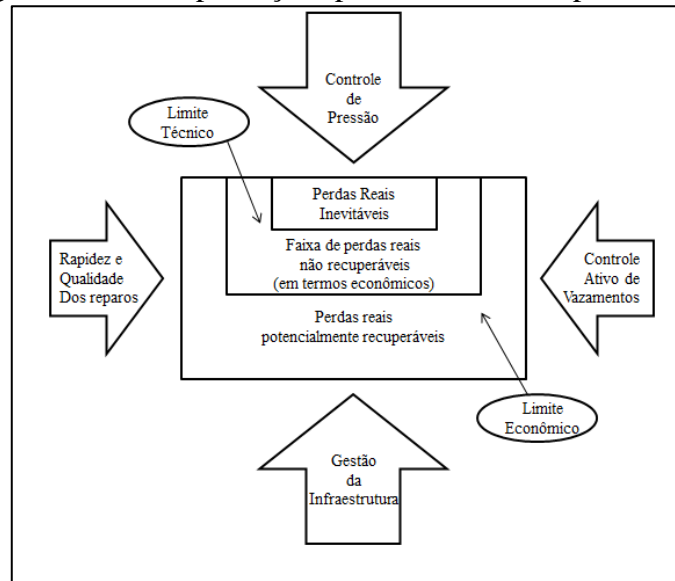
Fonte: SOUZA JÚNIOR (2014).

### 2.5.2 Perdas Reais

Bezerra & Gomes (2013) destacam a metodologia da IWA para redução das perdas reais, em que os volumes perdidos podem ser significativamente reduzidos através da implementação conjunta das ações representadas na Figura 10.

A redução das perdas reais influencia diretamente na redução dos custos de produção de água, já além do menor consumo de energia elétrica e produtos químicos, há também uma folga operacional nas unidades de tratamento, sem a necessidade de expandir os sistemas existentes (WERDINE, 2002).

Figura 10 – Principais ações para o controle de perdas reais.



Fonte: Adaptado de GOMES (2019).

### 2.5.2.1 Controle de Pressão

Entre as ações voltadas para a gestão eficiente de perdas, o gerenciamento da pressão apresenta-se como a alternativa mais eficaz para a diminuição do volume de água perdido em vazamentos. De modo geral, uma diminuição de 10% na pressão em grandes sistemas, reduz em média 12% no volume perdido por vazamentos (GOMES, 2019).

Tsutiya (2014) defende que a operação de SAA deveria ser balizada pelos níveis de pressão que atendam os consumidores no pior cenário de abastecimento – consumo máximo, e que diferente do que muitos profissionais ainda defendem, um elevado nível de pressão na rede não representa um padrão eficiente de atendimento, já que essas pressões elevadas provocam mais vazamentos nos ramais prediais.

Bezerra (2013) lista como benefícios diretos de um adequado gerenciamento de pressões a redução do volume perdido em vazamentos, aumento da vida útil da infraestrutura do sistema e redução da frequência de rompimentos nas redes de distribuição.

Thornton, Sturm e Kunkel (2008) listam como principais ações para o gerenciamento de pressões:

- **Instalação de VRPs:** Servem para reduzir e uniformizar as pressões em DMC. Podem ser fixas, ou seja, operam com um valor constante de pressão configurada,

ou controladas, em que a pressão “liberada” pela válvula é variável e controlada por um controlador eletrônico, variando de acordo com a demanda do sistema;

- **Controle de Sistemas de Bombeamento:** A utilização de inversores de frequência e controladores de pressão possibilita um gerenciamento melhor das pressões de recalque das bombas, diminuindo o consumo de água e energia elétrica.

### 2.5.2.2 Gestão da Infraestrutura

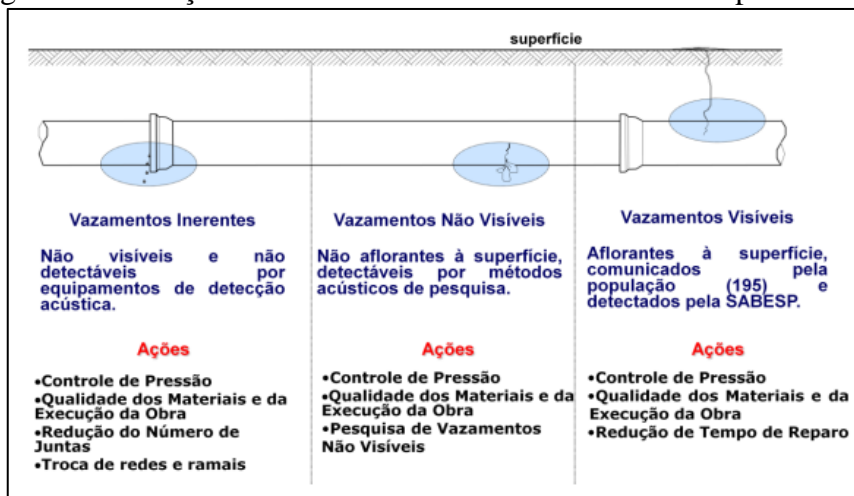
O gerenciamento da infraestrutura está diretamente ligado ao conhecimento das condições das redes de distribuição: idade, materiais, manutenções preditivas e preventivas, instalação e manutenção de equipamentos, etc. (MELATO, 2002).

Trazendo para números, Tsutiya (2013) afirma que a vida útil das redes de distribuição é em média de 50 anos, já para os ramais o valor adotado é menor, já que são materiais menos resistentes e sujeitos a fatores mais agressivos.

Gomes (2019) cita que a maioria dos SAA em operação necessita de ações de reabilitação para corrigir problemas como vazamentos e elevadas perdas de carga, por exemplo.

Uma complementação aos tipos de vazamentos (Figura 4), pode ser observada abaixo, relacionando os tipos de ações que refletem na redução das perdas reais.

Figura 11 - Relação entre o controle ativo de vazamentos e perdas reais.



Fonte: TARDELLI FILHO (2013).

### 2.5.2.3 Controle Ativo de Vazamentos

Para Melato (2002), o controle ativo consiste em detectar o vazamento antes de aflorar, ou seja, quando ainda for um vazamento não visível. Essa detecção é realizada através da pesquisa acústica.

Tsusitya (2013) afirma que realizar a pesquisa acústica sem nenhum planejamento é pouco eficaz e gera desperdício de recursos e pessoal. Para evitar esses problemas, dois métodos são utilizados:

- Pesquisa sem medição: as pesquisas são realizadas em áreas com maior potencial de ocorrência de vazamentos, pois apresentam histórico de vazamentos, elevadas pressões ou redes com idades elevadas. Essas áreas devem ser pesquisadas mais vezes por ano, se comparadas com as áreas com menor potencial;
- Pesquisa com medição: Essa metodologia é realizada em DMCs, onde é possível medir a vazão média diária e a VMN e através delas, calcular o Fator de Pesquisa – FP, conforme equação abaixo:

$$FP (\%) = \left( \frac{\text{Vazão Mínima Noturna}}{\text{Vazão Média Diária}} \right) \times 100 \quad (2)$$

A relação acima sempre deve resultar em valores menores ou igual a 1, e quanto maior o valor encontrado, maior a probabilidade de vazamentos na área analisada. Valores de FP acima dos 30% indicam áreas com potencial elevado de vazamentos a serem detectados (TARDELLI FILHO, 2013)

#### 2.5.2.3.1 Pesquisa Acústica

O procedimento mais utilizado para o controle ativo de perdas reais é a pesquisa acústica, e os principais equipamentos utilizados são a haste de escuta e o geofone (GOMES, 2019).

- **Haste de Escuta:** É um equipamento simples composto de um amplificador acústico acoplado a uma barra metálica. Essa haste capta ruídos de vazamentos

em acessórios da rede de distribuição, como cavaletes, registros, ramais, etc. (TSUTIYA, 2014).

- **Geofone:** Equipamento acoplado de sensor acústico, amplificador, fones de ouvido e filtros de ruído (Figura 12). É indicado para a pesquisa de vazamentos a partir da superfície do solo, através da captura dos ruídos de vazamentos (TSUTIYA, 2014).

Figura 12 – Geofone eletrônico.



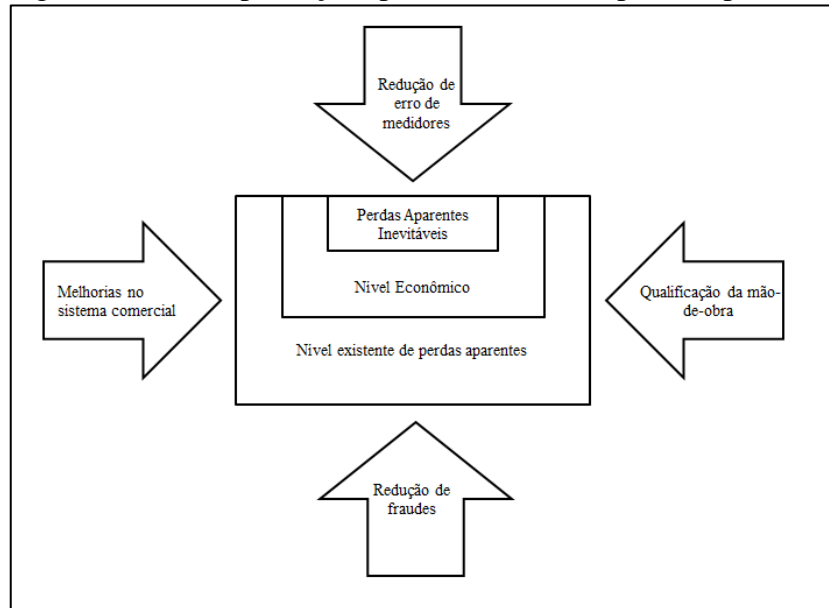
Fonte: Autor (2020).

### 2.5.3 Perdas Aparentes

Bezerra e Gomes (2013) citam que as perdas aparentes ocorrem basicamente, de três formas: erros de medição e leitura, erros cadastrais e consumo não autorizado.

Da mesma forma que Gomes (2019) relacionou os principais conjuntos de ações para o combate as perdas reais (Figura 10), Tardelli Filho (2013) relacionou as principais ações que devem ser integradas em um programa para redução das perdas aparentes (Figura 13).

Figura 13 – Principais ações para o controle de perdas aparentes.



Fonte: TARDELLI FILHO (2013).

### 2.5.3.1 Redução de Erros de Medidores

#### 2.5.3.1.1 Macromedição

A macromedição possui uma importância relevante no controle de perdas, visto que uma correta medição das vazões macromedidas em um SAA, afeta diretamente os índices de perda (VICENTINI, 2012).

A importância da macromedição vai além dos impactos no controle e redução de perdas, pois subsidia dados importantes para o diagnóstico operacional, dosagens de produtos químicos e indicadores qualitativos e quantitativos (TSUTIYA, 2013).

A submedição em macromedidores, seja por subdimensionamento, idade ou instalação incorreta é uma das principais causas das perdas aparentes nas companhias de saneamento (BEZERRA; GOMES, 2013), e conseqüentemente perdas no faturamento.

Para Tardelli Filho (2013), um macromedidor bem instalado e dimensionado, apresenta variações de leitura entre 0,5% e 2,0%, o que reforça a importância da calibração periódica nesses equipamentos.

### 2.5.3.1.2 Micromedição

A troca de hidrômetros é um dos itens mais importantes para um programa de redução de perdas. O envelhecimento dos hidrômetros, aliado a fatores operacionais do SAA como as elevadas pressões ou sujeira nas redes, afetam a precisão dos hidrômetros, elevando assim as perdas aparentes (TSUTIYA, 2013).

A redução dos erros de medição é possível através da gestão eficiente do parque de hidrômetros. A substituição periódica dos hidrômetros, o dimensionamento correto dos contadores e a compra de equipamentos certificados são políticas que reduzem as perdas aparentes causadas pelos hidrômetros, além de elevar o faturamento das companhias de saneamento (GOMES, 2019).

Tardelli Filho (2013) lista três situações que as companhias de saneamento devem considerar para a troca de hidrômetros:

- **Manutenção corretiva:** quando há problemas como travamentos nas engrenagens ou violações, que não permitem que o hidrômetro funcione de maneira correta;
- **Manutenção preventiva:** troca realizada quando o hidrômetro atinge uma idade limite ou supera o volume totalizado definido por fábrica;
- **Adequação:** Quando o equipamento não apresenta os parâmetros corretos considerando os consumos verificados naquele local.

Vicentini (2002) alerta que outra ação de extrema importância para redução das perdas aparentes é a correção dos hidrômetros que se encontram inclinados ou deitados, fator que afeta a capacidade de leitura dos equipamentos, principalmente de classe A e B.

Figura 14 – Exemplo de hidrômetro inclinado em Brusque.

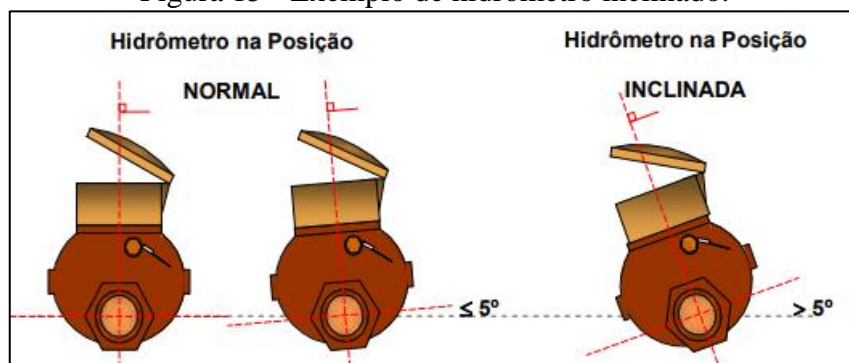


Fonte: Autor (2020)

Duas situações são possíveis (TSUTIYA, 2014):

- Quando é possível desincliná-lo sem comprometimento da leitura. A medida é realizada de maneira rápida e sem custos consideráveis;
- Quando não é possível desincliná-lo, pois haverá dificuldades em realizar as leituras, algumas opções existem: executar um novo abrigo dentro dos padrões da companhia; instalar hidrômetros de classe metrológica pouco afetados pela inclinação (Hidrômetros classe C) ou instalar hidrômetros com relojoaria em 45°.

Figura 15 - Exemplo de hidrômetro inclinado.



Fonte: VICENTINI (2002).



### 2.5.3.2 Combate às Fraudes e Fiscalização

O combate às fraudes deve ser realizado de forma perene, para evitar que os fraudadores se sintam encorajados ao delito devido à falta de fiscalização (TSUTIYA, 2013).

Gomes (2019) caracteriza as ligações clandestinas e o uso fraudulento/não autorizado da água como as ocorrências mais comuns em companhias de saneamento. Os tipos de fraude aplicados geralmente são: inclinação do medidor, inserção de objeto na engrenagem, troca de relojoaria e indução de campo magnético em medidores eletrônicos. Já o uso não autorizado, geralmente ocorre através da instalação de *by-pass*, onde a água é desviada e não passa pelo hidrômetro, ou seja, não sendo faturado pela companhia.

Figura 16 - Exemplo de hidrômetro fraudado.



Fonte: GIROL (2008).

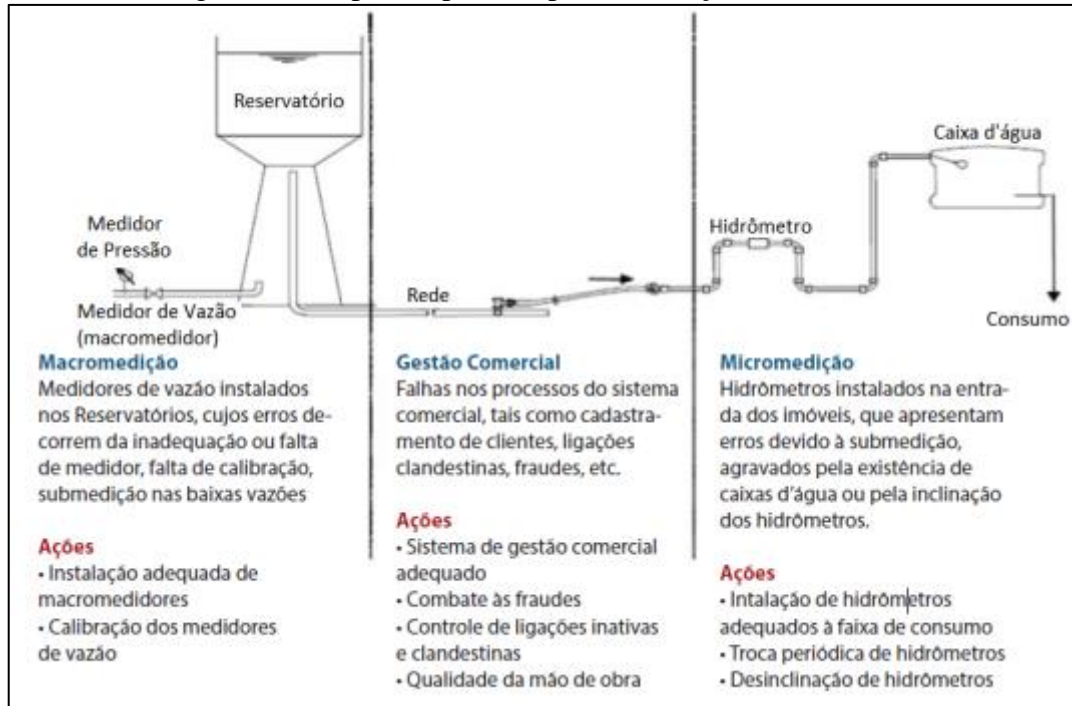
### 2.5.3.3 Melhorias no Sistema Comercial

A gestão das atividades comerciais em uma companhia de saneamento exige sistemas de informação adequados, visto que envolvem inúmeras partes da gestão em um SAA: pedido de ligação dos clientes, cadastro da ligação após execução, programação das leituras, apuração dos consumos, emissão de contas e geração de relatórios gerenciais (TSUTIYA, 2013).

O aperfeiçoamento do sistema de gestão comercial deve ser uma ação contínua nas companhias de saneamento, principalmente no que diz respeito ao cadastro das ligações e apuração dos consumos dos clientes (VICENTINI, 2002).

Na Figura 17 é possível observar de forma geral, os tipos de perda aparentes e as ações para redução e controle das mesmas.

Figura 17 – Tipos de perdas aparentes e ações de combate.



Fonte: TARDELLI FILHO (2013).

#### 2.5.4 Mão-de-Obra

Por se tratar de um fator presente nas ações para controle e redução dos dois tipos de perdas, a qualificação da mão-de-obra em uma companhia de saneamento é de extrema importância para a gestão de perdas.

Tsutiya (2013) cita que as ações mais importantes no âmbito das perdas reais são o treinamento e a certificação dos funcionários, visto que boas práticas de execução de reparos em vazamentos ou de instalação de novas redes evitam novas rupturas nas redes.

Já dentre as ações para as perdas aparentes, o contato com o cliente é muito próximo, visto que problemas nos hidrômetros e as leituras mensais, por exemplo, envolvem contato direto entre as partes para execução dos serviços. Também é de suma importância que os leituristas estejam aptos a identificar possíveis fraudes e auxiliar na atualização cadastral, por exemplo (TSUTIYA, 2013).

## 2.6 INDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores de desempenho são utilizados como instrumentos de avaliação e envolvem não apenas aspectos econômicos, mas também operacionais. A principal qualidade de um indicador, é apresentar valores que transmitam informações claras, concisas e simples sobre o desempenho de um SAA. (GOMES, 2019).

O Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento – SNIS, é um sistema criado em 1994 pelo Governo Federal Brasileiro, onde as companhias de saneamento do país enviam anualmente os dados relativos à sua operação, de forma a serem avaliadas por indicadores pré-definidos. Os principais indicadores do SNIS, relacionados à gestão de perdas em SAA estão listados no ANEXO A – Principais indicadores do SNIS, relacionados à gestão da água.

No ano de 2000, a IWA publicou o Manual de Boas Práticas, onde foi apresentado o sistema de indicadores da IWA (BEZERRA, 2013). Para Tsutiya (2014), esse trabalho teve como objetivo buscar um consenso a nível mundial, relativo aos indicadores de desempenho em SAA.

De acordo com AESBE (2016), a IWA indica o uso dos seguintes indicadores para avaliação das perdas reais em SAA:

- **IVI – Índice de Vazamento da Infraestrutura (Op 29):** É calculado dividindo o volume de perdas reais anual - PRAC, pelo volume de perdas inevitáveis - PRAI. O PRAC é obtido através do Balanço Hídrico e o PRAI, através da seguinte equação:

$$PRAI = (0,8 \times QR + 18 \times ER) \times PMS \times \left(\frac{TMA}{24}\right)/1000 \quad (3)$$

Onde:

QR é a quantidade de ramais pressurizados;

ER é a extensão da rede em km;

PMS é a pressão média do sistema em mca;

TMA é o tempo médio de abastecimento, em horas/dia.

- **Litros por Ramal Dia (Op 23):** obtido dividindo o volume de perdas reais pela quantidade de ramais pressurizados;
- **Litros por ramal por dia por metro de pressão (Op 27):** é calculado dividindo resultado do indicador Litros por Ramal Dia pela pressão média do sistema;
- **m<sup>3</sup>/km de rede por hora (Op 28):** obtido através da seguinte equação:
- $m^3 / \text{km por hora} = (\text{PRAC} / (\text{ER} \times 24 \times 365)) \times \left(\frac{24}{\text{TMA}}\right)$  (4)

Onde:

PRAC é volume de perdas reais anual;

ER é a extensão da rede em km;

TMA é o tempo médio de abastecimento, em horas/dia.

Já para as perdas aparentes, a avaliação deve ser realizada considerando os seguintes indicadores:

- **Perdas aparentes em % do consumo autorizado (Op 25):** Obtido através da relação entre o volume de perdas aparentes e o volume do consumo autorizado;
- **Perdas aparentes em L/ramal/dia (Op 27):** Obtido dividindo-se o volume diário de perdas aparentes pela quantidade de ramais.

Ferreira (2017) cita que o Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água – ProEESA, relaciona o desempenho operacional de um SAA baseado na análise dos seguintes indicadores:

Tabela 1 – Indicadores de Desempenho ProEEsa.

<b>INDICADORES</b>	<b>ORIGEM INDICADOR</b>	<b>VALORES DE REFERÊNCIA</b>
<b>1. Índice de hidrometração (%)</b>	IN009 do SNIS	Bom: 98 a 100 Médio: 95 a 98 Insatisfatório: inferior a 95
<b>2. Índice de perdas de faturamento (%)</b>	IN013 do SNIS	Bom: entre 0 e 20 Médio: entre 20 e 30 Insatisfatório: entre 30 e 100
<b>3. % hidrômetros com idade superior a 5 anos (%)</b>	ProEEsa	Bom: inferior a 10% Médio: entre 10 e 15% Insatisfatório: superior a 15%
<b>4. Índice de perdas na distribuição (%)</b>	IN049 do SNIS	Bom: entre 0 e 15% Médio: entre 15 e 22,5% Insatisfatório: superior a 22,5%
<b>5. Índice de perdas por ligação (l/dia/lig.)</b>	IN051 do SNIS	Bom: até 122,5 Médio: entre 122,5 e 250 Insatisfatório: superior a 250
<b>6. Índice bruto de perdas lineares (m<sup>3</sup>/dia/km)</b>	IN050 do SNIS	Bom: entre 0 e 5 Médio: 5 a 7,5 Insatisfatório: superior a 7,5
<b>7. Taxa anual de reabilitação de redes (%/ano)</b>	Op16 da IWA	Bom: entre 1,0 e 4,0 Médio: entre 0,8 e 1 ou inferior a 4 Insatisfatório: inferior a 0,8

Fonte: Adaptado de FERREIRA (2017).

### 3 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

metodologia utilizada em cada uma das etapas, juntamente com sua distribuição no período de realização do trabalho, encontra-se abaixo.

- **Dados gerais:** Caracterização do município e seu SAA, além da apresentação dos aspectos mais importantes do modelo hidráulico desenvolvido do SAA;
- **Definição do DMC a ser analisado:** em reuniões com o SAMAE de Brusque, os DMCs foram analisados levando em consideração critérios de operação e gestão de um SAA;
- **Caracterização da área de interesse:** após a definição do DMC, realizou-se um diagnóstico da área de influência, com o intuito de identificar as perdas no sistema e levantar as melhorias possíveis;
- **Execução de estratégias para a redução das perdas:** através do diagnóstico, foram executadas intervenções com o intuito de reduzir as perdas de água presentes no DMC.

Quadro 3 - Período de realização das atividades.

ETAPA	MAI/20	JUN/20	JUL/20	AGO/20	SET/20	OUT/20	NOV/20
<b>Definição do DMC</b>							
<b>Gerenciamento da Infraestrutura</b>							
<b>Monitoramento de Pressões</b>							
<b>Diagnóstico BH e VMN<sup>1</sup></b>							
<b>Gestão do Parque de Hidrômetros</b>							
<b>Fiscalização de ligações</b>							
<b>Prospecção Vazamentos -Haste de Escuta</b>							
<b>Gerenciamento de Pressões</b>							
<b>Simulações Hidráulicas</b>							

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

<sup>1</sup> A marcação em vermelho no mês de julho, referente ao diagnóstico das perdas no DMC escolhido através dos métodos do BH e VMN, representa a ideia inicial de executar o diagnóstico antes e após a implementação das estratégias de redução e controle de perdas. Porém, isto não foi possível devido à aspectos operacionais do DMC, conforme explicado de forma mais detalhada no tópico 4.2.

### 3.1 DADOS GERAIS DE BRUSQUE

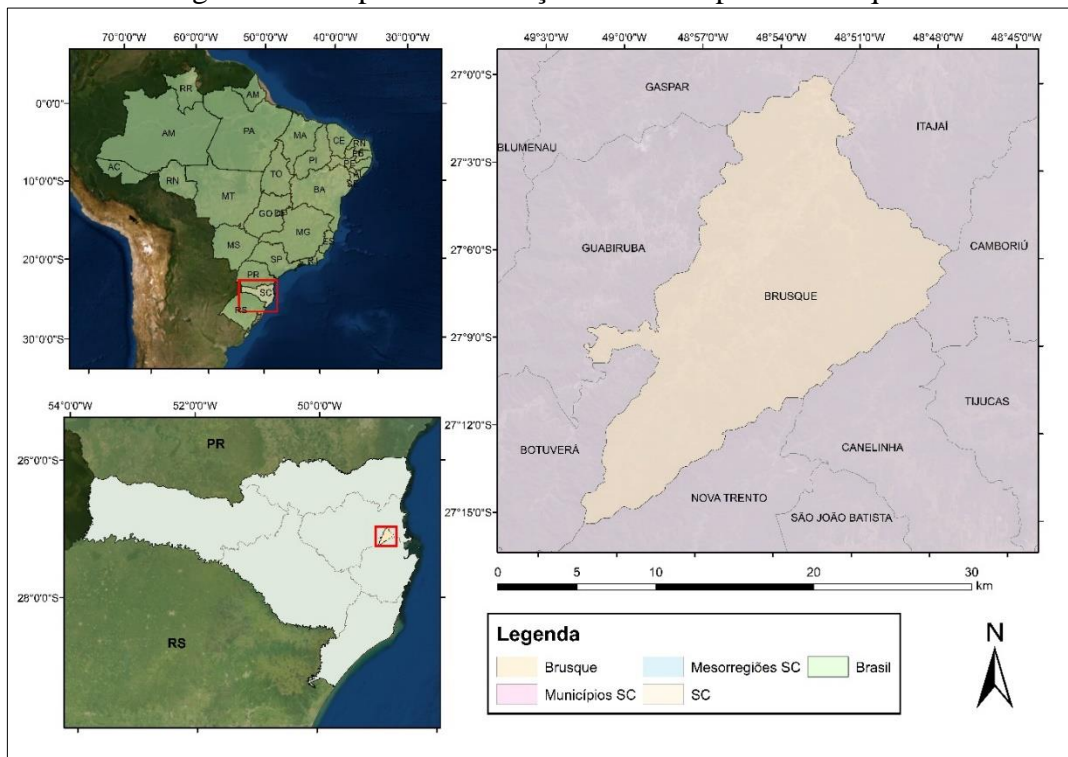
#### 3.1.1 Características gerais do município

O município de Brusque está localizado na mesorregião do Vale do Itajaí, microrregião de Blumenau, com coordenadas geográficas de 27° 5' 52" Sul e 48° 55' 40" Oeste.

O Vale do Itajaí possui área total de 13.003,018 km<sup>2</sup> (BSA Engenharia, 2012) e é uma das 6 mesorregiões quem compõem ao Estado de Santa Catarina; conta com 53 municípios divididos em 4 microrregiões: Itajaí, Ituporanga e Rio do Sul e Blumenau, cuja área total é de 4.752,975 km<sup>2</sup> e é composta por 15 municípios.

Os municípios limítrofes a Brusque são: Guabiruba, Gaspar, Itajaí, Camboriú, Canelinha, Nova Trento e Botuverá, conforme exposto na Figura 18, junto com sua localização.

Figura 18 - Mapa de localização do município de Brusque.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

De acordo com o IBGE, em 2010 população do município era de 105.503 habitantes, com projeção para o ano de 2019 de 134.723 habitantes, já a área total é de 287,749 km<sup>2</sup>, resultando em uma densidade demográfica de 372,51 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

### **3.1.2 Hidrografia**

De acordo com a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável – SDS, o estado de Santa Catarina possui 10 Regiões Hidrográficas. Brusque está localizado na Região Hidrográfica 7 – Vale do Itajaí, que é composta somente por uma bacia hidrográfica, a do Itajaí-Açu.

A Bacia Hidrográfica do Itajaí-Açu é composta por 7 sub bacias, sendo que Brusque pertence a sub-bacia do Itajaí Mirim, que também dá nome ao principal rio que passa pela cidade. O principal fator de degradação ambiental da bacia é a poluição, sobretudo na região de convergência entre os rios Itajaí-Açu e Itajaí-Mirim, dois dos mais importantes cursos hídricos da bacia (SDS, [201]). Essa poluição é oriunda principalmente da atividade industrial presente nos municípios cortados por esses rios, principalmente têxtil e metal mecânica.

No caso de Brusque, o Rio Itajaí Mirim é o principal corpo hídrico que drena a cidade, possuindo um comprimento de 170 km e uma área de bacia de 1.677,20 km<sup>2</sup> (COMITÊ DO ITAJAÍ, 2010).



### 3.1.3 SAA de Brusque

O primeiro órgão responsável pelos serviços de abastecimento de água de Brusque foi o DASA – Departamento Autônomo de Serviço de Água, criado em 1960 e que operou até agosto de 1965, quando a Câmara Municipal de Brusque através da lei nº 183/65 criou o SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto, que é responsável pelo sistema até hoje (SAMAE, 2020).

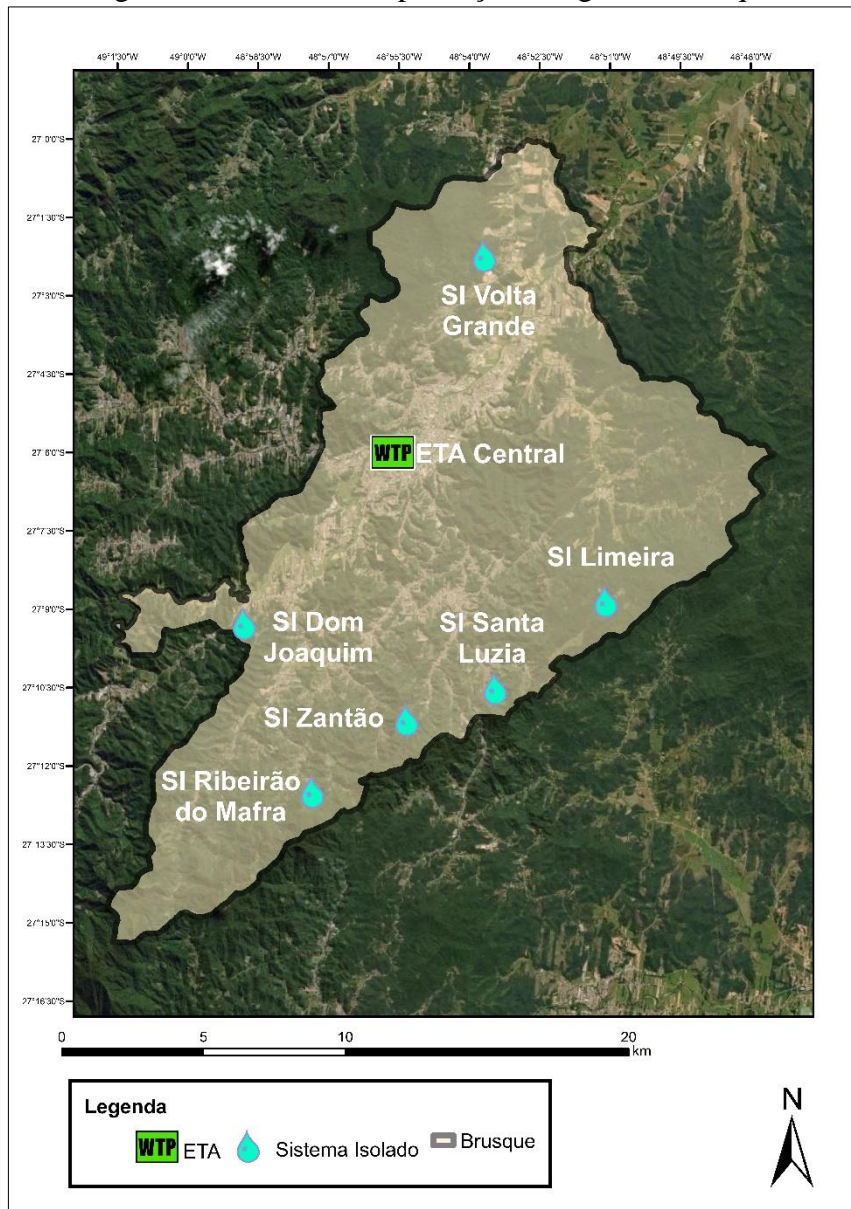
Atualmente o sistema conta com uma ETA Central e seis sistemas isolados, onde cada ponto possui captação e tratamento. A porcentagem de produção de água em cada sistema pode ser observada na Tabela 2 e suas localizações na Figura 19. A produção total do sistema abastecimento é de pouco mais de 298,95 l/s (SNIS, 2018), atendendo 100% da área urbana e 96% da área total do município.

Tabela 2 - Sistemas de produção de água de Brusque, 2019.

<b>ETA/ Sistema Isolado</b>	<b>% da produção de água</b>
<b>ETA Central</b>	72,54
<b>Limeira</b>	6,14
<b>Zantão</b>	3,91
<b>Santa Luzia</b>	3,91
<b>Volta Grande</b>	3,91
<b>Cedro Alto</b>	3,07
<b>Bateas</b>	0,39

Fonte: SAMAE (2020).

Figura 19 - Sistemas de produção de água de Brusque.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

### 3.1.3.1 Captação de água bruta

A captação de água bruta para a ETA Central é realizada no Rio Itajaí-Mirim, no bairro Guarani; há no local uma pequena barragem de pedra e um canal de derivação onde a água é bombeada para dois poços de armazenamento, e então recalçada para a ETA. Essa EAB possui 2 bombas, com potência de 100 cv cada. O transporte da água da EAB até a ETA é realizado por três adutoras com comprimento aproximado de 1200m, sendo duas com diâmetro de 250mm e uma com 400mm (SAMAE, 2020).

Figura 20 – Captação de água bruta.



Fonte: BSA Engenharia (2012).

Figura 21 – Elevatória de água bruta.

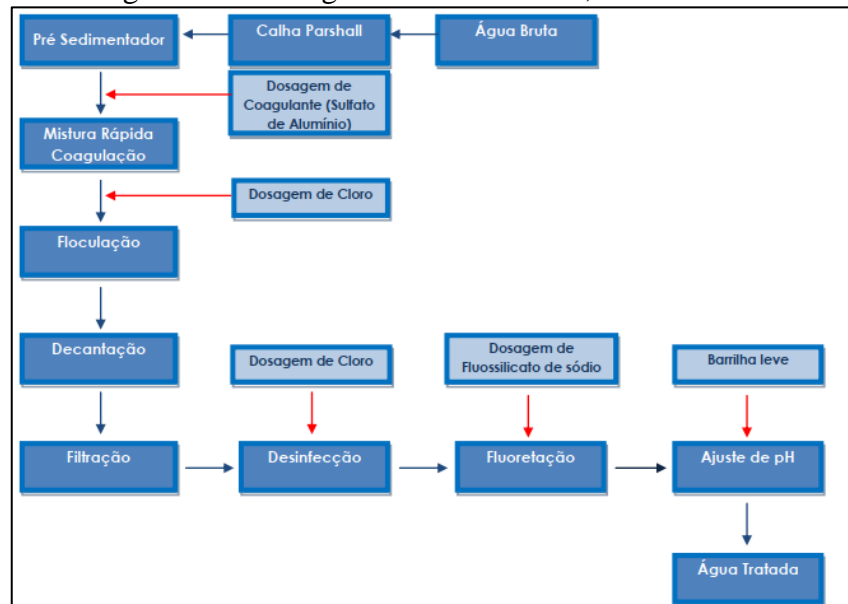


Fonte: BSA Engenharia (2012).

### 3.1.3.2 Estação de tratamento de água – ETA

A ETA encontra-se localizada no bairro Centro e o processo de tratamento é do tipo convencional de ciclo completo, composta pelas etapas de pré-sedimentação, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e ajuste do pH, conforme fluxograma exposto na Figura 22.

Figura 22 - Fluxograma de tratamento, ETA Central.



Fonte: BSA Engenharia (2012).

Atualmente o sistema encontra-se operando em sua capacidade nominal máxima, tratando uma vazão média de 300 L/s (SAMAE, 2020). As figuras abaixo são da ETA em questão.

Figura 23 - Pré-Sedimentador.



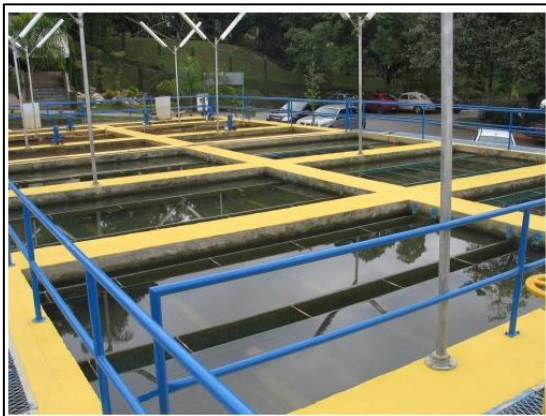
Fonte: BSA Engenharia (2012).

Figura 24 - Floculadores.



Fonte: BSA Engenharia (2012).

Figura 25 - Decantadores



Fonte: BSA Engenharia (2012).

Figura 26 - Filtros.



Fonte: BSA Engenharia (2012).

### 3.1.3.3 Sistema de reservação

O sistema de reservação do município é formado por 61 unidades operacionais, incluindo reservatórios de grande porte até cisternas anexas as EAT – Estações Elevatórias de Água Tratada. O volume total de reservação do sistema é de 16.690 m, sendo que os 10 maiores reservatórios existentes no sistema são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dez maiores unidades de reservação do município.

<b>Nome / Local</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
<b>R5 – ETA</b>	6.500
<b>R4 – ETA</b>	3.000
<b>Nova Brasília</b>	2000
<b>SI Limeira</b>	1000
<b>Cisterna 01 – ETA</b>	917
<b>Bruschal</b>	500
<b>Bairro Zantão</b>	445
<b>Cisterna 02 – ETA</b>	405
<b>Cisterna 03 – ETA</b>	405
<b>Bairro Cedro Alto</b>	275

Fonte: SAMAE (2020).

#### 3.1.3.4 Sistema de bombeamento

Existem atualmente 56 unidades operacionais denominadas Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT) e Boosters, sendo as mais importantes delas a EAT 004 – que abastece o R4 e R5, os dois maiores reservatórios do Sistema, 6500 e 3000 m<sup>3</sup> de volume útil – e a EAT 006, que abastece o R-NB02 com um volume útil de 2000 m<sup>3</sup>.

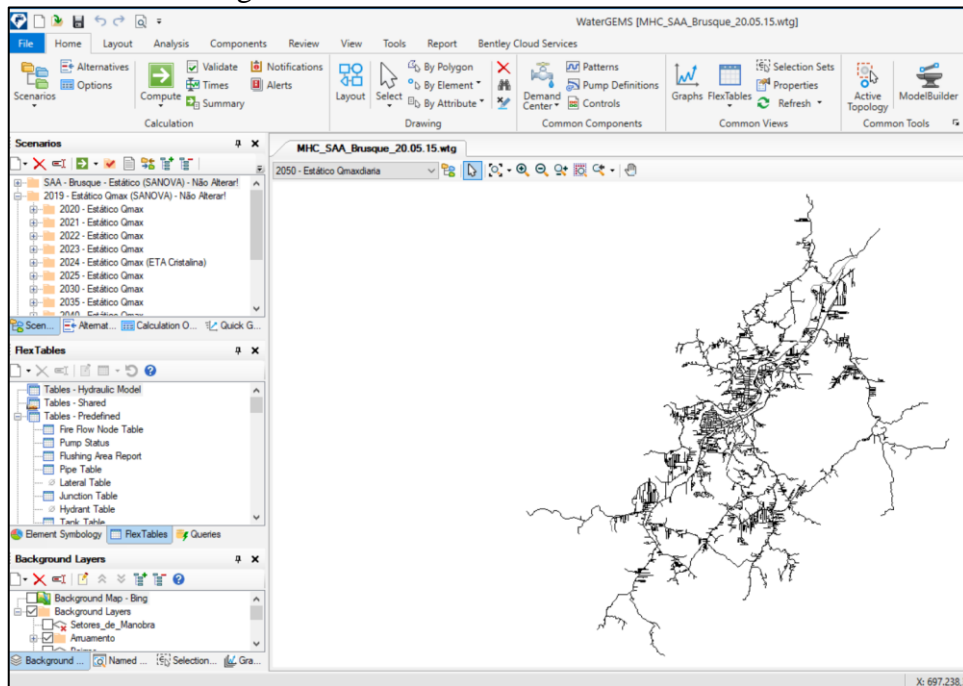
#### 3.1.4 Aplicação dos Indicadores de Desempenho no SAA do município

Para que fosse possível ter uma noção global da gestão de perdas no SAA de Brusque, foram utilizados a metodologia de análise dos ID descrita por Ferreira (2017) (tópico 2.6). Os dados para essa avaliação foram retirados do SNIS (2018) e em consulta com o SAMAE.

#### 3.1.5 Modelo Hidráulico

O projeto de modelagem hidráulica desenvolvido pela empresa SANOVA – Soluções para Gestão da Água, utilizou o software Bentley WaterGEMS para construção, calibração e simulação do SAA de Brusque. Esse projeto serviu de base para a realização das simulações hidráulicas realizadas neste trabalho.

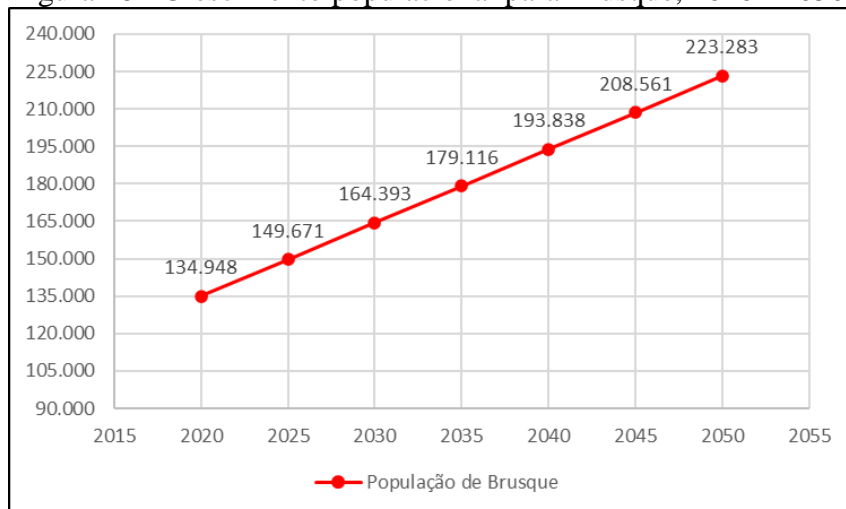
Figura 27 – Interface do modelo hidráulico.



Fonte: SANOVA (2019).

O escopo do projeto consistiu em simular como o SAA irá se comportar até o ano de 2050, considerando o crescimento populacional (Figura 28) projetado para o município - crescimento este calculado pela empresa através de projeções estatísticas - e sugerir medidas que aperfeiçoassem o abastecimento no município.

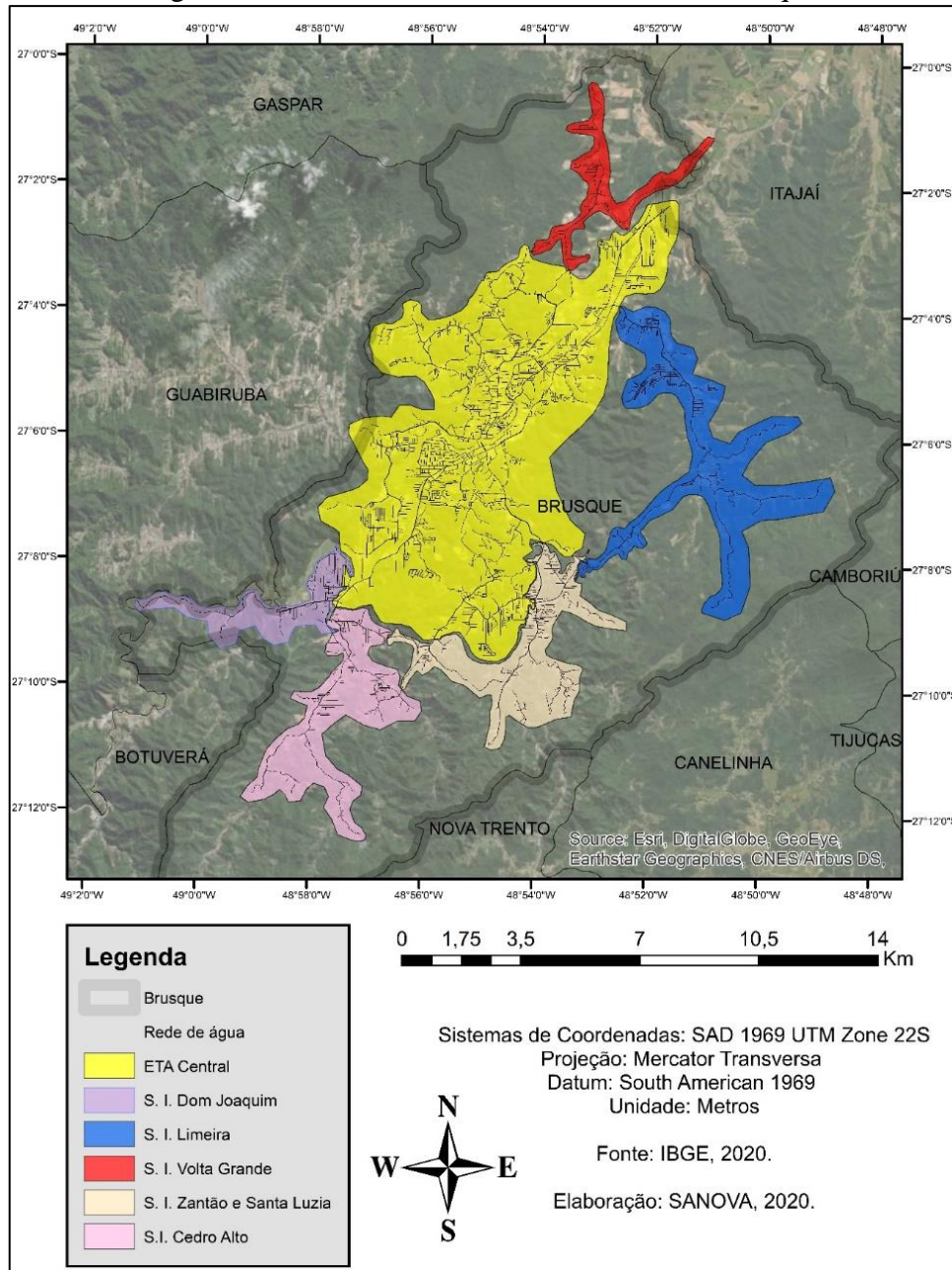
Figura 28 - Crescimento populacional para Brusque, 2020 - 2050.



Fonte: SANOVA (2019).

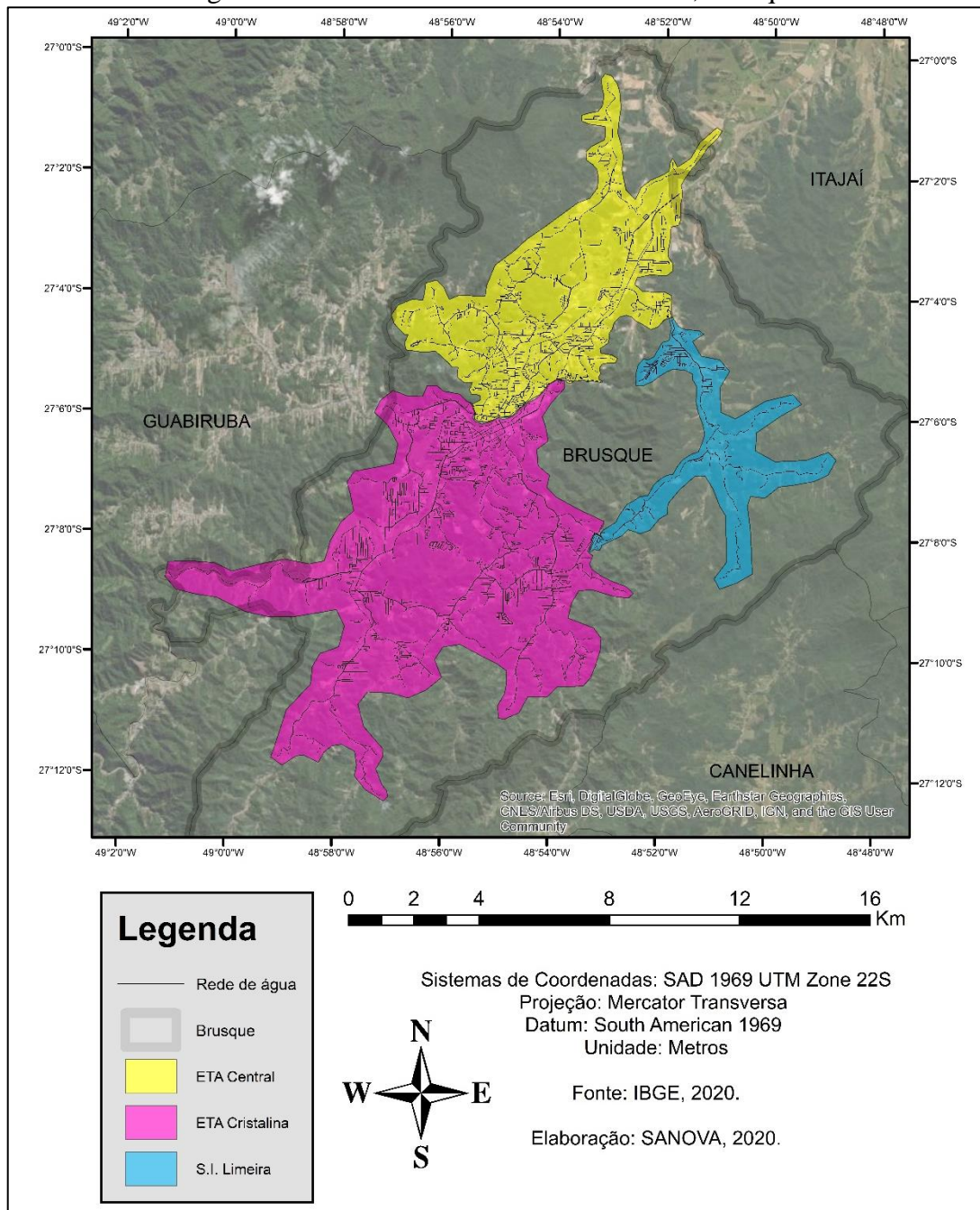
Além das simulações baseadas no crescimento populacional do município, também foi simulada uma nova configuração para o abastecimento de Brusque, já que a partir de 2024 a nova ETA Cristalina, com capacidade de produzir 400 l/s (SANOVA, 2020), deverá ser implantada. Com isso, 5 dos 6 SIs serão desativados e o sistema será abastecido pelas ETAs Central, Cristalina e ETA, como observado na Figura 29 e na Figura 30.

Figura 29 – Setores atuais de abastecimento, Brusque.



Fonte: SANOVA (2020).

Figura 30 – Novos setores de abastecimento, Brusque.



Fonte: SANOVA (2020).

Os principais parâmetros analisados pela empresa foram a perda de carga [m/km] e a pressão disponível na rede [mca], que resultaram em sugestões de intervenções a serem executadas pelo SAMAE, a fim de minorar a saturação das redes de distribuição. Essas intervenções são desde troca de redes até instalação de novas bombas, e estão expostas na Tabela 4. Outro importante resultado foi a criação de DMCs, para otimizar a operação do sistema como um todo.



Tabela 4 - Intervenções sugeridas para o SAA.

<b>CÓDIGO</b>	<b>AÇÃO</b>
<b>BD</b>	Desativar Bomba
<b>BN</b>	Nova Bomba
<b>BT</b>	Troca de Bomba
<b>IF</b>	Inversor de Frequência
<b>RC</b>	Corte / Desativação Rede
<b>RN</b>	Nova Rede
<b>RT</b>	Troca de Rede
<b>RSA</b>	Criar / Ampliar Reservatório
<b>RSD</b>	Desativar Reservatório
<b>ST</b>	Setorização
<b>VRP</b>	Instalar / modificar VRP

Fonte: SANOVA (2020).

### 3.2 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO

A área foi escolhida de maneira conjunta com o SAMAE de Brusque, e levou em conta os seguintes critérios:

- Setorização do SAA indicada pela SANOVA, no projeto de modelagem hidráulica;
- Presença de macromedidores na área de estudo e margem de erro em suas leituras;
- Viabilidade de execução das intervenções consideradas vitais para o combate as perdas.

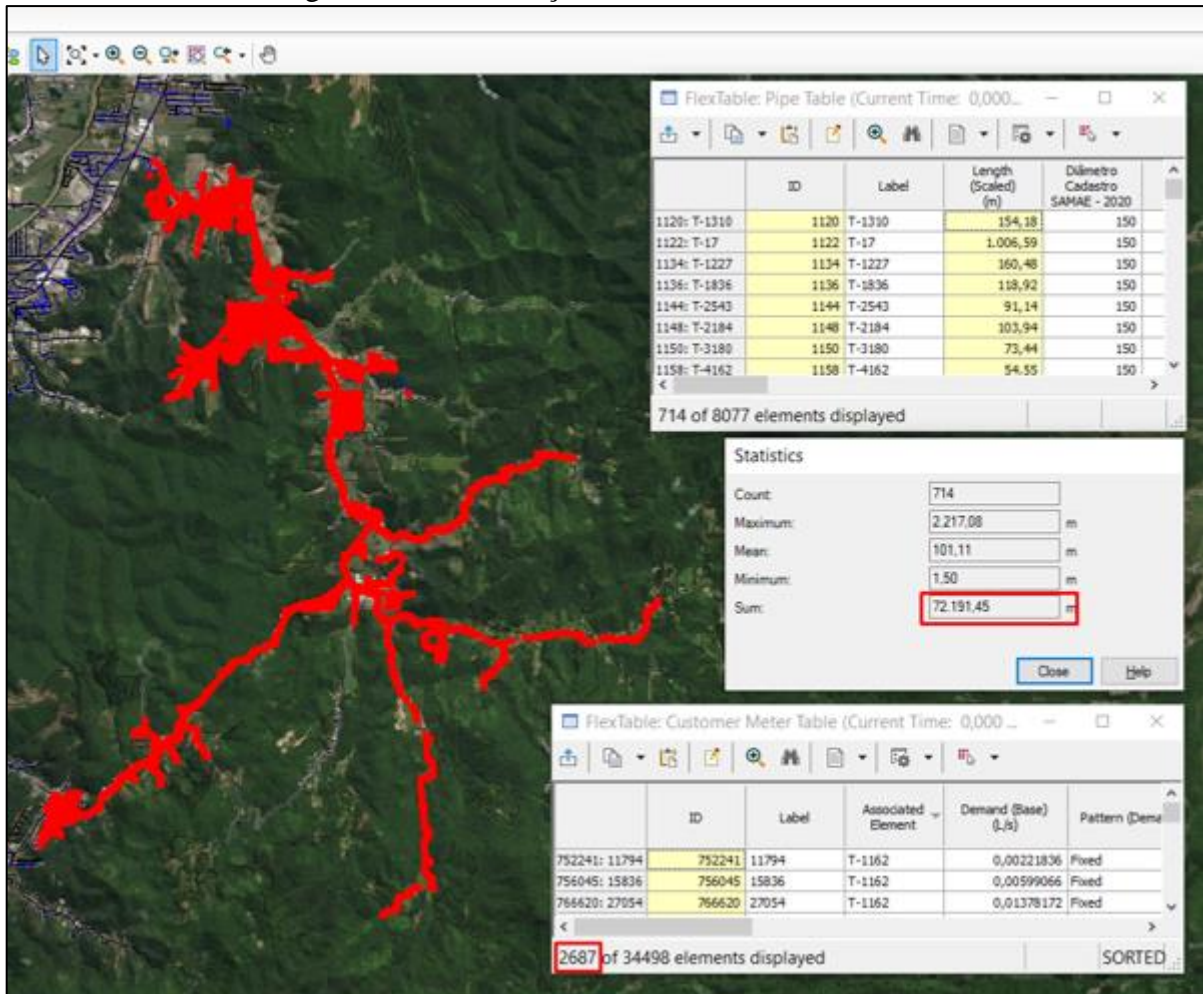
Baseado nesses pontos foi escolhida a área de influência do SI Limeira - futura ETA Limeira - que será o único dos 6 atuais SIs a permanecer ativo após a nova configuração do SAA. Também foi levada em conta a facilidade de alteração da topologia atual das redes para transformar esta área em um DMC.

A NBR 12218/2017 preconiza que um DMC possua comprimento máximo de 25 km de rede ou 5000 ligações, mas que esses parâmetros possam ser alterados devido a características específicas de redes, desde que estabelecidos pela operadora.

Para obtenção destes dados da área de estudo, utilizou-se as ferramentas *Trace Downstream* e *Find Associated Customer Meters* do software *WaterGEMS*, que resultou 2687 consumidores e 72,191 km de rede no SI Limeira.

Apesar de uma extensão de rede considerável, a densidade de ligações neste local é baixa e a já citada facilidade de transformar o sistema isolado em um DMC, como será mostrado a seguir, ratificam a escolha desse local para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 31 – Delimitação e dados da área de estudo.

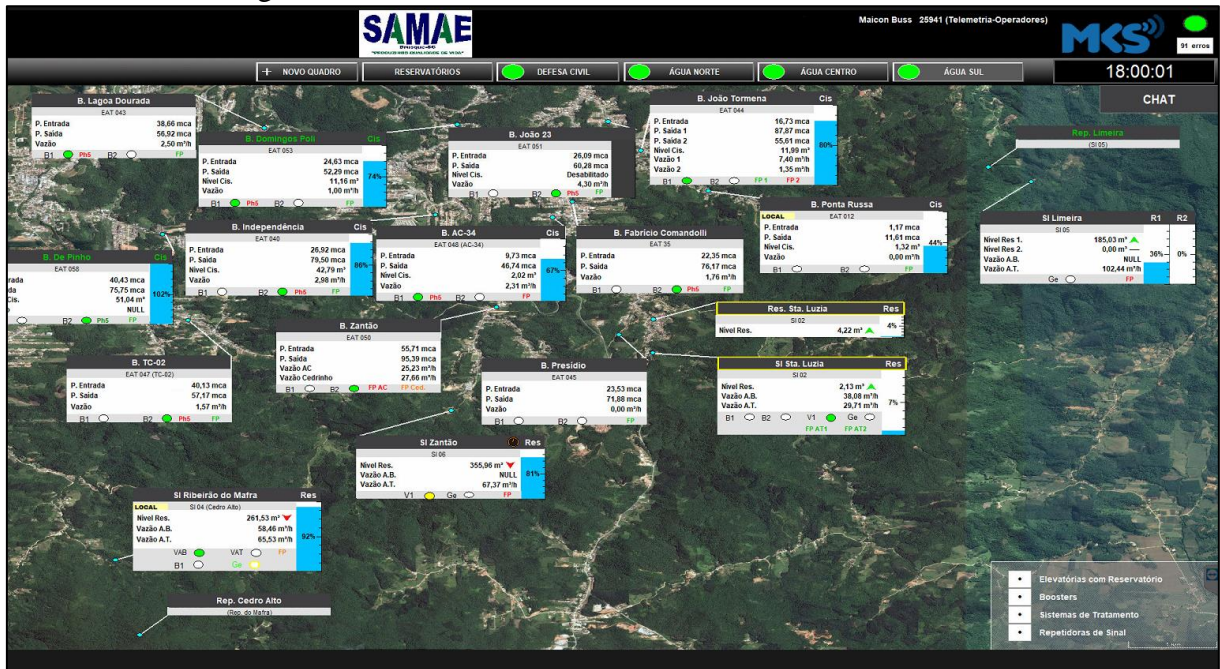


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Outro fator levado em conta foi a quantidade de macromedidores na área de estudo: já existiam dois macromedidores no SI e durante as conversas com a equipe do SAMAE foi definido que outros cinco seriam instalados. As datas e locais podem ser observados na e na Figura 33 e na Tabela 5.

Todos os macromedidores estão conectados ao sistema de telemetria do SAMAE, sistema que é operado pela MKS Engenharia (Figura 32).

Figura 32 – Interface do sistema de telemetria do SAMAE.



Fonte: SAMAE (2020).

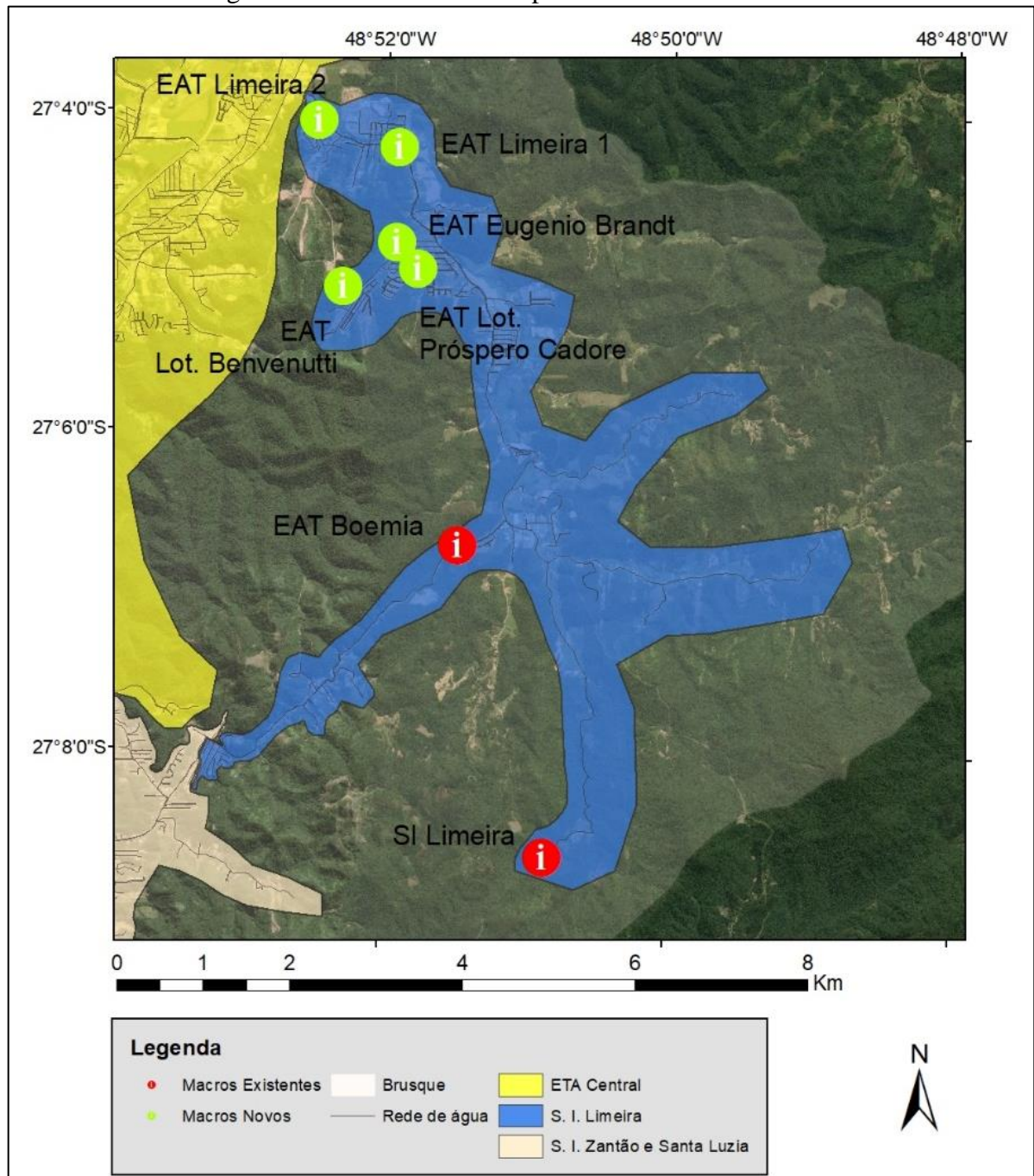
Com o total de sete macromedidores na área de estudo, há uma cobertura maior dos pontos críticos do sistema, o que possibilitou leituras não só de dados de vazão, mas também pressão de entrada e saída, já que seis macromedidores foram instalados em EATs, facilitando assim análises mais realistas de zonas de interesse do sistema, como por exemplo, áreas elevadas.

Tabela 5 – Local dos macromedidores do SI.

LOCAL	DATA DE INSTALAÇÃO
<b>SI Limeira</b>	Existente
<b>EAT Boemia</b>	Existente
<b>EAT Lot. Próspero Cadore</b>	06/02/2020
<b>EAT Lot. Benvenuto</b>	14/02/2020
<b>EAT Eugênio Brandt</b>	06/02/2020
<b>EAT Limeira 01</b>	07/02/2020
<b>EAT Limeira 02</b>	11/02/2020

Fonte: SAMAE (2020).

Figura 33 – Macromedidores presentes na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

### 3.3 DELIMITAÇÃO DO DMC

O SI Limeira apresenta duas zonas limítrofes com outros sistemas de produção de água: a oeste, próximo à esquina das Ruas Poço Fundo e Arlindo Tormena e ao norte próximo da esquina da Rua Alberto Muller e Rodovia Antônio Heil - ambas as áreas são delimitadas por registros.

Na configuração normal do sistema, a fronteira oeste permanece fechada. Na fronteira norte há influência da ETA Central na área de estudo, onde o registro RLI05M permanece aberto para que haja um reforço do abastecimento desta região, visto que em momentos de consumo elevado, a vazão produzida pelo SI não é suficiente para abastecer a região em sua totalidade.

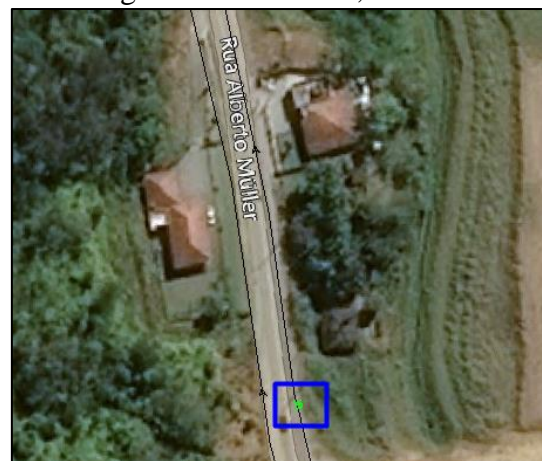
Para isolar a área e deixá-la estanque, possibilitando a utilização de ferramentas como o Balanço Hídrico para avaliação das perdas (GOMES, 2019), o registro RLI05M (Figura 34) foi fechado e o registro RLI18M (Figura 35) aberto, de maneira que a água produzida no SI Limeira fosse responsável pelo abastecimento da área de estudo em sua totalidade. As manobras de isolamento foram realizadas pela área técnica do SAMAE no dia 25 de junho de 2020.

Figura 34 - RLI05M, fechado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 35 - RLI18M, aberto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

### 3.4 DIAGNÓSTICO DAS PERDAS NO DMC

A ideia inicial do trabalho, seria que após o isolamento da área através das manobras de registro, fosse realizado o diagnóstico das perdas no DMC utilizando métodos complementares: o Balanço Hídrico, que foca nas perdas aparentes, e as Vazões Mínimas Noturnas, com foco nas perdas reais.

Porém, com a impossibilidade de deixar a área estanque devido a despressurização da porção norte do SI Limeira, foi necessário reverter as manobras dos registros RLI05M e RLI18M, permitindo o abastecimento do setor pelas águas da ETA Central. Informações mais completas sobre a reversão das manobras estão no tópico 4.2.

Essa modificação impossibilita a utilização dos métodos do BH e da VMN na área previamente definida, já que de acordo com Thornton, Sturm e Kunkel (2008), para que a comparação entre os métodos *Top-Down* e *Bottom-Up* – um dos objetivos específicos deste trabalho – seja eficaz, a área de estudo deve ser um DMC, ou seja, possuir fontes de abastecimento com macromedição instalada. Foi necessário então, escolher uma nova área para execução dos diagnósticos e que respeitasse os parâmetros necessários.

O local escolhido foi a área de influência da EAT Boemia (Figura 45), que atualmente já é um DMC, por possuir um macromedidor em sua única entrada de água. Outro motivo para sua escolha foi que a análise do FP indicou chances de vazamento naquela área, aumentando a importância da análise da VMN. Mais informações sobre a análise e resultados do FP estão nos tópicos 3.5.1.3.1 e 4.4.1.2.1, respectivamente.

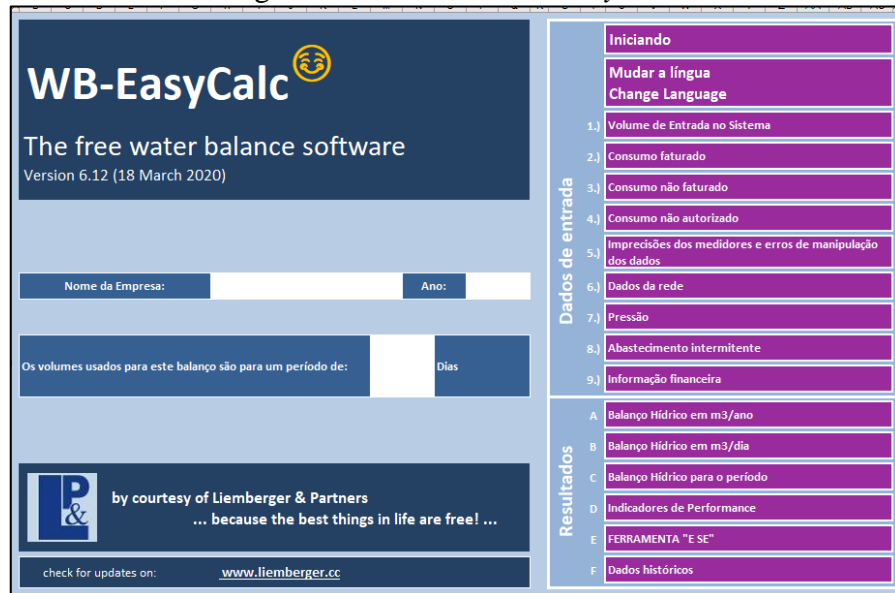
O BH foi realizado considerando um período de 12 meses: entre outubro de 2019 e setembro de 2020; de acordo com a AESBE (2015), como o BH é um tipo de balanço de massa, trabalhar com dados anuais possibilita que os erros sazonais de consumo e as diferenças de leituras entre os micros e macromedidores sejam dispersados. Já a VMN foi calculada para o dia 15 de outubro de 2020.

#### 3.4.1 Balanço Hídrico – BH (Análise *Top-Down*)

Utilizou-se a metodologia da IWA e o software *WB-EasyCalc* (Figura 36) para elaboração do Balanço Hídrico. O software calcula os índices de consumo autorizado e não autorizado, além da porcentagem de perdas no local e períodos analisados, diferenciando-as

entre perdas reais e aparentes. Os resultados são apresentados na forma da Matriz do Balanço Hídrico (Figura 5).

Figura 36 - Interface *WB-EasyCalc*.



Fonte: *WB-Easy Calc* (2020).

O software discrimina os dados de entrada em nove grupos, que ainda são divididos em subgrupos, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Dados de entrada, *WB EasyCalc*.

<b>GRUPOS DE DADOS DE ENTRADA</b>	<b>SUBGRUPOS DE DADOS</b>
<b>1. Volume de entrada no sistema</b>	1.1 Fonte de Água; 1.2 Margem de erro.
<b>2. Consumo faturado</b>	2.1 Consumo medido faturado; 2.2 Consumo medido não faturado.
<b>3. Consumo não faturado</b>	3.1 Consumo medido não faturado; 3.2 Consumo não medido não faturado.
<b>4. Consumo não autorizado</b>	4.1 Ligações clandestinas; 4.2 Hidrômetros violados, <i>by-passes</i> , etc. em clientes registrados; 4.3 Consumo médio per capita [l/hab/dia].
<b>5. Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados</b>	5.1 Submedição; 5.2 Margem de erro.
<b>6. Redes de distribuição</b>	6.1 Comprimento de rede [km]; 6.2 Comprimento médio do ramal [m]; 6.3 Número de clientes registrados; 6.4 Número de clientes ativos; 6.5 Número de clientes inativos; 6.6 Margem de erro.

<b>GRUPOS DE DADOS DE ENTRADA</b>	<b>SUBGRUPOS DE DADOS</b>
<b>7. Pressão na rede</b>	7.1 Pressão média na rede; 7.2 Número de ligações; 7.3 Margem de erro.
<b>8. Abastecimento intermitente</b>	8.1 Número de ligações aproximado; 8.2 Tempo de abastecimento [dias por semana]; 8.3 Tempo de abastecimento [horas por dia].
<b>9. Dados Financeiros</b>	9.1 Tarifa média de água; 9.2 Custo variável de produção e distribuição

Fonte: Adaptado de *WB-Easy Calc* (2020).

A metodologia para o preenchimento dos dados necessários está exposta a seguir.

### 3.4.1.1 *Volume de Entrada no Sistema*

#### 3.4.1.1.1 Fonte de água

Os dados de volume de entrada foram retirados da telemetria, que apresenta os dados registrados pelo macromedidor instalado na saída das tubulações de interesse.

#### 3.4.1.1.2 Margem de erro

Corresponde ao erro de medição encontrado em macromedidores que passam muito tempo sem manutenção adequada.

Na Figura 37, é exibido o do procedimento de pitometria realizado pela empresa SANOVA em agosto de 2019, na saída do reservatório do SI Limeira. O erro verificado no macromedidor foi de 3,02%.



Figura 37 – Procedimento de Pitometria na saída do Reservatório.



Fonte: SANOVA (2019).

### 3.4.1.2 *Consumo Faturado*

#### 3.4.1.2.1 Consumo medido faturado

O consumo faturado foi retirado das leituras dos consumos micromedidos, restrito as ligações ativas presentes na área de influência da EAT Boemia. Para obtenção destes dados, foram selecionados no modelo hidráulico as ligações abastecidas pela EAT Boemia e os consumos foram retirados da lista de ligações gerada pela empresa SANEGRAPH, através do software FOXFAT, atualmente utilizado pelo SAMAE para a gestão comercial do sistema.

#### 3.4.1.2.2 Consumo não medido faturado

O consumo não medido faturado diz respeito às vendas de água que a concessionária pode realizar dentro da sua operação, por exemplo, através de caminhões pipas em momentos de emergência/desabastecimento ou até fornecimento de água para grandes eventos.

### 3.4.1.3 *Consumo Não Faturado*

#### 3.4.1.3.1 Consumo medido não faturado

É caracterizado pelas ligações isentas, geralmente ligações públicas, como escolas e postos de saúde/hospitais, órgãos públicos e até ligações do próprio SAMAE

#### 3.4.1.3.2 Consumo não medido não faturado

Nessa categoria constam operações do SAMAE, como limpezas de reservatórios e descargas de rede.

### 3.4.1.4 *Consumo Não Autorizado*

O consumo não autorizado leva em consideração as notificações de ligações clandestinas, hidrômetros violados e *by-passes* detectados pelo SAMAE.

#### 3.4.1.4.1 Consumo médio per capita [l/hab/dia]

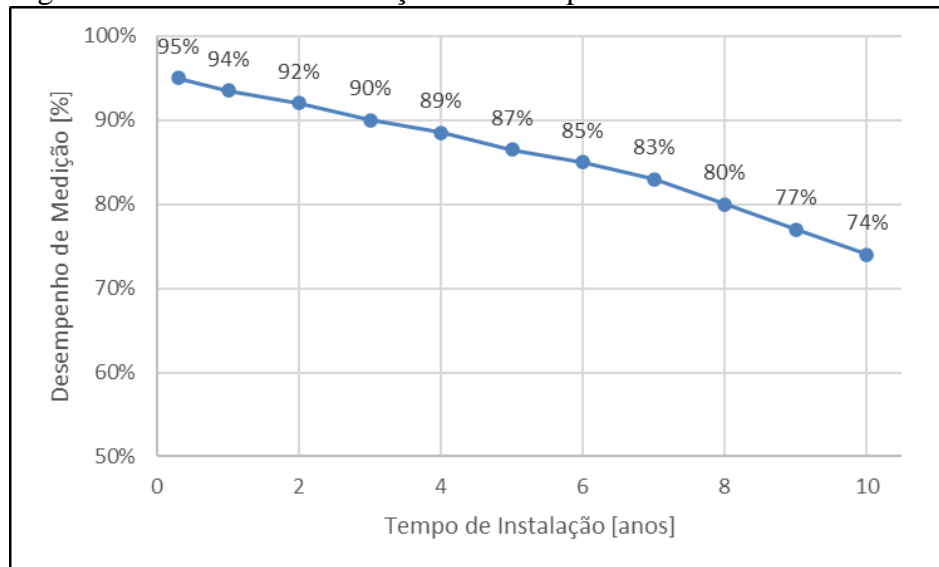
Foram utilizados os dados calculados pela SANOVA, em seu Estudo Populacional e de Demanda, onde o consumo médio per capita ao longo dos últimos 10 anos foi de 149,07 [l/hab.dia]

### 3.4.1.5 *Imprecisões dos medidores e erros de manipulação de dados*

#### 3.4.1.5.1 Submedição

Primeiramente foi calculada a idade média do parque de hidrômetros. Como o SAMAE não possui uma metodologia própria e não realiza um acompanhamento da eficiência de medição do parque de hidrômetros, foi utilizada uma curva de desempenho sugerida pela AESBE, estimada através de dados de três companhias de saneamento: COPASA, SANEPAR e CAESB.

Figura 38 - Curva de submedição de desempenho de leitura em hidrômetros.



Fonte: Adaptado de AESBE (2015).

Então, foi calculada a idade média ponderada do parque de hidrômetros, para só então aplicar o valor médio de submedição. Os valores calculados para cada mês são observados na Tabela 7, e o aumento de eficiência de 1,5% entre os meses de junho e julho é justificado pela troca de hidrômetros realizada nos meses de junho e julho, como será explicado mais à frente.

Tabela 7 - Valores de Submedição, mensais.

<b>MÊS</b>	<b>DESEMPENHO MEDIÇÃO</b>
<b>Junho</b>	88,3%
<b>Julho</b>	89,8%
<b>Agosto</b>	89,5%
<b>Setembro</b>	89,3%
<b>Outubro</b>	89,2%
<b>Novembro</b>	89,1%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

#### 3.4.1.5.2 Margem de erro

Foi adotado o valor de 5%, valor esse estipulado pelo INMETRO através da portaria nº 246/2000, como o erro máximo que um hidrômetro multijato Classe B e vazão nominal de

1,5 m<sup>3</sup>/h pode apresentar em sua leitura – para mais ou para menos – sem que seja necessário realizar sua troca.

#### 3.4.1.6 *Redes de distribuição*

##### 3.4.1.6.1 Comprimento de rede [km]

O comprimento de rede foi retirado do software.

##### 3.4.1.6.2 Comprimento médio do ramal [m]

Em conversas com a equipe do SAMAE, foi decidido utilizar um comprimento padrão de 1,50 metros. Esse valor foi retirado do Código de Obras de Brusque (2019) como largura padrão mínima dos passeios, justificado pelo fato que redes em sua maioria são assentadas próximas ao limite das vias e dos passeios. Como essa largura, apesar de padrão, varia bastante dependendo do tipo e largura de via, foi adotado uma margem de erro de 25%.

##### 3.4.1.6.3 Número de clientes registrados, ativos e inativos.

Os dados aqui utilizados foram obtidos no item 3.4.1.2.1, e separados conforme a situação da ligação. O número de clientes registrados é o resultado da soma dos clientes ativos e inativos.

##### 3.4.1.6.4 Margem de erro

Como o número de ligações foi obtido através do software, que por sua vez utiliza as coordenadas georreferenciadas de cada cliente, utilizou-se uma margem de 1% para cobrir eventuais erros de cobertura de GPS ou cadastro.

#### 3.4.1.7 *Pressão na rede*

#### 3.4.1.7.1 Pressão média na rede

A pressão média na rede foi obtida através dos *dataloggers* de pressão que foram instalados durante o período de realização deste trabalho.

#### 3.4.1.7.2 Número de ligações

O número de ligações foi retirado do tópico 3.4.1.6.3.

#### 3.4.1.7.3 Margem de erro

Utilizado um valor de 5% de margem, para cobrir eventuais falhas cadastrais que possam resultar em resultados divergentes na modelagem.

#### 3.4.1.8 *Abastecimento Intermitente*

Esse tópico não foi preenchido já que a área analisada apresenta abastecimento contínuo, sem episódios de interrupção recorrentes.

#### 3.4.1.9 *Dados Financeiros*

##### 3.4.1.9.1 Tarifa média de água

A tarifa média de água foi retirada do indicador IN005 – Tarifa média praticada do SNIS de 2018, com um valor R\$ 4,78 por m<sup>3</sup>.

##### 3.4.1.9.2 Custo variável de produção o e distribuição

Como o SAMAE não possui essa informação de maneira clara, o valor utilizado foi o do indicador IN003 – Despesa total com os serviços por m<sup>3</sup> faturado. Esse valor no SNIS de 2018 é de R\$ 3,43 por m<sup>3</sup>.

### 3.4.2 Vazões Mínimas Noturnas – VMN (Análise *Bottom-Up*)

Durante os meses de elaboração do trabalho, foram instalados *dataloggers* de pressão na área de influência do SI Limeira em diversos momentos, com o intuito de monitorar as pressões e gerar insumos para análise da atual situação do local, e assim realizar intervenções para otimizar o sistema. Os períodos e localização dos *dataloggers* são apresentados no tópico 3.5.

A data escolhida para análise da VMN foi 15 de outubro de 2020, e de posse de todos os dados dos *dataloggers* e com as informações do macromedidor da EAT Boemia extraídos do sistema de telemetria do SAMAE, foi determinado o Volume Diário de Perdas Reais (VPDR), através da metodologia abaixo:

$$VDPR = FND \times Q \text{ min} \quad (5)$$

Onde:

VDPR é o Volume Diário de Perdas Reais, dado em m<sup>3</sup>/dia;

Fator Noite/Dia (FND) é dado em h/dia;

Q min é a vazão mínima noturna observada no período de análise, em m<sup>3</sup>/h;

Para obter o FND, foram utilizados o somatório das pressões registradas pelos *dataloggers* instalados na área de estudo (Figura 45) através da equação:

$$FND = \sum \left( \frac{Pm \text{ 24h}}{Pm \text{ 3 - 4h}} \right)^{N1} \quad (6)$$

Onde:

Pm 24h retrata a pressão média em cada uma das 24h do dia escolhido para análise;

Pm 3-4h retrata a pressão medida entre as 03h e 04h do dia escolhido para análise;

N1 = Coeficiente exponencial da relação vazão/pressão.

O coeficiente N1, é obtido através da equação que relaciona pressão à vazão dos vazamentos:

$$\frac{Q1}{Q0} = \left(\frac{P1}{P0}\right)^{N1} \quad (7)$$

Onde:

Q0 = Vazão inicial na pressão P0;

Q1 = Vazão final na pressão P1;

Alguns estudos realizados apontam que o expoente N1 pode ser relacionado ao tipo de material das redes, com N1 próximo de 0,5 para tubos metálicos e entre 1,5 e 2,5 para tubulações plásticas (TSUTIYA, 2013), intervalo este esperado para a área deste estudo, já que 100% das tubulações são de PVC ou DEFoFo.

### 3.5 EXECUÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE PERDAS

A proposta inicial deste trabalho tinha como objetivo extrair os resultados obtidos das metodologias do BH e VMN e traçar estratégias de combate as perdas de água no DMC da Limeira. Porém, como não foi possível realizar os diagnósticos nessa área, foi necessário readequar a metodologia de aplicação das estratégias.

As estratégias com intuito de diminuir as perdas reais foram realizadas no setor da Boemia, já que para esses tipos de perdas o ideal é que seja um local monitorado e sem mistura de água (estanque), para que os diagnósticos e monitoramentos sejam precisos. Já referente às perdas aparentes, a análise foi realizada em toda área do SI Limeira, principalmente no que diz respeito à gestão do parque de hidrômetros.

As estratégias foram planejadas e executadas com o intuito de cobrir cada um dos itens descritos na Matriz do BH (Figura 5) tais como: compatibilização do cadastro comercial do SAMAE, otimização do parque de hidrômetros, prospecção ativa de vazamentos e gestão da infraestrutura do DMC.

### 3.5.1 Perdas Reais

#### 3.5.1.1 Monitoramento de Pressões

Mesmo com a instalação dos cinco macromedidores, como citado no tópico 3.2, constatou-se que seria necessário monitorar as pressões na região central do DMC, já que os equipamentos instalados estão localizados mais ao norte da área de estudo (Figura 33).

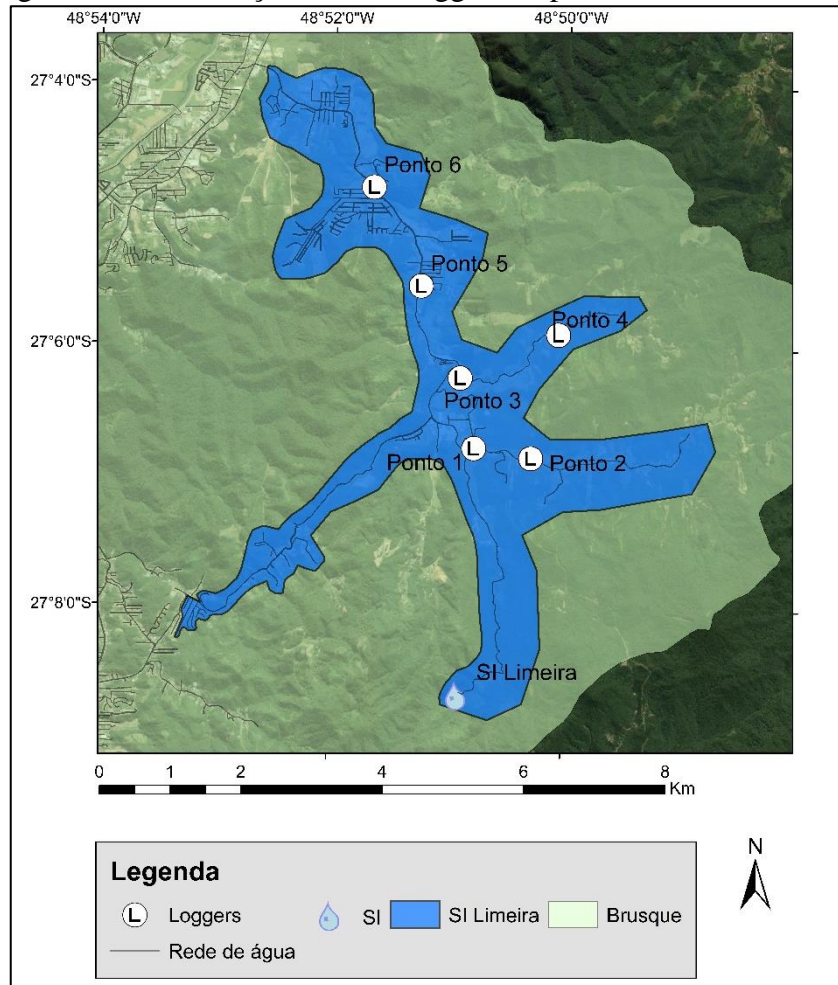
A primeira ação executada então, foi a instalação de *dataloggers* de pressão ao longo do DMC (Figura 39), para monitoramento das pressões na área de estudo. Os equipamentos foram instalados de maneira a mapear as pressões em todos os pontos do sistema, para que com o uso da modelagem hidráulica, fosse possível identificar possíveis vazamentos comparando as pressões simuladas pelo software, com os registros dos *dataloggers*.

Em um primeiro momento, os equipamentos foram instalados nos seguintes períodos distintos: de 17/06/2020 à 24/06/2020 e de 25/06/2020 a 02/07/2020, nos locais exibidos na Figura 39. Além do objetivo supracitado, mapear o comportamento da rede em sua totalidade, os dados coletados serviram para analisar o impacto que a troca de rede realizada na rede adutora de saída do SI, teve nas pressões disponíveis na área de estudo. Essa troca de rede será mais detalhada no tópico 3.5.1.2.

Já no mês de outubro, os *dataloggers* de pressão foram instalados na área de influência da EAT Boemia, pois a análise do FP mostrou indícios de vazamentos na rede. Os dados monitorados foram utilizados no modelo hidráulico para simular possíveis pontos de vazamento, através da ferramenta *Darwin Calibrator*, utilizando o módulo *Leakage Detector*. Mais informações sobre essa análise estão no tópico 3.5.1.3.1.

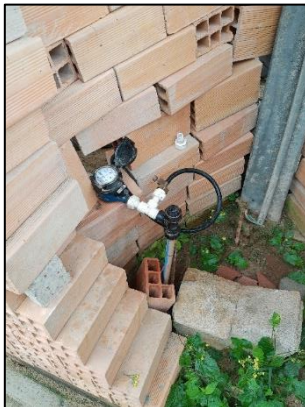


Figura 39 - Localização dos dataloggers de pressão – DMC Limeira.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 40 – Datalogger instalado no ponto 1.



Fonte: Autor (2020).

Figura 41 – Instalação datalogger no ponto 2.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 42 – *Datalogger* instalado no ponto 3.



Fonte: Autor (2020).

Figura 43 – Instalação de *datalogger*, ponto 4.



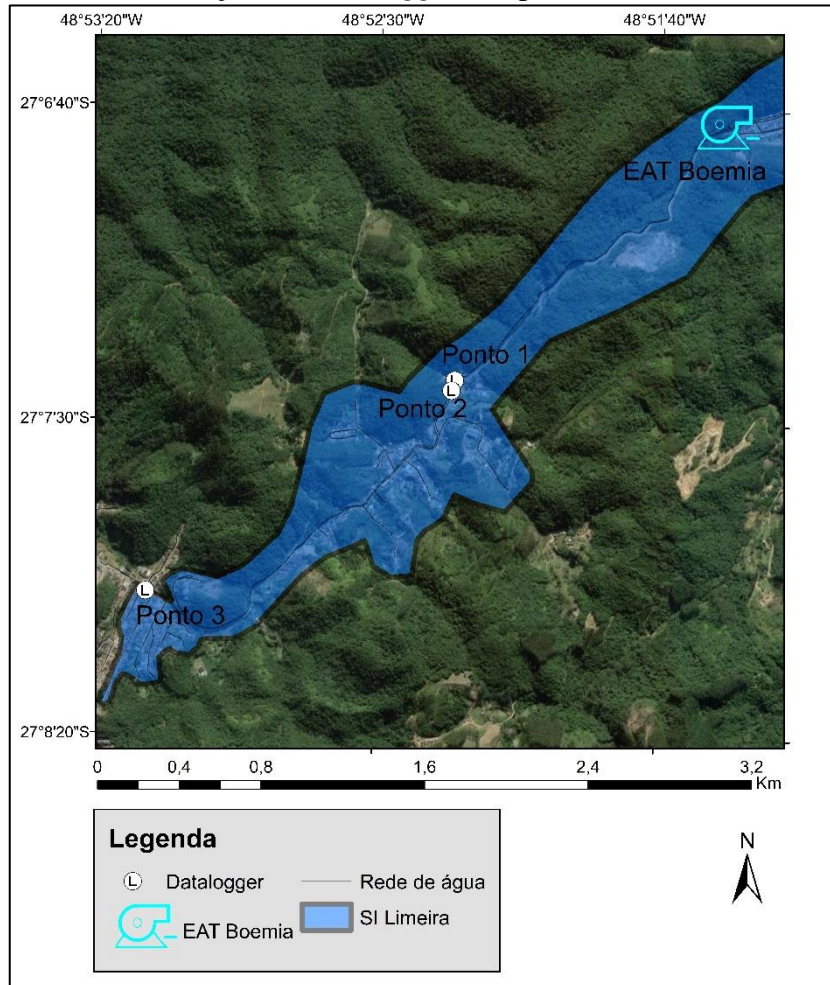
Fonte: Autor (2020).

Figura 44 – *Datalogger* instalado no ponto 5.



Fonte: Autor (2020).

Figura 45 - Localização dos *dataloggers* de pressão – Área EAT Boemia.

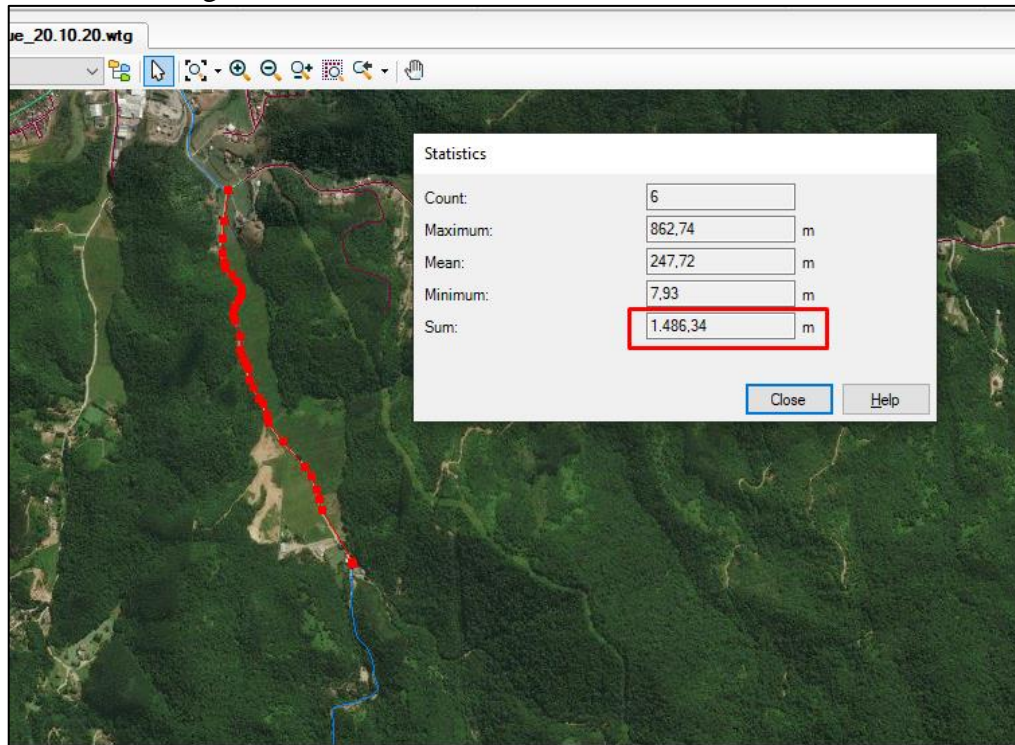


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

### 3.5.1.2 Gestão da Infraestrutura

Um dos resultados do Projeto de Modelagem Hidráulica da SANOVA (2019), na parte de otimização de redes, previa a ampliação do diâmetro em um trecho de aproximadamente 1490 metros de comprimento, de DEFoFo DN150 para DEFoFo DN250 (Figura 46). O trecho localiza-se entre a VRP 008 e a conexão da adução a rede de distribuição do SI Limeira. Essa troca de rede foi executada no dia 24/06/2020 (Figura 47 e Figura 48).

Figura 46 - Trecho de rede a ser trocado, SI Limeira.



Fonte: SANOVA (2019).

Figura 47 - Execução da troca de rede.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 48 - Execução da troca de rede.



Fonte: SAMAE (2020).

Diversos autores citam como principal problema nas redes e que demandam uma intervenção, a deterioração causada pelo envelhecimento das tubulações, Gomes (2019) detalha que os principais problemas gerados por tubulações envelhecidas são:

- Aumento do índice de perdas de água;
- Aumento do índice de perda de carga, devido a incrustação nas paredes das tubulações;

- Aumento do consumo energético nas Estações Elevatórias, já que com maior rugosidade nas tubulações, mais potência é exigida dos conjuntos motobombas para superar as perdas de carga.

Neste caso específico, a troca de rede foi identificada devido a elevada demanda de água da área abastecida pelo SI Limeira, o que gera perdas de carga elevadas na adutora que liga o SI a área de abastecimento. Essa perda de carga já havia sido identificada pelo SAMAE, já que em períodos de elevado consumo, a porção norte do SI Limeira costuma ficar despressurizada nas áreas das EATs, onde a pressão disponível não era suficiente para que as bombas operem e abasteçam as zonas altas.

Através do *software*, a SANOVA (2019) modelou um cenário em período estático, considerando um coeficiente de consumo de 1,8 ( $K1 \times K2$ ), que representa um momento do dia em que a demanda está muito acima da média, e conseqüentemente os índices de perda de carga também. Analisando o cenário simulado pelo software, têm-se que neste trecho de 1490 metros ocorre uma perda de carga de 21,50 m, e a diferença de cota entre os pontos montante (VRP-008) e jusante (interligação) é de aproximadamente 8,58 metros: 43,78 m na VRP e 35,45 na interligação. As cotas de cada ponto foram retiradas do modelo hidráulico, que por sua vez utiliza as curvas de nível 1x1 para interpolação dos valores intermediários.

Ou seja, em uma situação hidraulicamente favorável, deveria existir um ganho de pressão nesse trecho, já que existe diferença de cotas positiva entre eles, e o que acontece é justamente o contrário, uma redução de 76 para 63 mca.

Figura 49 – Antes troca de rede: dados gerais VRP e interligação, respectivamente.

Properties - Junction - N-1910 (467932)		Properties - Junction - N-2653 (1127)	
N-1910		N-2653	
<Show All>		<Show All>	
Property Search		Property Search	
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; &lt;General&gt;</li> <li>&gt; &lt;Geometry&gt;</li> <li>&gt; Active Topology</li> <li>&gt; Demand</li> <li>&gt; Fire Flow</li> <li>&gt; Operational</li> <li>&gt; Physical               <ul style="list-style-type: none"> <li>Elevation (m) 43,78</li> <li>Zone &lt;None&gt;</li> <li>Emitter Coefficient (L/s/(m H2) 0,000</li> </ul> </li> <li>&gt; Pressure Dependent Demand</li> <li>&gt; Transient (Initial)</li> <li>&gt; Water Quality</li> <li>&gt; Cronograma</li> <li>&gt; Results               <ul style="list-style-type: none"> <li>Hydraulic Grade (m) 119,97</li> <li>Demand (m<sup>3</sup>/day) 1,2764</li> <li>Pressure (m H2O) 76,03</li> <li>Pressure Head (m) 76,19</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; &lt;General&gt;</li> <li>&gt; &lt;Geometry&gt;</li> <li>&gt; Active Topology</li> <li>&gt; Demand</li> <li>&gt; Fire Flow</li> <li>&gt; Operational</li> <li>&gt; Physical               <ul style="list-style-type: none"> <li>Elevation (m) 35,45</li> <li>Zone &lt;None&gt;</li> <li>Emitter Coefficient (L/s/(m H2) 0,000</li> </ul> </li> <li>&gt; Pressure Dependent Demand</li> <li>&gt; Transient (Initial)</li> <li>&gt; Water Quality</li> <li>&gt; Cronograma</li> <li>&gt; Results               <ul style="list-style-type: none"> <li>Hydraulic Grade (m) 98,57</li> <li>Demand (m<sup>3</sup>/day) 4,0364</li> <li>Pressure (m H2O) 62,99</li> <li>Pressure Head (m) 63,12</li> </ul> </li> </ul>	

Fonte: SANOVA (2019).

A simulação hidráulica apontou que com a troca da rede para DN250, considerando a mesma demanda e coeficiente de consumo de 1,8, a perda de carga atribuída ao trecho seria reduzida de 21,50 m para 2,89 m, entregando uma pressão 5,44 mca maior que com o DN 150.

Figura 50 - Simulações hidráulicas para o trecho, antes e depois intervenção.

Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/km)	Headloss (m)	Hazen-Williams C	
1186: T-7163	1,51	14,5005	0,13	135,00
467934: T-670	1,51	14,5141	0,16	135,00
538453: T-114	1,51	14,5011	6,94	135,00
538456: T-194	1,51	14,5011	1,65	135,00
538457: T-22	1,51	14,5011	12,51	135,00

Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/km)	Headloss (m)	Hazen-Williams C	
1186: T-7163	0,69	1,9659	0,02	135,00
467934: T-670	0,49	0,8436	0,01	135,00
538453: T-114	0,69	1,9659	0,94	135,00
538456: T-194	0,69	1,9660	0,22	135,00
538457: T-22	0,69	1,9659	1,70	135,00

Statistics	
Count:	5
Maximum:	12,51 m
Mean:	4,28 m
Minimum:	0,13 m
Sum:	21,39 m
Standard Deviation:	5,38 m

Statistics	
Count:	5
Maximum:	1,70 m
Mean:	0,58 m
Minimum:	0,01 m
Sum:	2,89 m
Standard Deviation:	0,73 m

Fonte: SANOVA (2019).

Figura 51 – Após troca de rede: dados gerais VRP e interligação, respectivamente

Property	Value (N-2653)	Value (N-1910)
Elevation (m)	35,45	43,78
Zone	<None>	<None>
Emitter Coefficient (L/s/(m H2O <sup>0,5</sup> ))	0,000	0,000
Hydraulic Grade (m)	117,00	119,89
Demand (m <sup>3</sup> /day)	4,2359	1,2615
Pressure (m H2O)	81,39	75,95
Pressure Head (m)	81,55	76,11

Fonte: SANOVA (2019).

Os *dataloggers* de pressão (Figura 39) foram instalados para verificar se os dados simulados pelo *software* são condizentes com os observados em campo. Porém, como o modelo hidráulico da SANOVA foi realizado utilizando dados de demanda do período de setembro de 2018 a agosto de 2019, e que os dados utilizados para calibração do modelo realizada pela empresa foram coletados em campo entre os meses de agosto e setembro de 2019, foi necessário realizar uma nova calibração para o modelo.

#### 3.5.1.2.1 Calibração do Modelo Hidráulico

O processo de calibração consiste em aproximar os resultados obtidos na simulação hidráulica dos resultados monitorados em campo, através de variações de demandas e de rugosidade das tubulações.

A data utilizada para a calibração foi o dia 18/06, e para esse processo os dados utilizados foram os seguintes:

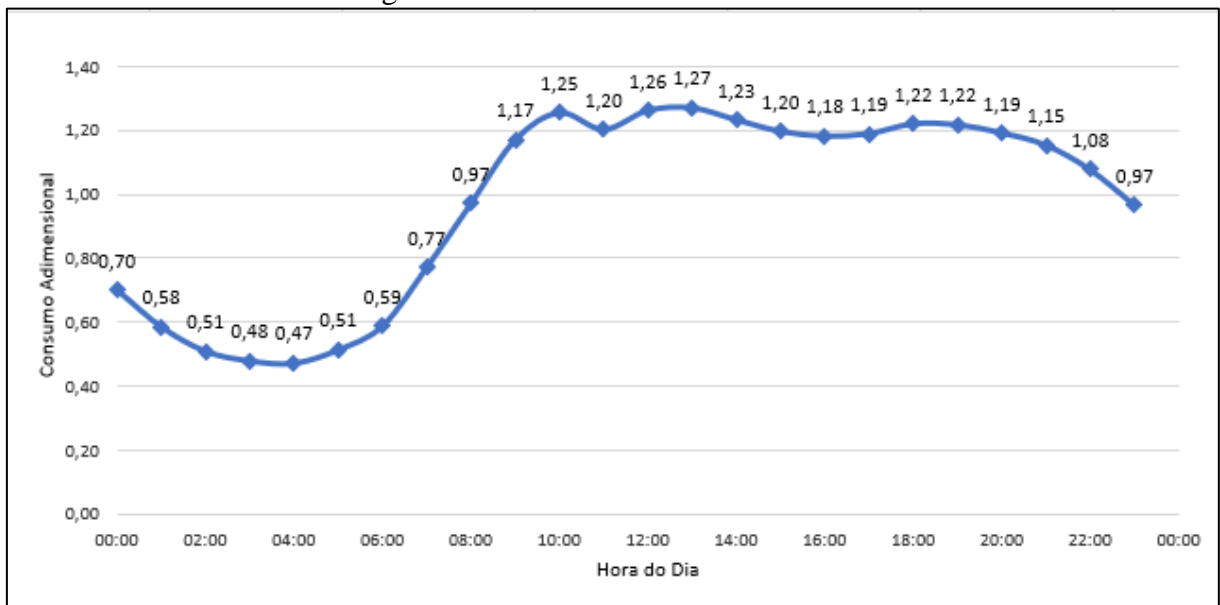
- Pressões registradas pelos *dataloggers*;
- Dados de vazão e volume macromedidos, obtidos da telemetria do SAMAE;

- Consumo micromedido médio dos meses de março, abril e maio de 2020. A justificativa para um período de tempo tão curto, ao invés dos períodos clássicos de mais de 12 meses, é que devido a pandemia, as pessoas ficaram mais em casa, conseqüentemente aumentando o consumo de água, e caso uma amostra maior de meses fosse utilizada para cálculo do consumo médio, as médias seriam menores, não retratando fielmente a realidade do sistema para o mês de junho.

Antes da calibração do modelo, foi necessário atualizá-lo com essas demandas referentes aos meses de março, abril e maio de 2020. Esses volumes foram atualizados diretamente no modelo hidráulico, importando os valores para as 2462 ligações ativas e localizadas na área de estudo. O passo seguinte foi atualizar o padrão de consumo para o dia de análise e distribuir as perdas de água no sistema:

- Para a construção do padrão de consumo do dia 18/06, foram utilizados os dados do macromedidor de saída do SI Limeira, e calculado o consumo médio para o dia em questão. Esse valor foi dividido pelo consumo médio de cada hora do dia (TSUTIYA, 2013), resultando nos coeficientes e curva abaixo:

Figura 52 - Padrão de Consumo - 18/06



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

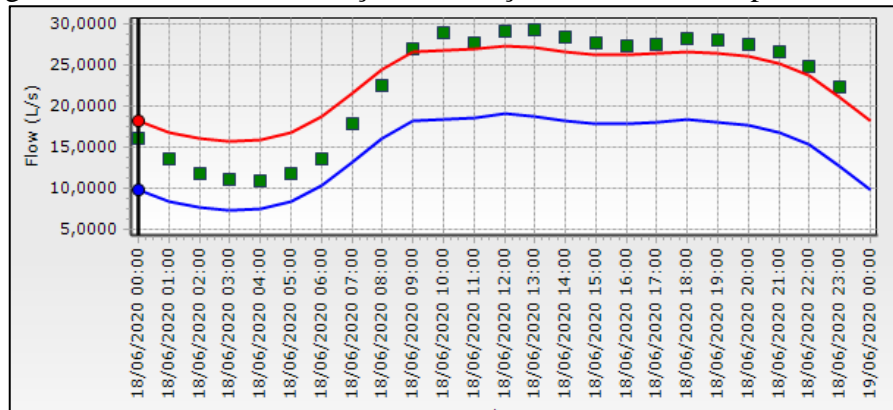


- Para a distribuição das perdas, primeiramente foi retirado da telemetria o valor totalizado de água naquele dia, ou seja, a quantidade de água que passou pelo macromedidor de saída do SI. Esse valor foi atualizado com o fator de correção da pitometria (Tópico 3.4.1.1.2) e comparado com o volume simulado pelo software em cenário estendido, considerando os consumos micromedidos de março a maio e o padrão de consumo. A diferença entre esses dois volumes, macromedido e micromedido, e que é caracterizado como a perda de água, foi atribuído de maneira proporcional aos nós do modelo.
- O volume macromedido corrigido no SI foi de 1994,86 m<sup>3</sup> e o volume simulado no modelo foi de 1275,68 m<sup>3</sup>, resultando em uma diferença de 719,18 m<sup>3</sup> (8,32 l/s). A área de estudo possui no modelo hidráulico 608 nós, o que resultou em uma atribuição de 0,0136 l/s para cada nó.

Com todos os dados inseridos no modelo, foi utilizada a ferramenta *Darwin Calibrator*, que utiliza um algoritmo genético para otimizar os resultados da simulação, trazendo os para mais próximo dos dados observados em campo. Para isso, o algoritmo modifica os coeficientes de rugosidade das tubulações ou a disposição das perdas (vazões atribuídas aos nós), de forma a adequar a simulação.

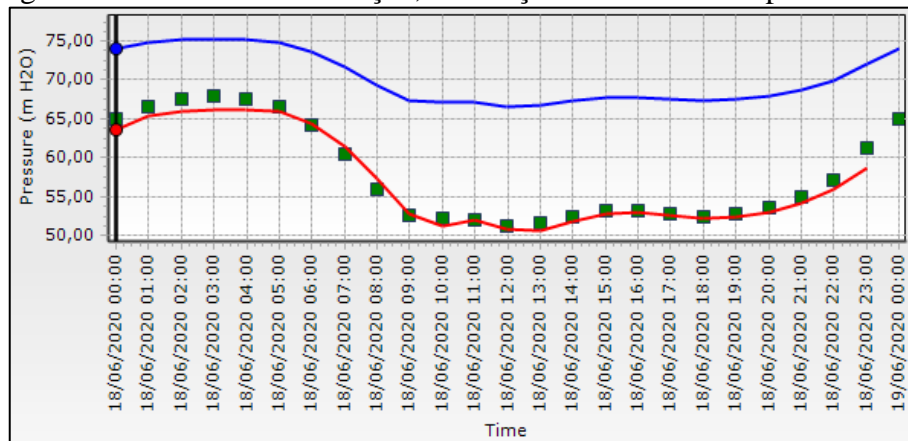
Os resultados obtidos desta calibração estão nas figuras abaixo, onde as linhas em azul representam o resultado da simulação antes da calibração, as linhas em vermelho representam a simulação pós calibração e os quadrados em verde, os dados registrados pelos *dataloggers* ou pelo macromedidor de saída do SI Limeira.

Figura 53- Resultados simulação, calibração e dados de campo – Saída SI.



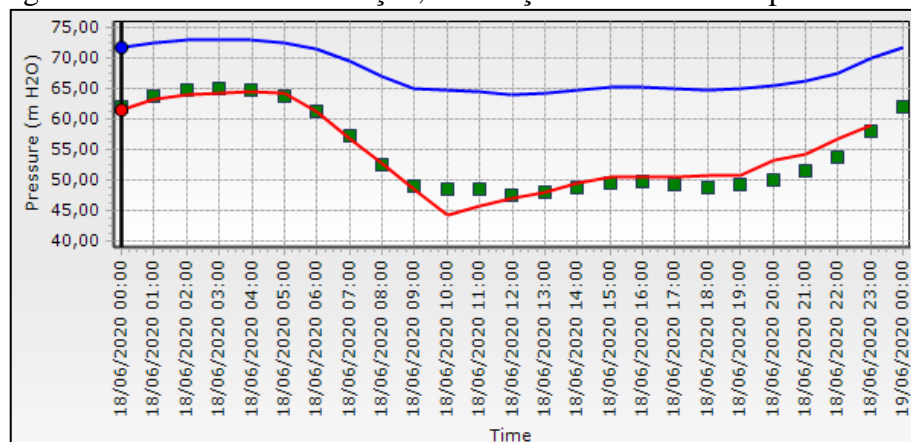
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 54- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 1.



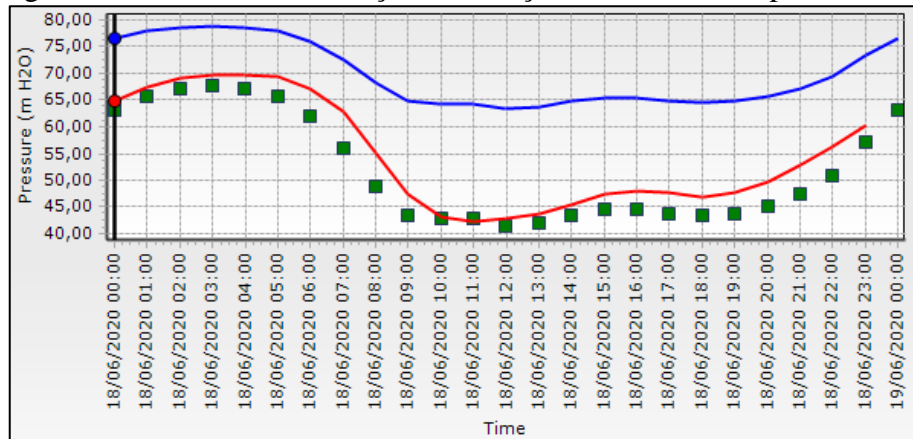
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 55- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 2.



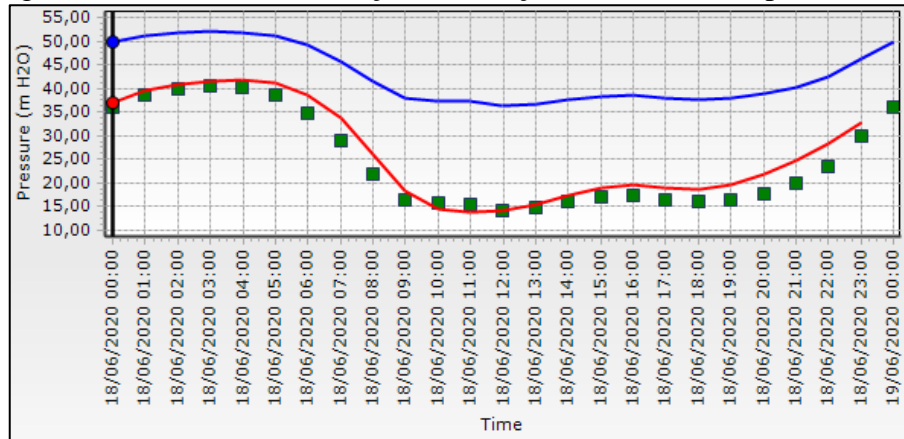
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 56- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 3.



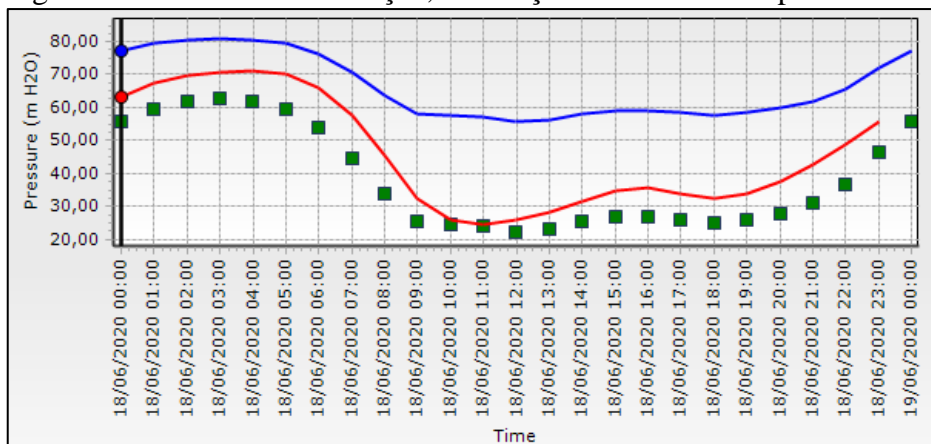
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 57- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 4.



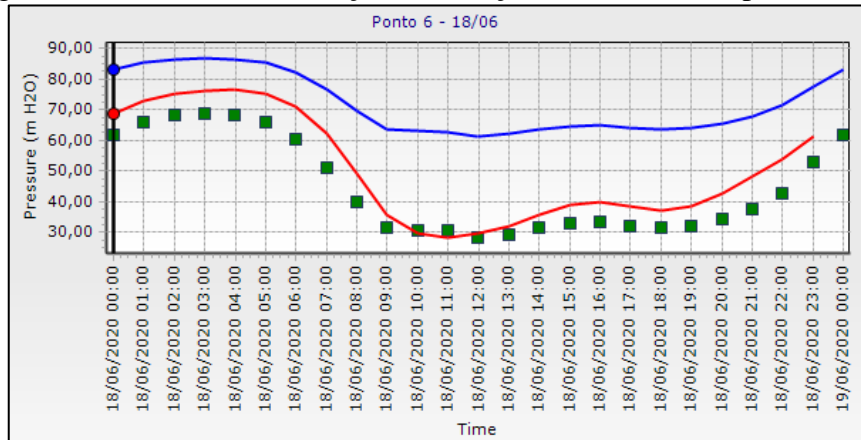
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 58- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 5.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 59- Resultados simulação, calibração e dados de campo - Ponto 6.

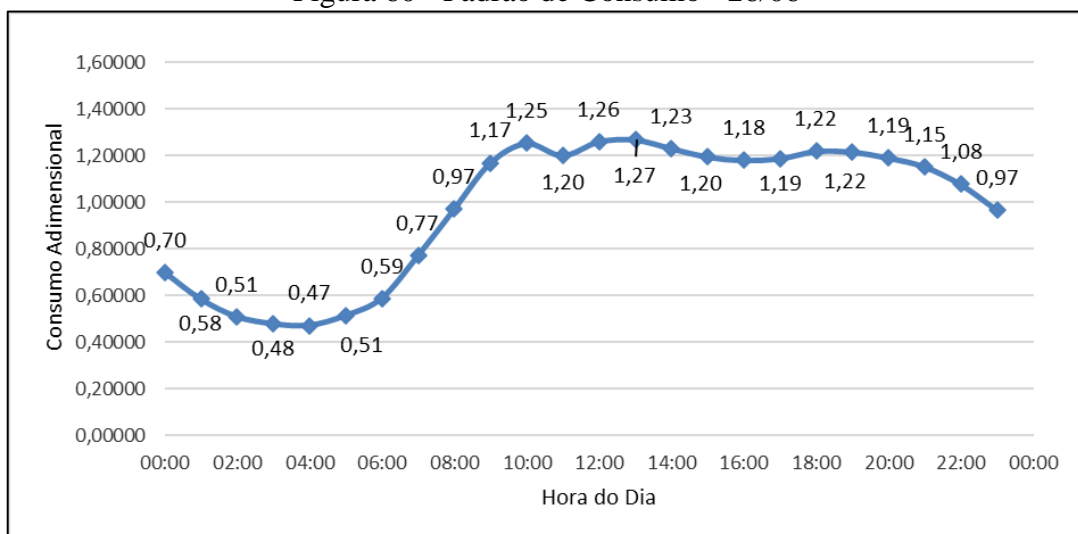


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com o término da simulação para o dia 18/06/2020 (antes da troca de rede) foi realizada a simulação do dia 26/06/2020 (após a troca de rede), com o intuito de comparar os resultados obtidos pelo *software* com os dados monitorados em campo.

Novamente foi necessário atualizar o modelo para as demandas do dia 26/06, alterando o padrão de consumo e o volume macromedido, além de redistribuir a diferença entre esse volume e o micromedido (perda de água) nos nós de consumo, a metodologia utilizada foi a mesma exposta para o dia 18/06: o volume macromedido corrigido para o dia 26/06 foi de 2013,43 m<sup>3</sup>; a diferença para o volume simulado (1275,68 m<sup>3</sup>) foi de 737,75 m<sup>3</sup> (8,52 l/s), o que resultou em uma atribuição de 0,014 l/s para cada nó.

Figura 60 - Padrão de Consumo - 26/06



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Não foi realizado processo de calibração dos parâmetros físicos das tubulações (coeficiente de rugosidade) para esta nova análise, já que não deve existir diferenças entre as redes devido ao pouco tempo entre as comparações entre o modelo hidráulico e os dados registrados pelos *dataloggers* após a troca de rede, serão apresentados no tópico 4.4.1.1.

### 3.5.1.3 Controle Ativo de Vazamentos

Muitas companhias de saneamento utilizam uma política reativa aos vazamentos, ou seja, só providenciam a prospecção e reparo quando ocorre um impacto elevado na operação no sistema como o desabastecimento de uma área, por exemplo. Outra forma de detecção de vazamentos é quando a população alerta sobre a existência de um vazamento em determinado local.

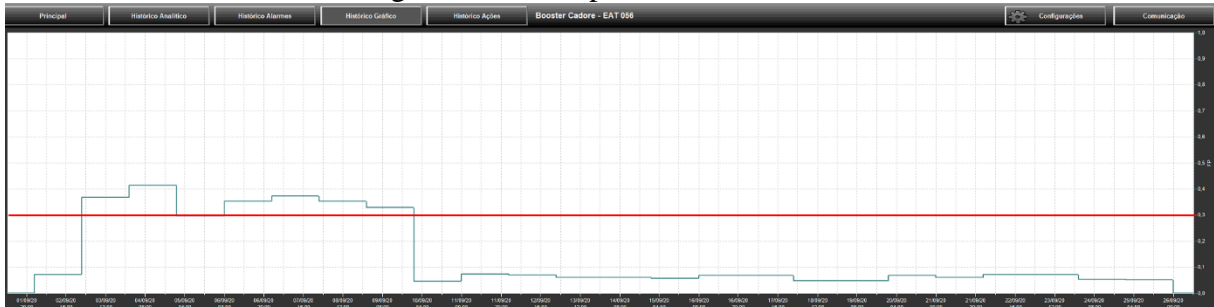
Pode-se dizer que hoje, o SAMAE de Brusque trabalha da maneira descrita acima, indo atrás de vazamentos somente quando existe algum impacto operacional ou algum vazamento visível. O intuito das estratégias descritas abaixo é possibilitar que o processo de prospecção de vazamentos tenha um caráter preventivo, a fim de reduzir as perdas reais e otimizar a operação do sistema.

#### 3.5.1.3.1 Fator de Pesquisa - FP

Foi realizada uma análise do FP durante o mês de setembro, através do sistema de telemetria, em todas as EATs que existem no DMC (Figura 33), com o objetivo de identificar locais em que o FP estivesse acima de 0,3 – valores superiores a esse indicam chance de vazamento no local.

As indicações do FP estão na figura abaixo, que representa uma análise genérica, onde a linha vermelha indica o valor limite utilizado para a análise - 0,3 - e a linha em verde o FP obtido para cada dia do mês de setembro. As análises e resultados para cada EAT estão no tópico 4.4.1.2.1, no capítulo de resultados.

Figura 61 - Exemplo de análise do FP.



Fonte: SAMAE (2020).

### 3.5.1.3.2 Pesquisa de Vazamentos

A pesquisa de vazamentos seguiu os direcionamentos do PR-051, emitida pela ABENDI em 2017: primeiramente foi realizada uma varredura utilizando haste de escuta, nos locais onde a análise do FP indicou chances de vazamentos.

A segunda etapa, de acordo com o procedimento, deveria ser o geofonamento nos locais onde a varredura com haste de escuta indicou pontos suspeitos. Porém, antes de executar o geofonamento, foi utilizada a ferramenta *Darwin Leakage Detector*, presente no software *Bentley WaterGEMS* e que identifica possíveis pontos de vazamento, considerando dados colhidos em campo e rodadas de simulações do modelo hidráulico.

Os resultados obtidos pelo *Darwin Leakage Detector* e pela varredura com haste de escuta foram repassados para a equipe do SAMAE responsável pelo geofonamento,

- A varredura com haste de escuta foi realizada no dia 01/10/2020, nas áreas da EAT Boemia e EAT Limeira 02, baseado no critério adotado para o FP – maior que 0,3 – para mais informações sobre esses resultados, consultar tópico 4.4.1.2.2.
- Diferente dos equipamentos tradicionais, que utilizam de um amplificador acoplado a uma barra metálica (GOMES, 2019), foi utilizado a haste 4Fluid da *startup* Status4 (Figura 63). Essa haste possui os mesmos elementos de uma haste tradicional, mas utiliza da IoT e de IA para obter resultados mais precisos, já que após a coleta dos áudios, os áudios são enviados para a nuvem e analisados pela IA, otimizando assim os resultados.

Figura 62 – Haste de escuta 4Fluid.



Fonte: Autor (2020).

Figura 63 – Coleta de áudio, haste 4Fluid.



Fonte: Autor (2020).

- Para utilizar a ferramenta *Darwin Leakage Detector*, foi necessário instalar *dataloggers* para o monitoramento das pressões na área da EAT Boemia. Os locais onde os equipamentos foram instalados estão na Figura 45, e a data da instalação foi em 15/10/2020. Foi realizado o mesmo processo de atualização das demandas para essa data, conforme citado no tópico 3.5.1.2.1, e os dados de volume macromedido na EAT Boemia foram retirados da telemetria do sistema. Após a execução da ferramenta, foram obtidos os prováveis pontos com maior probabilidade de existirem vazamentos, e que deveriam ser verificados em campo.
- Essa ferramenta do *software* vem se provando uma aliada das companhias de saneamento, pois aponta com certo grau de precisão os pontos de vazamento uma área analisada: um exemplo é a companhia *Northumbrian Water*, responsável pelos serviços de água esgoto no condado de *Northumberland*, localizado no Reino Unido: um estudo realizado em 2013 em 3 DMCs, teve um grau de precisão de 80% em reparos de vazamentos, sendo que o *software* indicou 11 possíveis pontos de vazamento e 8 destes pontos foram confirmados em vistorias em campo (SOLARCZYK, 2013)

### 3.5.1.4 Extravasamento de Reservatórios

Atualmente o SI Limeira conta com um reservatório circular de concreto com capacidade para 500 m<sup>3</sup> e está em processo de execução a interligação de um novo reservatório de metal, também com capacidade de 500 m<sup>3</sup>.

O Engenheiro Diego Peña do SAMAE solicitou uma aferição do sensor de nível do reservatório, a ser realizada pela empresa MKS, responsável por todos os itens relacionados a telemetria no sistema de Brusque.

Figura 64 – Reservatório existente, 500 m<sup>3</sup> .



Fonte: BSA Engenharia (2012).

Figura 65 – Novo reservatório, 500 m<sup>3</sup>.



Fonte: SAMAE (2020).

### 3.5.1.5 Gerenciamento de Pressões

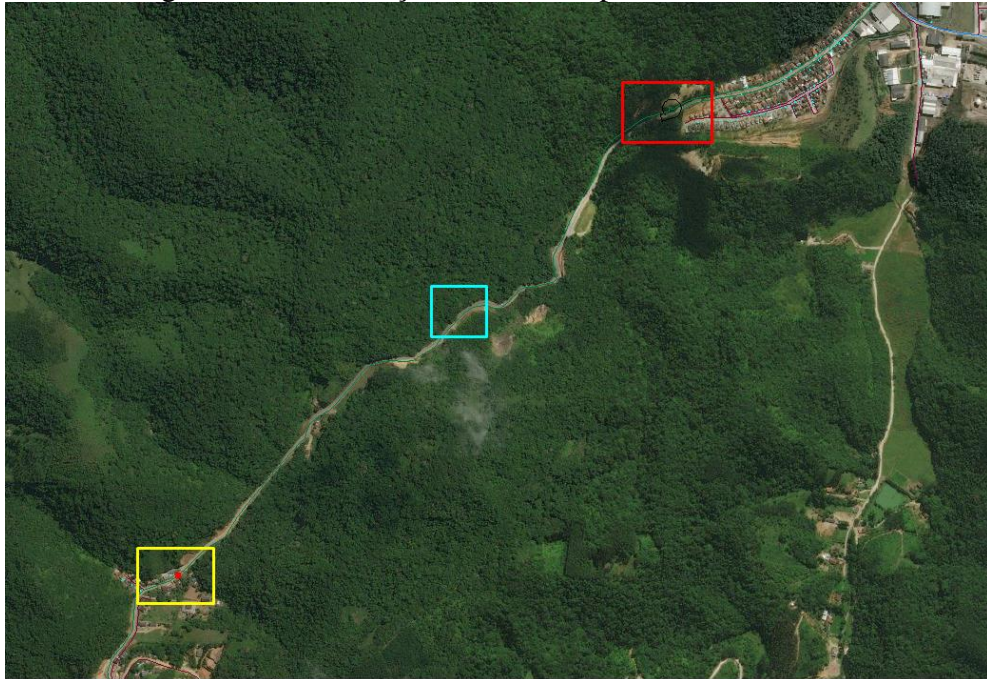
Para o estudo do gerenciamento de pressões, também foi utilizada a área de abastecimento da EAT Boemia, por apresentar características de rede propícias para a aplicação deste método:

- O abastecimento da região é realizado através de uma Estação Elevatória, que está na cota 55,85 metros. A água recalçada precisa superar um topo de morro com elevação aproximada de 155 metros, abastecendo as localidades do Poço Fundo e Ponta Russa, que estão em cotas mais baixas, variando entre 57 e 125 metros.
- Existe uma VRP instalada na descida do morro, próximo da cota de 90 metros, justamente para evitar que ocorra uma pressão elevada nas zonas baixas de abastecimento.



- A Figura 66 exibe a disposição dos pontos de interesse citados acima. Em vermelho está sinalizada a EAT Boemia, na cota 55,85 metros; em azul claro o topo do morro, com cota de 155 metros e em amarelo está sinalizada a VRP na cota 90 metros.

Figura 66 - Localização da EAT, Topo do Morro e VRP.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O Modelo Hidráulico foi utilizado para simular o comportamento atual da rede, com a VRP configurada para liberar 50 mca de pressão e buscar possíveis soluções para que as pressões na rede fossem mais uniformes durante o dia.

### 3.5.2 Compatibilização do Cadastro Comercial

De posse do cadastro comercial gerado pela SANEGRAPH, referente as 2462 ligações ativas, foi realizada uma análise da base de dados utilizada pelo SAMAE para gerenciar o seu parque de hidrômetros.

Para realizar a compatibilização do cadastro, foi utilizada a NBR NM 212/02, que estabelece um sistema de numeração sequencial para padronização e identificação dos hidrômetros fabricados no Brasil.

O item 2.6.3 da referida norma, indica que o código padrão deverá contar com 10 dígitos, sendo o primeiro dígito uma letra que identifica as vazões nominal e máxima do hidrômetro; segundo e terceiro dígitos são algarismos referentes ao ano de fabricação; quarto dígito uma letra correspondente ao fabricante e os seis últimos dígitos, o número de série do fabricante. No exemplo da Figura 67, temos o código A17L384973 que identifica um hidrômetro com vazão nominal de 1,5 m<sup>3</sup>/h e máxima de 3 m<sup>3</sup>/h (letra **A**), fabricado em 2017 (algarismos **17**) e fornecido pela empresa LAO (letra **L**).

Figura 67 – Código de identificação hidrômetros, conforme NBR NM 212/02.



Fonte: Autor (2020).

A metodologia utilizada para a compatibilização foi a seguinte, através de planilha eletrônica:

- O primeiro passo foi conferir os códigos registrados no cadastro comercial com a Norma, para averiguar possíveis erros de cadastro por parte do SAMAE. Essa conferência levou em conta a quantidade de dígitos e o padrão previsto em norma, e teve com intuito levantar a confiabilidade da base de dados utilizado pelo SAMAE.

Quadro 4 – Amostra da análise dos códigos dos hidrômetros.

<b>CÓDIGO HD CADASTRO SAMAE</b>	<b>Nº DIGITOS CÓDIGO SAMAE</b>	<b>CÓDIGO PADRÃO NBR</b>
A19G337494	10	SIM
A16F245888	10	SIM
A16F246325	10	SIM
1F060535	8	NÃO
1F122463	8	NÃO
1IC216617	9	NÃO

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

- O segundo passo foi comparar os fabricantes dos hidrômetros, entre a base do SAMAE e o que o código indica. As letras utilizadas para identificar cada fabricante foram utilizadas conforme indica a norma, presentes na Tabela 8.

Tabela 8 – Códigos dos fabricantes

<b>CÓDIGO</b>	<b>FABRICANTE</b>
<b>A</b>	Actaris
<b>E</b>	Elster
<b>F</b>	FAE
<b>B</b>	Hydrus
<b>C ou IC</b>	Itron
<b>L</b>	LAO
<b>G ou SA</b>	SAGA
<b>S</b>	Sensus

Fonte: Adaptado de ABNT (2002).

Quadro 5 – Amostra da análise dos fabricantes dos hidrômetros.

<b>CÓDIGO HD CADASTRO SAMAE</b>	<b>PREFIXO FABRICANTE NBR</b>	<b>FABRICANTE NBR</b>	<b>BATE COM O CADASTRO?</b>
A19G337494	G	SAGA	VERDADEIRO
A16F245888	F	FAE	VERDADEIRO
A16F246325	F	FAE	VERDADEIRO
1F060535	F	FAE	FALSO
1F122463	F	FAE	FALSO
1IC216617	IC	Itron	FALSO

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

- O terceiro e último passo foi compatibilizar as vazões dos hidrômetros presentes na Limeira. Muitos hidrômetros não possuem essa informação na base de dados do SAMAE, e que é importante para definição dos Limites Inferiores e Superiores de Consumo – LSC e LIC – conforme mostrado no tópico 2.5.3.1.2 Nos hidrômetros onde os dados são inexistentes, foi realizado o acréscimo das vazões conforme indicado em norma.

Quadro 6 – Amostra do cadastro de vazões dos hidrômetros.

hid	vazao
1L121562	1.5
1E131483	1.5
1I216106	1.5
A19G339265	
A13F052329	1.5

Fonte: SAMAE (2020).

Tabela 9 – Códigos dos fabricantes

<b>CÓDIGO</b>	<b>Q NOMINAL [M<sup>3</sup>/H]</b>	<b>Q MÁXIMA [M<sup>3</sup>/H]</b>
<b>Y</b>	0,75	1,5
<b>A</b>	1,5	3
<b>B</b>	2,5	5
<b>C</b>	3,5	7
<b>D</b>	5	10
<b>E</b>	10	20

Fonte: Adaptado de ABNT (2002).

### 3.5.3 Perdas Aparentes

#### 3.5.3.1 Análise do Parque de Hidrômetros

A análise do parque de hidrômetros foi realizada considerando três fatores: sendo dois relacionados aos volumes totalizados e outro relacionado a idade dos hidrômetros, para os volumes, as análises realizadas foram o Limite Superior de Consumo - LSC e Limite Inferior de Consumo - LIC, e o outro o Fator de Troca - FT

Já a análise da idade do Parque de Hidrômetros, levou em consideração as datas de fabricação e instalação dos equipamentos, que foram retiradas do cadastro comercial do SAMAE.

### 3.5.3.1.1 Vazões

A análise dos consumos foi realizada com base no anexo B da NTS 281:2011 da SABESP, que relaciona dois limites para cada tipo de hidrômetro, o LSC e o LIC. A norma indica que o consumo médio deve ser observado por no mínimo 6 meses, e caso esse valor esteja fora das faixas de LSC e LIC recomendadas, deve ser realizada a troca por um modelo mais indicado para os consumos daquele cliente.

Quadro 7 – Anexo B NTS 281:2011 - Critérios para redimensionamentos de hidrômetros.

Cod	CPH	Q <sub>máx</sub>	Unid	Q <sub>nom</sub>	LSC	LIC
				m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /mês	m <sup>3</sup> /mês
Y	0	1,5	m <sup>3</sup> /h	0,75	180	2,9
A	1	3	m <sup>3</sup> /h	1,5	360	3,6
B	2	5	m <sup>3</sup> /h	2,5	900	9,0
C	3	7	m <sup>3</sup> /h	3,5	1260	12,6
D	4	10	m <sup>3</sup> /h	5	1800	18,0
E	5	20	m <sup>3</sup> /h	10	3600	36,0
F	6	30	m <sup>3</sup> /h	15	5400	54,0
G	7	300	m <sup>3</sup> /d	15	5400	32,4
J	8	1100	m <sup>3</sup> /d	30	10800	86,4
K	9	1800	m <sup>3</sup> /d	50	18000	129,6

Fonte: SABESP (2011).

### 3.5.3.1.2 Idade do Parque de Hidrômetros

A partir dos dados do cadastro comercial, foram analisadas as idades médias do parque de maneira geral e por fabricante, além da criação de histogramas para facilitar o entendimento da atual situação na área estudada. Esses dados serviram de base para outras análises, como o índice de submedição no Balanço Hídrico (Tópico 3.4.1.5.1) e a análise do Fator de Troca, por exemplo.

### 3.5.3.1.3 Fator de Troca - FT

Para a análise do FT, foi utilizada a metodologia exposta na NTS 281:2011, que calcula o índice através das equações abaixo. Todos os hidrômetros da área de estudo tiveram seu FT calculado, quando possível.

$$FT = CT \times CI \quad (8)$$

Onde:

FT = Fator de Troca;

CT = Coeficiente de Totalização;

CI = Coeficiente de Idade.

O CT foi calculado através da seguinte equação:

$$CT = \frac{\textit{Totalização do Hidrômetro}}{\textit{Totalização Referencial}} \quad (9)$$

Onde:

CT = Coeficiente de Totalização;

Totalização do Hidrômetro = Volume registrado ao longo de sua instalação;

Totalização Referencial = Volume de referência exibido no Anexo C da NTS 281:2011;

Já o CI, conforme equação abaixo:

$$CI = \frac{\textit{Idade do Hidrômetro}}{\textit{Idade Referencial}} \quad (10)$$

Onde:

CI = Coeficiente de Idade

Idade do Hidrômetro = Idade de instalação do hidrômetro;

Idade Referencial = Idade de referência exibido no Anexo C da NTS 281:2011;

Quadro 8 – Anexo C NTS 281:2011 – Critério para definição de demanda na troca de hidrômetro - Fator de Troca.

Critério para definição de demanda na troca de hidrômetro						
Cod	CPH	Q <sub>nom</sub>	Q <sub>máx</sub>	Totalização referencial	Idade referencial	Fator de Troca (Min e Max)
		m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup>	anos	
Y	0	0,75	1,5	4.320	8	0,5 a 1,5
A	1	1,5	3	8.640	8	0,5 a 1,5
B	2	2,5	5	14.400	5	0,5 a 1,5
C	3	3,5	7	20.160	5	0,5 a 1,5
D	4	5	10	28.800	5	0,5 a 1,5
E	5	10	20	57.600	5	0,5 a 1,5
F	6	15	30	86.400	5	0,5 a 1,5
G	7	15	300	129.600	3	0,6 a 1,5
J	8	30	1.100	259.200	3	0,6 a 1,4
K	9	50	1.800	432.000	3	0,6 a 1,4
L	10	150	4.000	1.296.000	2	0,8 a 1,2
M	11	250	6.500	3.240.000	2	0,8 a 1,2

Fonte: SABESP (2011).

Os indicativos de troca são baseados no FT resultante: quando o valor está abaixo do valor tabelado mínimo, o hidrômetro está em condições de operação; entre o mínimo e máximo, deve-se estudar a troca do hidrômetro e acima do limite máximo, a troca do equipamento deve ser efetuada.

### 3.5.3.2 Troca de Hidrômetros

Atualmente, o SAMAE realiza a troca dos hidrômetros que completam 10 anos da data de instalação, logo no ano de 2020, foram trocados os hidrômetros que tiveram sua instalação no ano de 2010. Como um dos intuitos deste trabalho era executar estratégias para redução de perdas, os hidrômetros com trocas previstas para o ano de 2021, ou seja, com instalação datadas de 2011, foram realizadas também em 2020.

Além destes, os hidrômetros que indicaram necessidade de troca, baseado nos critérios acima expostos (Tópico 3.5.3.1.1 a 3.5.3.1.3) foram trocados pela equipe técnica do SAMAE.

### 3.5.3.3 Fiscalização de Ligações

O SAMAE não possui uma metodologia ativa de fiscalização dos seus consumidores, no que diz respeito às fraudes, ligações clandestinas e erros de cadastro. A detecção de fraudes costuma ser ao acaso: durante o período deste trabalho, na etapa das trocas de hidrômetro instalados em 2011, uma fraude (*by-pass*) foi detectada na ligação de número 21944 (Figura 68), onde o fluxo de água era desviado do hidrômetro através de abertura e fechamento de um registro localizado próximo ao hidrômetro (Figura 68).

Figura 68 – *By-pass* identificado.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 69 – Registro utilizado para fraude.



Fonte: SAMAE (2020).

Com o intuito de iniciar um trabalho nesta direção, foram realizadas fiscalizações em dois momentos:

- Inicialmente, foi calculado o consumo médio por economia nos últimos 36 meses para a área de estudo, resultando em um volume de 12,12 m<sup>3</sup>/ mês. Baseado neste resultado, foram selecionados dentre os hidrômetros instalados em 2011 e que seriam trocados, os que possuíam um consumo médio por economia muito acima da média para a área de estudo. O valor utilizado para essa linha de corte foi de 20 m<sup>3</sup>/mês, e foi solicitado aos responsáveis pelas trocas de hidrômetros, ocorrida em



julho de 2020 que observassem esses endereços em busca de possíveis atualizações cadastrais a serem realizadas.

- Em outubro de 2020, quando foi realizada a varredura com haste de escuta na área de influência da EAT Boemia, foram fiscalizadas as ligações desta área, também observando possíveis fraudes ou falhas de cadastro.

#### 3.5.3.4 Aferição de Hidrômetros

No dia 25/06, foi realizado acompanhamento do serviço de aferição dos hidrômetros realizado pelo SAMAE. Nessa data, foram aferidos 6 hidrômetros trocados que possuíam data de instalação de 2010:

Tabela 10 - Hidrômetros aferidos, 25/06/2020.

<b>Nº</b>	<b>HIDRÔMETRO AFERIDO</b>
<b>1</b>	A09S261128
<b>2</b>	A01S162048
<b>3</b>	A09G259720
<b>4</b>	A09S259783
<b>5</b>	A09S259840
<b>6</b>	A09S259794

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para o teste de aferição, foi utilizado o equipamento de bancada da marca *ITRON*, modelo Hidrotest V4 (Figura 70). Primeiramente o hidrômetro a ser aferido é conectado a um ponto de água e em sua saída é conectada uma mangueira, interligando-o a bancada de verificação, desta forma os dois equipamentos estão conectados em série e podem medir o mesmo volume de água. A aferição é realizada utilizando a seguinte metodologia:

- Utilizando uma vazão de 150 L/h é medido um volume de 10 L no equipamento e compara-se com o valor registrado no hidrômetro;
- São realizadas mais duas medições, uma utilizando um volume de 20 L a uma vazão de 650 L/h e outra com um volume de 50 L a uma vazão de 1350 L/h, sempre comparando os valores registrados no hidrômetro com os do equipamento;
- Se em qualquer uma das três medições, o erro absoluto superar 5%, o hidrômetro deve ser trocado, conforme orientações do INMETRO (2000).

Figura 70 – Equipamento utilizado.



Fonte: Autor (2020).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 DIAGNÓSTICO SAA BRUSQUE

O levantamento dos indicadores para o SAA de Brusque resultou em uma avaliação insatisfatória para o sistema. Apesar de o sistema possuir hidrometração em 100% das ligações cadastradas junto ao SAMAE, aproximadamente 1/3 dos hidrômetros possuem idade superior a 5 anos, o que resulta em leituras menos precisas dos consumos mensais. Este fato pode ser confirmado também pelo desempenho baixo na avaliação do IN013, com quase 40% de índice de perdas do faturamento.

Os resultados desta avaliação (Tabela 11), mesmo que rasos, apontam para a necessidade de o SAMAE modificar a ótica atual sobre a gestão de perdas no sistema, e a ideia é que os resultados que serão apresentados nestes tópicos subsequentes sirvam de insumos para essa mudança.

Tabela 11 – Avaliação do SAA de Brusque em relação às perdas.

INDICADORES	ORIGEM DO INDICADOR	VALORES DE REFERÊNCIA	RESULTADO SAA BRUSQUE	AValiação
<b>1. Índice de hidrometração (%)</b>	IN009 do SNIS	Bom: 98 a 100 Médio: 95 a 98 Insatisfatório: inferior a 95	100	Bom
<b>2. Índice de perdas de faturamento (%)</b>	IN013 do SNIS	Bom: entre 0 e 20 Médio: entre 20 e 30 Insatisfatório: entre 30 e 100	37,09	Insatisfatório
<b>3. % hidrômetros com idade superior a 5 anos (%)</b>	ProEEsa	Bom: inferior a 10% Médio: entre 10 e 15% Insatisfatório: superior a 15%	29,65%	Insatisfatório
<b>4. Índice de perdas na distribuição (%)</b>	IN049 do SNIS	Bom: entre 0 e 15% Médio: entre 15 e 22,5% Insatisfatório: superior a 22,5%	27,7	Insatisfatório
<b>5. Índice de perdas por ligação (l/dia/lig.)</b>	IN051 do SNIS	Bom: até 122,5 Médio: entre 122,5 e 250 Insatisfatório: superior a 250	221,42	Médio
<b>6. Índice bruto de</b>	IN050 do	Bom: entre 0 e 5	9,816	Insatisfatório

INDICADORES	ORIGEM DO INDICADOR	VALORES DE REFERÊNCIA	RESULTADO SAA BRUSQUE	AVALIAÇÃO
perdas lineares (m <sup>3</sup> /dia/km)	SNIS	Médio: 5 a 7,5 Insatisfatório: superior a 7,5 Bom: entre 1,0 e 4,0		
7. Taxa anual de reabilitação de redes (%/ano)	Op16 da IWA	Médio: entre 0,8 e 1 ou inferior a 4 Insatisfatório: inferior a 0,8	- <sup>1</sup>	-

<sup>1</sup> SAMAE não possui esses dados registrados.

Fonte: Elaborado com base em SAMAE (2020); SNIS (2018).

#### 4.2 DELIMITAÇÃO DO DMC

A primeira etapa do trabalho foi a escolha da área de estudo, onde as estratégias traçadas pudessem ser realizadas. A área escolhida foi o SI Limeira e as manobras de registros necessárias para o isolamento do DMC foram realizadas no dia 17/06/2020.

Já era de conhecimento do SAMAE, que realizar essas manobras antes da ampliação de diâmetro da rede de adução, deixaria um trecho de rede despressurizada, mas era necessário deixar a área isolada por pelo menos um dia, para que os *dataloggers* pudessem registrar os dados para embasar a modelagem hidráulica. As manobras foram desfeitas no dia 19/06/2020.

A ampliação de rede foi finalizada no dia 24/06/2020 e no mesmo dia as manobras de registros foram executadas novamente, dessa vez com o intuito de isolar a área de forma definitiva, e conseqüentemente transformá-la em um DMC. Porém, logo nos primeiros dias houve novamente despressurização na parte norte do setor, fazendo com que as EATs não tivessem pressão de sucção disponível para operarem, por isso foi necessário desfazer a manobra e deixar a área não isolada.

Conforme citado na metodologia deste trabalho, o modelo hidráulico construído pela SANOVA, simulou o comportamento do SAA em períodos críticos ( $K1 \times K2 = 1,8$ ), e nos cenários simulados após a ampliação de rede, essa despressurização não ocorreu.

O modelo da SANOVA representa a situação do SAA considerando a base de dados de 2019, ou seja, com os consumos micromedidos e perdas atribuídas aos nós para um cenário

diferente do encontrado em 2020. Qualquer mudança que tenha ocorrido entre os meses de outubro de 2019 e junho de 2020 e que possa impactar de maneira negativa nas redes, como elevação de consumos ou do índice de perdas, pode ter sido a responsável por essa divergência entre o cenário simulado e o observado em campo.

Sobre as suspeitas levantadas acima, o ano de 2020 foi atípico devido à pandemia de COVID-19, o que fez com que as pessoas ficassem em casa, conseqüentemente consumindo mais água, fato reforçado ainda pela característica da área abastecida pelo SI Limeira ser predominantemente residencial, com poucos comércios e indústrias (somente 69 das 2762 economias, 2,50% aproximadamente).

Mesmo que eventuais intervenções de rede sejam realizadas, diminuindo as perdas de carga no sistema e possibilitando que a área do SI Limeira seja isolada permanentemente e transformada em um DMC, sugere-se que o SAMAE diminua a extensão deste DMC, permitindo um melhor gerenciamento operacional da área.

#### 4.3 DIAGNÓSTICO DAS PERDAS NO DMC

##### 4.3.1 Balanço Hídrico – BH

Os dados utilizados para o cálculo do BH (Tabela 6) no período entre outubro de 2019 e setembro de 2020, são exibidos abaixo:

- **Volume de Entrada no Sistema:** O volume totalizado pelo macromedidor instalado na saída da EAT Boemia, foi de 93.035 m<sup>3</sup>. Já a margem de erro atribuída ao macromedidor foi de 5%, pois não existem dados de levantamentos pitométricos realizados no local e a data de instalação do equipamento é desconhecida.
- **Consumo faturado:** O volume faturado, ou seja, obtido através das leituras mensais das 365 ligações no local, foi de 59.090 m<sup>3</sup>.
- **Consumo não faturado e Consumo não autorizado:** Esses dados foram considerados zero, pois o SAMAE não tem como processo interno, o registro de informações relativos a descargas de rede ou volume utilizado para limpeza de reservatórios. Relativo ao consumo não faturado, não há registros de fraudes ou ligações irregulares para a área e período analisados;

- **Imprecisões dos medidores e erros:** O IDM foi obtido através da curva de submedição proposta pela AESBE (2015) e da idade média dos hidrômetros instalados no local, que era de 3,53 anos ao considerar a data de 30/09/2020 como base. Já a margem de erro foi calculada através da relação entre o número de hidrômetros sem data de instalação (11) e o número de hidrômetros totais na área (365), resultando em 3,0%.
- **Redes de distribuição:** O comprimento total de rede na área foi retirado do modelo hidráulico: 9,98 km; já o número de clientes registrados (ativos + inativo) foi retirado do modelo hidráulico: 365. Não existem ligações inativas na área, por isso o número de clientes registrados é de 365.
- **Pressão na rede:** A pressão média no local foi obtida através do monitoramento dos *dataloggers*, realizado no dia 15/10/2020 (Figura 45), cujo valor foi de 68,9 mca.
- **Abastecimento intermitente:** O local não possui histórico de abastecimento intermitente, por isso foi considerado nulo.
- **Dados Financeiros:** Conforme metodologia, o valor da tarifa média é de R\$ 4,78 já o custo variável de produção de água é de R\$ 3,43, ambos por m<sup>3</sup>.

Os cálculos realizados através da metodologia do BH, apontaram que no período analisado dos 93.035 m<sup>3</sup> totalizados pelo macromedidor, 33.945 m<sup>3</sup> foram perdidos entre perdas reais e aparentes. As perdas aparentes foram responsáveis por 6.566 m<sup>3</sup> e as perdas reais por 27.379 m<sup>3</sup>, conforme Figura 71.

Em termos percentuais, percebe-se a impacto das perdas reais neste setor, com 80,66% do total, com 19,34% de perdas aparentes. É importante observar a incerteza desses valores, com margens de erro de até 10,2% para as perdas reais, por exemplo. Para diminuir o grau de incerteza, o ideal é que esse procedimento fosse realizado mais vezes e os dados com as margens de erro elevadas, fossem analisados para que exista uma precisão maior, e consequentemente resultados mais fiéis, possibilitando a execução de estratégias que impactem de maneira mais precisa na redução das perdas.

Figura 71 – Resultado do BH de outubro de 2019 a setembro de 2020.

<b>Volume de Entrada no</b> 93.035 m <sup>3</sup> Margem de erro [+/-] 3,0%  <b>100 %</b>	<b>Consumo autorizado</b>  59.090 m <sup>3</sup> Margem de erro [+/-] 0,0% <b>63,51 %</b>	<b>Consumo autorizado faturado</b>  59.090 m <sup>3</sup> <b>63,51 %</b>	<b>Consumo medido faturado</b> 59.090 m <sup>3</sup>	<b>Água faturada</b>  59.090 m <sup>3</sup>	
			<b>Consumo não medido faturado</b> 0 m <sup>3</sup>		
	<b>Perdas de água</b> 33.945 m <sup>3</sup> Margem de erro [+/-] 8,2% <b>36,59 %</b>	<b>Consumo autorizado não faturado</b>  0 m <sup>3</sup> Margem de erro [+/-] 0,0%	<b>Consumo medido não faturado</b> 0 m <sup>3</sup>	<b>Consumo não medido não faturado</b> 0 m <sup>3</sup> Margem de erro [+/-] 0,0%	<b>Água não faturada</b> 33.945 m <sup>3</sup> Margem de erro [+/-] 8,2%
		<b>Perdas Aparentes</b> 6.566 m <sup>3</sup> Margem de erro [+/-] 3,0%	<b>Consumo não autorizado</b> 0 m <sup>3</sup> Margem de erro [+/-] 0,0%	<b>Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados</b> 6.566 m <sup>3</sup> Margem de erro [+/-] 3,0%	
			<b>Perdas Reais</b> 27.379 m <sup>3</sup> <b>80,66 %</b> Margem de erro [+/-] 10,2%		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

#### 4.3.2 Vazão Mínima Noturna – VMN

Com base na metodologia exposta no tópico 3.4.2, foram calculados os FND para os três *dataloggers* instalados na área de estudos através da equação 6. É importante ressaltar que não foi possível executar o passo a passo completo para obtenção do N1.

A metodologia completa para o cálculo da VMN instrui que sejam realizadas manobras de fechamento no registro de entrada do DMC em três etapas, com o intuito de observar as variações de vazão e pressão e com esses dados, calcular o N1 através da equação 7. Como a região da Boemia é abastecida por uma EAT, não foi possível realizar essas manobras, já que caso a pressão na EAT fosse reduzida, a região ficaria despressurizada e consequentemente não seria possível obter os resultados desejados.

Dessa forma, foi utilizado um valor de 2,0 para o N1, que é a média entre os valores indicados pelas literaturas para tubulações plásticas: de 1,5 a 2,5 de acordo com Tsutiya, 2013.

Os resultados encontrados para o FND do DMC estão na Tabela 12, onde a vazão destacada de 8,55 m<sup>3</sup>/h é a VMN e o FND Médio foi obtido através de média aritmética simples entre os FNDs calculados os três pontos.



Tabela 12 - Vazão, pressão e FND para o local de estudo, 15 de outubro de 2020.

DATA	HORA	Q [M³/H]	PRESSÃO [MCA]			(PM 24H) / (PM 3-4H)		
			PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3
15/10/2020	00:00	10,37	64,67	75,93	93,91	0,874	0,894	0,864
15/10/2020	01:00	9,37	67,45	78,63	98,31	0,951	0,959	0,947
15/10/2020	02:00	8,82	68,85	79,97	100,67	0,991	0,992	0,993
15/10/2020	03:00	8,55	69,17	80,29	101,05	1,000	1,000	1,000
15/10/2020	04:00	8,78	68,67	79,79	100,63	0,986	0,988	0,992
15/10/2020	05:00	8,99	66,83	78	98,87	0,933	0,944	0,957
15/10/2020	06:00	11,17	60,82	71,61	89,39	0,773	0,796	0,783
15/10/2020	07:00	12,43	57,09	68,62	82,05	0,681	0,73	0,659
15/10/2020	08:00	13,47	53,7	65,31	77,17	0,603	0,662	0,583
15/10/2020	09:00	13,57	52,22	63,83	74,83	0,57	0,632	0,548
15/10/2020	10:00	14,41	49,37	61,1	71,63	0,509	0,579	0,503
15/10/2020	11:00	14,79	47,94	59,59	69,8	0,48	0,551	0,477
15/10/2020	12:00	14,59	49,33	60,9	69,64	0,509	0,575	0,475
15/10/2020	13:00	13,82	52,97	64,64	76,04	0,586	0,648	0,566
15/10/2020	14:00	13,27	54,3	66,01	77,75	0,616	0,676	0,592
15/10/2020	15:00	12,8	56,21	66,22	81,57	0,661	0,68	0,652
15/10/2020	16:00	13,12	54,58	65,47	79,4	0,623	0,665	0,617
15/10/2020	17:00	13,73	51,66	62,01	75,77	0,558	0,597	0,562
15/10/2020	18:00	15,26	46,47	57,83	68,45	0,451	0,519	0,459
15/10/2020	19:00	14,71	48,46	59,93	71,06	0,491	0,557	0,495
15/10/2020	20:00	14,98	48,53	60,24	68,85	0,492	0,563	0,464
15/10/2020	21:00	13,71	52,52	64,2	75,05	0,577	0,639	0,552
15/10/2020	22:00	12,95	56,86	68,56	80,96	0,676	0,729	0,642
15/10/2020	23:00	11,41	60,96	72,43	88,62	0,777	0,814	0,769
<b>FND</b>						<b>16,368</b>	<b>17,389</b>	<b>16,149</b>
						<b>FND Médio = 16,635</b>		

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Aplicando a VMN obtida de 8,55 m<sup>3</sup>/h e o FND médio de 16,635 na equação 5, temos que o volume estimado de perdas reais para um dia, na área abastecida pela EAT Boemia é de **142,23 m<sup>3</sup>**.

$$VDPR = FND \times Q \text{ min} \quad (5)$$

$$VDPR = 16,635 \times 8,55$$

$$VDPR = 142,24 \text{ m}^3/\text{dia}$$

#### 4.3.3 Comparação entre os métodos – *Top-Down e Bottom-up*

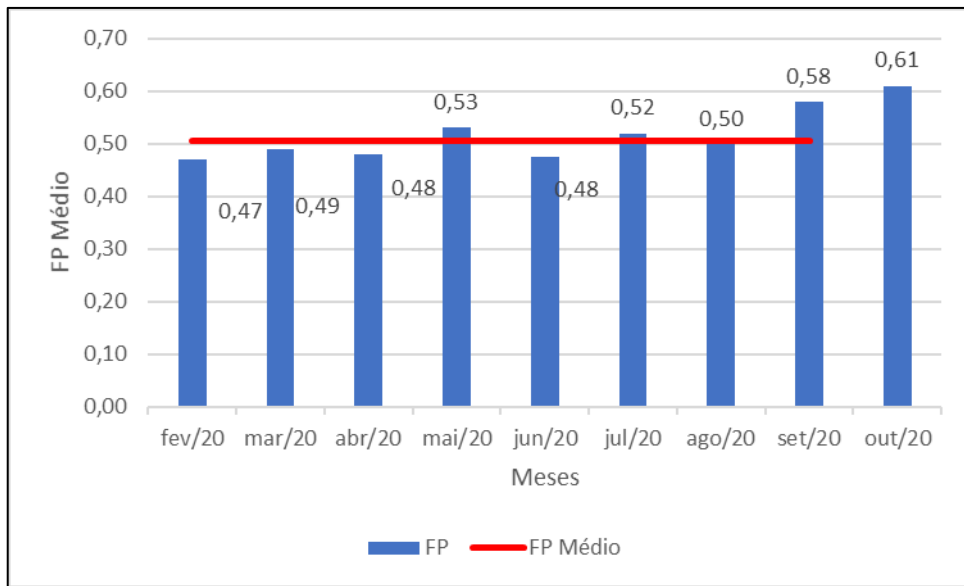
Para que fosse possível realizar a comparação entre os métodos do BH e da VMN, é necessário igualar os resultados para um mesmo período de tempo, já que BH foi realizado para um período de 1 ano e a VMN considerando os dados de um dia. Para isso, o resultado do BH foi projetado para o período de 1 mês (30 dias) e o mesmo foi realizado com o resultado da VMN.

No BH, o valor atribuído para as perdas reais foi de 27.379 m<sup>3</sup> no ano, o que resulta em 2.281,58 [m<sup>3</sup>/mês], já a VMN apontou um volume perdido de 142,23 [m<sup>3</sup>/d], que resulta em 4.267 [m<sup>3</sup>/mês], um valor 87 % maior que o apontado pelo BH, o que invalidaria a afirmativa que os métodos são complementares, **para o estudo realizado neste trabalho**. Porém, alguns pontos devem ser levados em conta:

- A impossibilidade de realizar o levantamento do valor de N1 é um ponto importante a ser considerado, já que o método de levantamento da VMN não foi realizado de maneira completa. Mas se utilizarmos os limites inferior e superior para esse índice de acordo com a literatura, temos que para N1 igual a 1,5 o volume de perdas reais seria de 155 [m<sup>3</sup>/d] e 4650 [m<sup>3</sup>/mês], e para N1 de 2,5 teríamos 131 [m<sup>3</sup>/d] e 3932 [m<sup>3</sup>/mês]. Ambos os valores ainda são distantes do valor apontado pelo BH, mesmo considerando a margem de erro de 8,3% levantada pela matriz IWA.
- A outra hipótese é que como o BH foi realizado comparando um período de 12 meses e a VMN considerou somente os dados do dia 15 de outubro de 2020, essa comparação não seria confiável já que estamos comparando dados de períodos distintos de operação do SAA, e consequentemente os resultados podem ser

diferentes. Essa hipótese é reforçada também pelo aumento do FP ao longo do último ano na área da Boemia, na Figura 72 é possível observar que o FP mensal do período entre fevereiro de 2020 e setembro de 2020 aumentou, mas seu valor médio é menor que o FP do mês de outubro de 2020, então é esperado que ao comparar períodos distintos, tenhamos resultados que não converjam.

Figura 72 – Evolução do FP, fevereiro a outubro de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para validar essa hipótese, foi realizado um novo BH para o mês de outubro de 2020, considerando os mesmos valores e metodologia já utilizados, modificando somente o volume macromedido (entrada do sistema) e consumo faturado: 8.112 m<sup>3</sup> e 4729 m<sup>3</sup>, respectivamente.

O resultado deste BH é exibido na Figura 73, e em uma rápida análise podemos perceber a diferença do percentual de perdas ao comparar com o BH realizado para 12 meses, houve um aumento de 5% no percentual de perdas (Figura 73), fato que se agrupa ao FP elevado como justificativa da necessidade de se realizar um novo BH para comparação com a VMN.

Figura 73 – Resultado do BH para o mês de outubro de 2020.

<b>Volume de Entrada no</b> <b>8.112 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 3,0%  <b>100%</b>	<b>Consumo autorizado</b>  <b>4.729 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 0,0%  <b>58,29%</b>	<b>Consumo autorizado faturado</b>  <b>4.729 m<sup>3</sup></b> <b>58,29%</b>	<b>Consumo medido faturado</b> <b>4.729 m<sup>3</sup></b>	<b>Água faturada</b>  <b>4.729 m<sup>3</sup></b>
			<b>Consumo não medido faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup></b>	
	<b>Perdas de água</b> <b>3.383 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 7,2%  <b>41,70%</b>	<b>Consumo autorizado não faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 0,0%	<b>Consumo medido não faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup></b>	<b>Água não faturada</b> <b>3.383 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 7,2%
			<b>Consumo não medido não faturado</b> <b>0 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 0,0%	
		<b>15,52%</b> <b>Perdas Aparentes</b> <b>525 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 3,0%	<b>Consumo não autorizado</b> <b>0 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 0,0%	
		<b>84,48%</b> <b>Perdas Reais</b> <b>2.858 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 8,5%	<b>Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados</b> <b>525 m<sup>3</sup></b> Margem de erro [+/-] 3,0%	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Novamente comparando os resultados obtidos através dos métodos, temos que o BH apontou um valor de 2858 m<sup>3</sup> de perdas reais, com uma margem de erro de 8,5%, ou seja, o volume de perdas reais varia entre 2615 m<sup>3</sup>/mês a 3101 m<sup>3</sup>/mês. Já o resultado da VMN é o mesmo, com 142,24 m<sup>3</sup>/dia e 4267 m<sup>3</sup>/mês, que ainda é 50% maior que os 2858 m<sup>3</sup>/mês apontado pelo BH.

Essa diferença considerável de valores entre os dois métodos reforça a necessidade de obter dados mais precisos para a execução das metodologias, fato que já foi citado no BH devido as elevadas margens de erro dos resultados, inclusive em relação a exatidão das leituras do macromedidor instalado na EAT Boemia. Esse fato não foi analisado a fundo, já que é difícil estimar um valor de submedição para o equipamento, principalmente quando não sabemos sua idade.

Outra análise interessante que deve ser realizada, recai sobre as diferenças obtidas entre os BH Anual e Mensal, com diferenças de 5,11% no índice global de perdas de água e

3,82% no índice de perdas reais. Isso demonstra a importância de ser realizado um acompanhamento mensal dos dados de entrada e consumo em um DMC, pois dados de consumo ou perdas que destoem da média história de um DMC, acabam sendo mascarados se considerarmos somente os dados anuais para uma análise.

Tabela 13 - Comparativo entre os BH Anual e Mensal.

PRINCIPAIS RESULTADOS	BH 12 MESES		BH OUT/20	
	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%
<b>VOLUME DE ENTRADA NO SISTEMA</b>	93.035	<b>100</b>	8.112	<b>100</b>
<b>CONSUMO AUTORIZADO</b>	59.090	<b>63,51</b>	4729	<b>58,29</b>
<b>PERDAS DE ÁGUA</b>	33.945	<b>36,59</b>	3.383	<b>41,71</b>
<b>PERDAS APARENTES</b>	6.566	<b>19,34%</b>	525	<b>15,52</b>
<b>PERDAS REAIS</b>	27.359	<b>80,66</b>	2.858	<b>84,48</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

#### 4.4 EXECUÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DAS PERDAS

##### 4.4.1 Perdas Reais

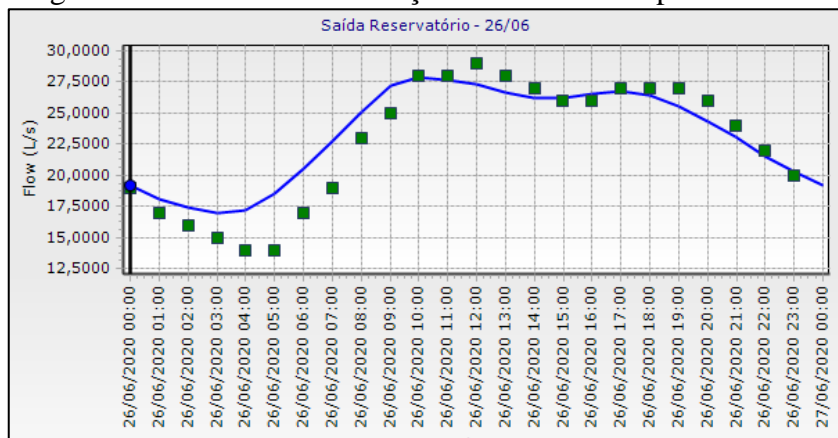
###### 4.4.1.1 Gestão da Infraestrutura

Após as etapas de instalação dos *dataloggers* antes da troca de rede, com o intuito de gerar insumos para o processo de calibração do modelo hidráulico, e de calibração do modelo hidráulico, o trecho de rede com novo diâmetro (Figura 46) foi interligado no dia 24/06/2020 e os *dataloggers* foram novamente instalados para monitoramento das redes.

Conforme explicado na metodologia, o intuito desse monitoramento antes e após a ampliação da rede, era de não só mensurar o aumento de pressão no sistema oriundo da diminuição da perda de carga, mas também verificar a precisão do modelo hidráulico em simular as pressões disponíveis para o SI Limeira após a troca de rede.

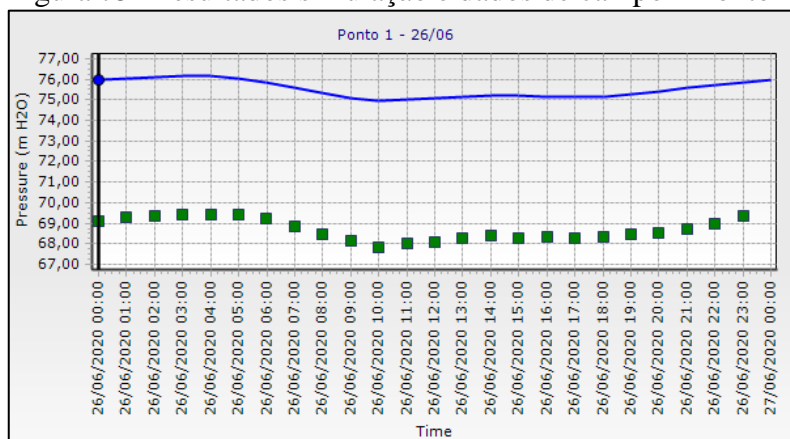
Os resultados obtidos da simulação para a nova configuração da rede estão nas figuras abaixo, onde as linhas em azul representam o resultado da simulação e os quadrados em verde, os dados registrados pelos *dataloggers* instalados em campo ou pelo macromedidor de saída do SI Limeira. O logger instalado no ponto 2 apresentou problemas e não registrou corretamente as pressões, e por isso foi descartado desta análise.

Figura 74 - Resultados simulação e dados de campo – Saída SI.



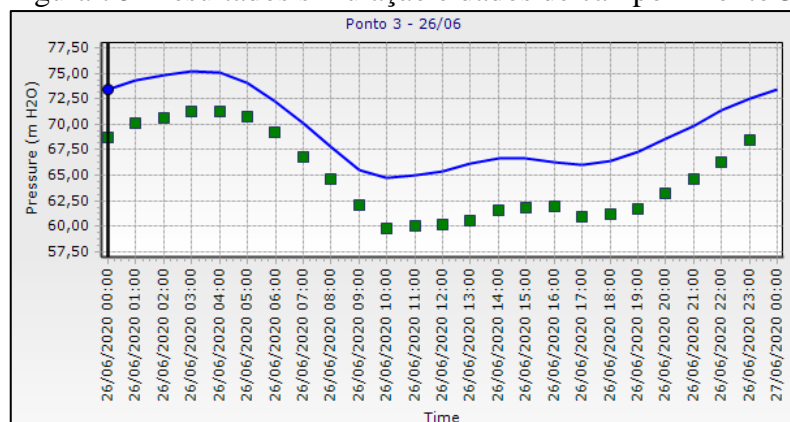
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 75- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 1.



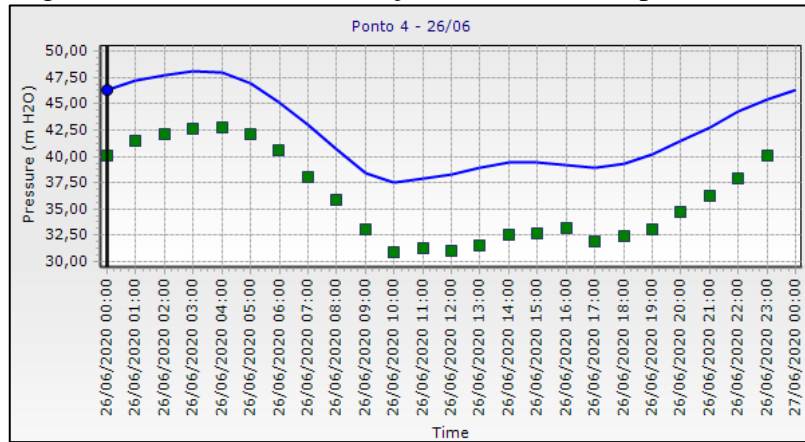
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 76- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 3.



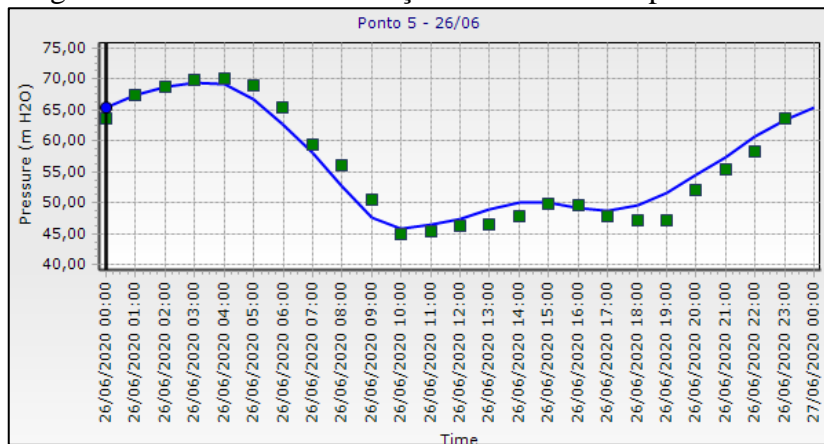
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 77- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 4.



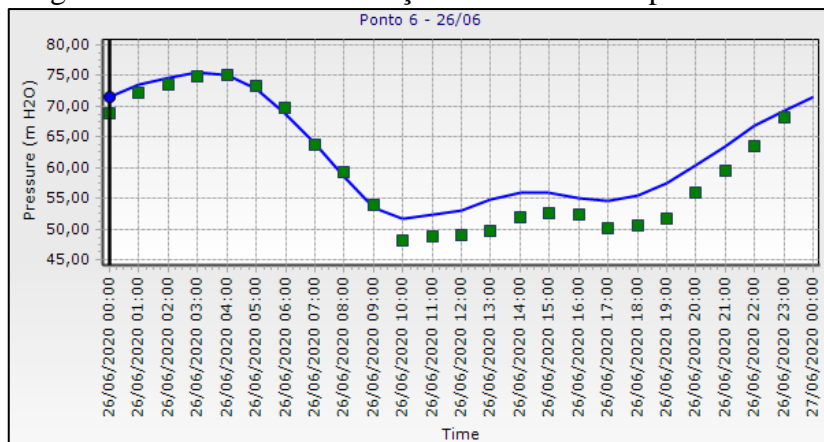
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 78- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 5.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 79- Resultados simulação e dados de campo – Ponto 6.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Analisando os gráficos, pode-se perceber que nos pontos próximos a interligação da rede de adução (DN250) com a rede de distribuição do sistema, há uma diferença maior entre os dados simulados e os dados registrados pelos *dataloggers*, já próximo da área norte do SI Limeira (Ponto 5 e 6), as curvas apresentam maior semelhança entre si, como pode ser confirmado através do Erro Absoluto % Médio calculado para cada um dos pontos, na Tabela 14, já os erros absolutos de todos as horas e pontos estão no Anexo B deste documento.

Considerando que os dados utilizados para simulação hidráulica são de um dia só (período em que foi possível deixar o setor isolado) quando de acordo com SANOVA (2019) deve ser utilizado no mínimo 7 dias para que seja possível observar o comportamento médio do sistema, o resultado foi considerado satisfatório com ressalvas:

- Em um estudo mais completo, deve-se deixar os *dataloggers* registrando os dados por mais tempo, evitando assim inconsistências entre os dados simulados;
- Uma verificação da VRP-008 deve ser realizada, já que existe uma diferença considerável entre as pressões simulada e observada no Ponto 01, que pode ter como causa a VRP estar liberando menos pressão que os 70 mca configurados no modelo hidráulico. No tópico de gerenciamento de pressões será mostrado como uma configuração errada da VRP pode resultar em divergências consideráveis no modelo hidráulico;
- Também é interessante que seja realizado o geofonamento na rede de adução, com o intuito de detectar possíveis pontos de fuga de água e que conseqüentemente, diminuam a pressão disponível na rede.

Tabela 14 – Erros absolutos da simulação hidráulica.

	<b>ERRO</b>
<b>PONTO</b>	<b>ABSOLUTO</b>
	<b>% MÉDIO</b>
Ponto 1	9,93 %
Ponto 3	7,00 %
Ponto 4	17,35 %
Ponto 5	3,11 %
Ponto 6	4,86 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).



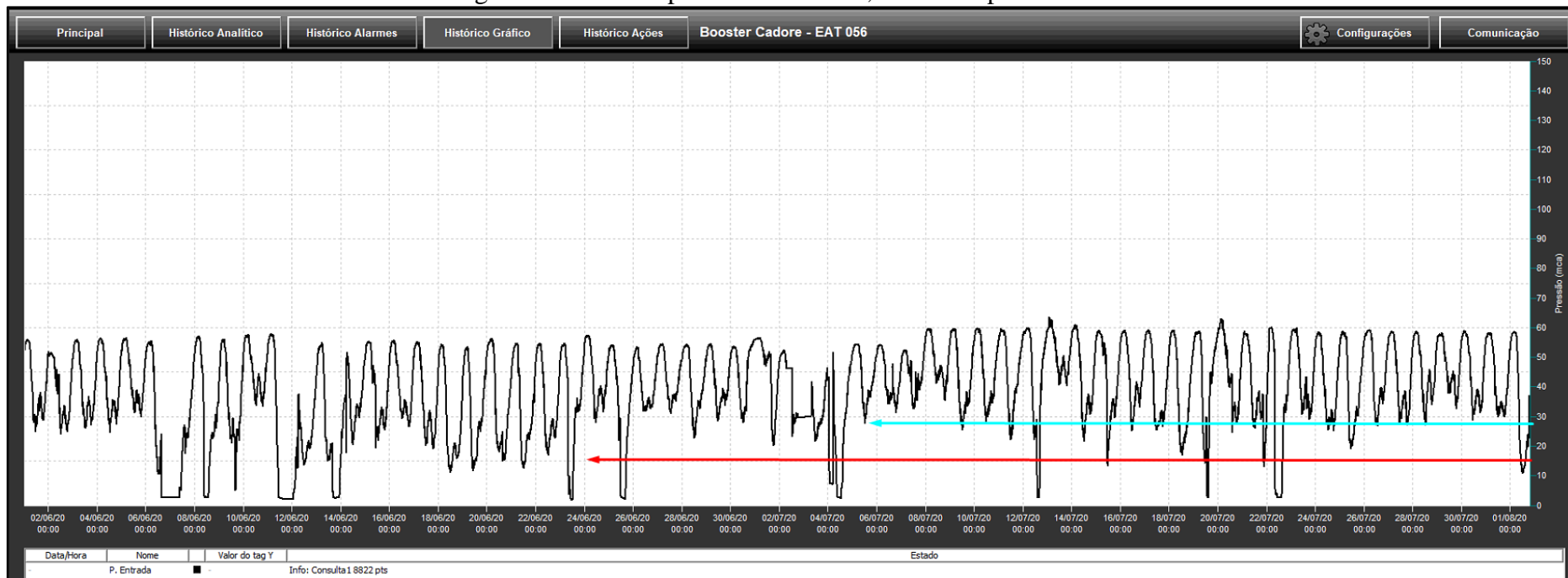
Referente ao comportamento da rede antes e após a ampliação do diâmetro de adução, foram elaborados gráficos comparando as pressões registradas pelos *dataloggers* ao longo dos 7 dias antes da troca, e nos 7 dias após a troca rede. Esses gráficos estão no anexo C deste trabalho

De forma geral, é possível analisar como a ampliação da rede trouxe uma folga operacional considerável para o sistema:

- O ponto 1 (Figura 129), que foi medido logo após a interligação entre as redes de adução e distribuição, obteve o ganho de pressão mais expressivo, já que em horários de baixo consumo (próximo da 00h) houve um acréscimo de aproximadamente 5 mca, já em horários críticos como 12h, a rede deixou de perder aproximadamente 20 mca, valor próximo dos 18 mca apresentados pela simulação hidráulica (Figura 49 e Figura 50);
- Nos pontos 3, 4 e 5 (Figura 130 a Figura 132), a pressão máxima disponível mante-se estável nos horários de baixo consumo. Porém quando o consumo aumentou, é possível observar o acréscimo de pressão disponível na rede;
- O Ponto 6 (Figura 133) apresenta comportamento similar aos listados no último tópico, mas sua análise foi realizada de forma separada devido a um motivo: é possível perceber que após o dia 26/06/2020 ocorre uma despressurização na rede, que volta a apresentar os mesmos valores de pressão de antes da troca da rede. Essa queda foi devido a um vazamento próximo a EAT Benvenuti (Figura 33) e que só foi detectado e consertado após a retirada dos *dataloggers*. Vazamentos como esses são comuns após melhorias de pressão na rede e também abertura e fechamentos de registros.

- No sistema de telemetria, analisando o gráfico da pressão de entrada da EAT Próspero Cadore, é possível observar o comportamento da pressão disponível antes e após a intervenção. Antes da intervenção, a pressão média de entrada era de 15 mca (linha vermelha) e após a intervenção, esse valor saltou para próximo de 30 mca (linha azul).

Figura 80 - Análise pressão de entrada, EAT Prospero Cadore.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

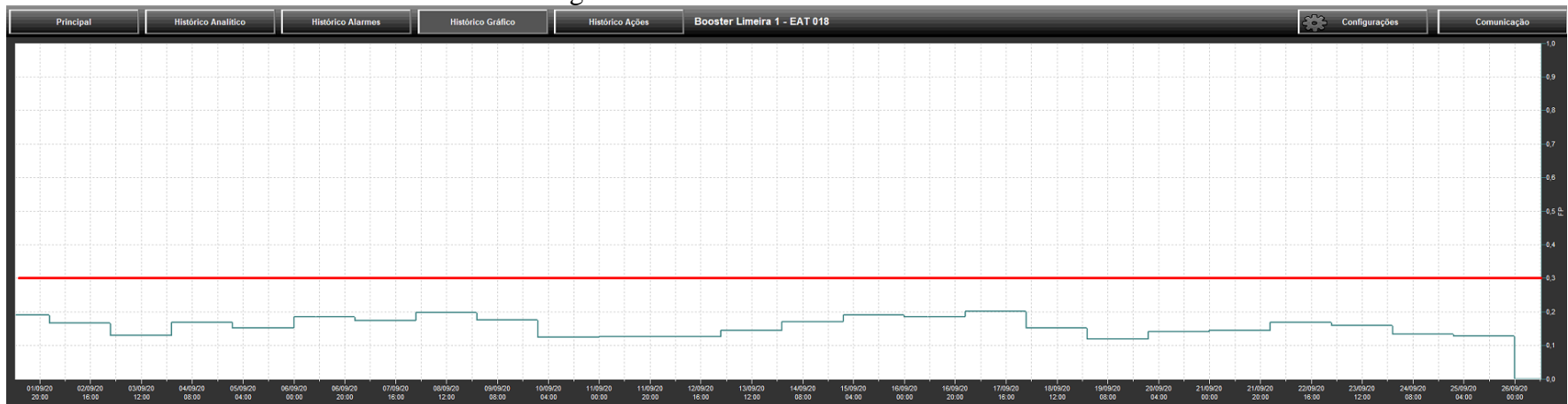
#### 4.4.1.2 Controle Ativo de Vazamentos

##### 4.4.1.2.1 Fator de Pesquisa

Foram consultados todos os FPs disponíveis para a área de abrangência do SI Limeira, sempre procurando por valores acima de 0,3. As análises estão nas figuras abaixo, onde a linha vermelha indica o limite de 0,3.

- **EAT Limeira 01:** Situação ok, valores de FP abaixo de 0,2.

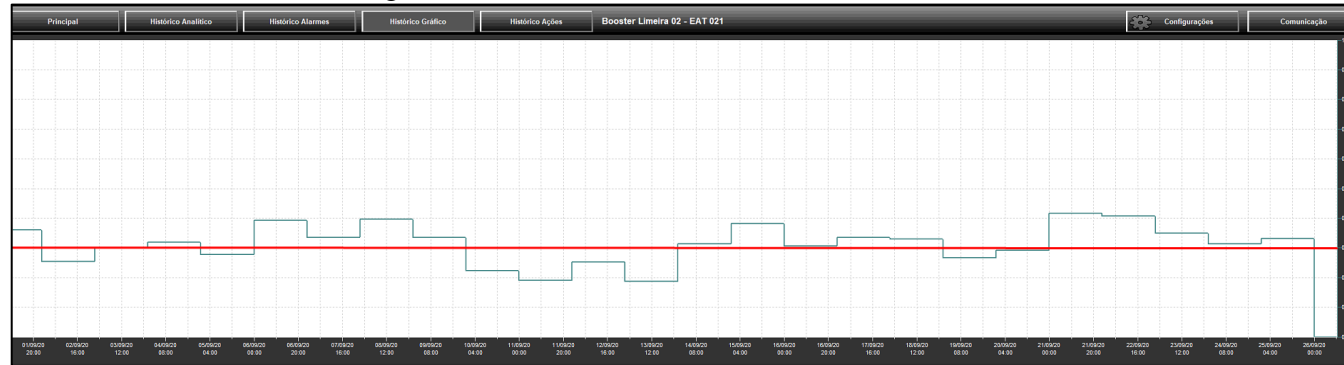
Figura 81 - Análise FP – EAT Limeira 01.



Fonte: SAMAE (2020).

- **EAT Limeira 02:** Realizar varredura, FP apresenta valores ligeiramente superiores a 0,3.

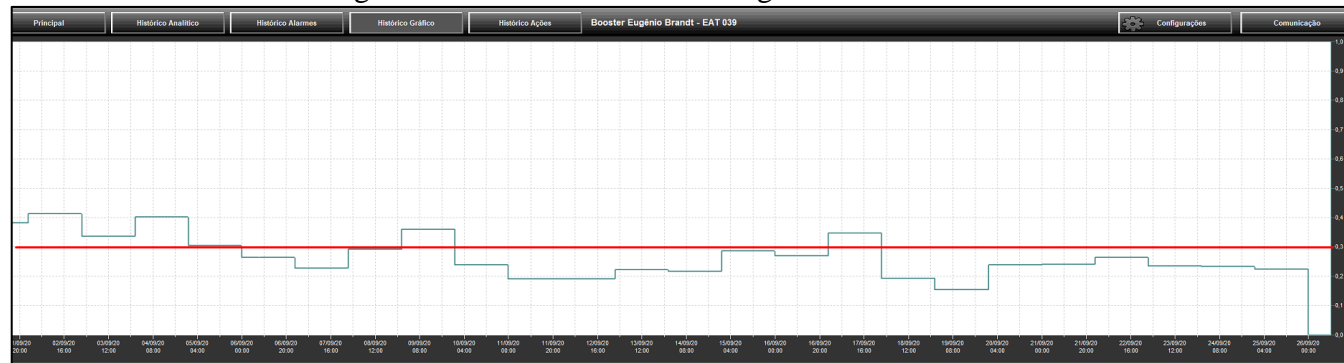
Figura 82 - Análise FP – EAT Limeira 02.



Fonte: SAMAE (2020).

- **EAT Eugênio Brandt:** Situação ok, valores de FP abaixo de 0,3.

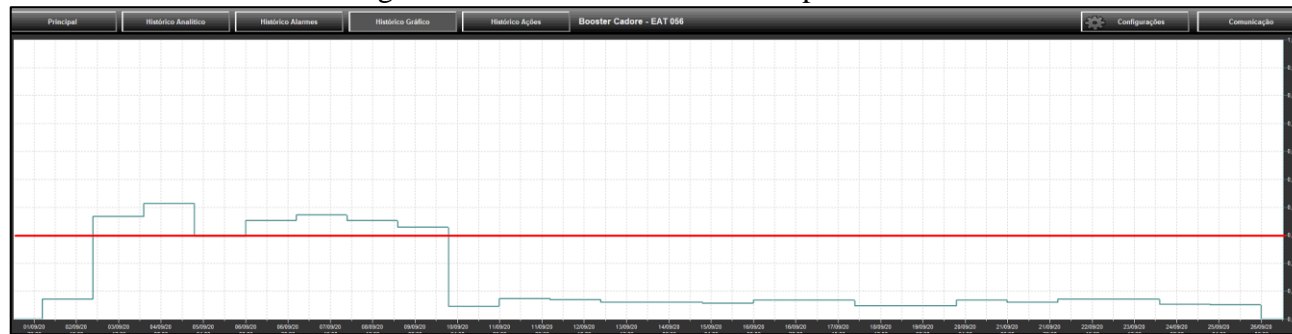
Figura 83 - Análise FP – EAT Eugênio Brandt.



Fonte: SAMAE (2020).

- **EAT Prospero Cadore:** Situação ok, mas vale ressaltar que no início do mês os valores ficaram elevados por mais de uma semana e após isso, reduziram para menos 0,1. A situação foi levada ao SAMAE, que por sua vez não soube informar se foi realizado algum reparo de rede no período.

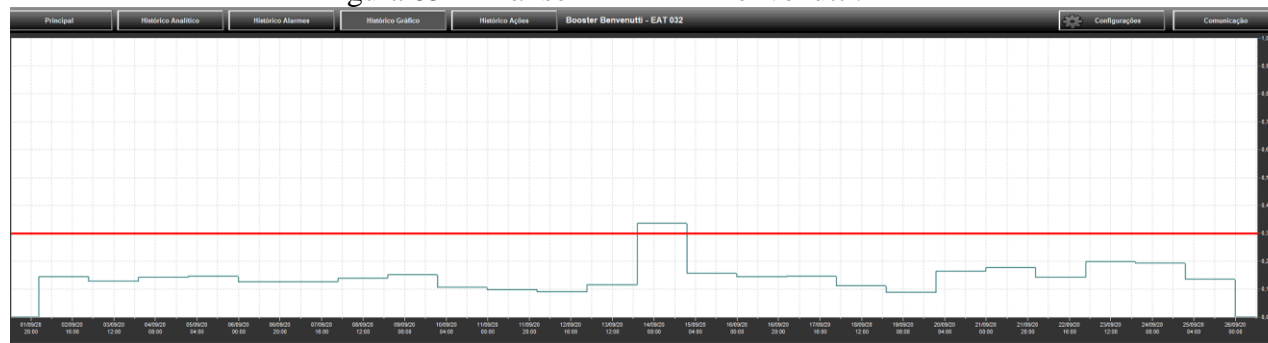
Figura 84 - Análise FP – EAT Prospero Cadore.



Fonte: SAMAE (2020).

- **EAT Benvenuti:** Situação ok, valores de FP abaixo de 0,3.

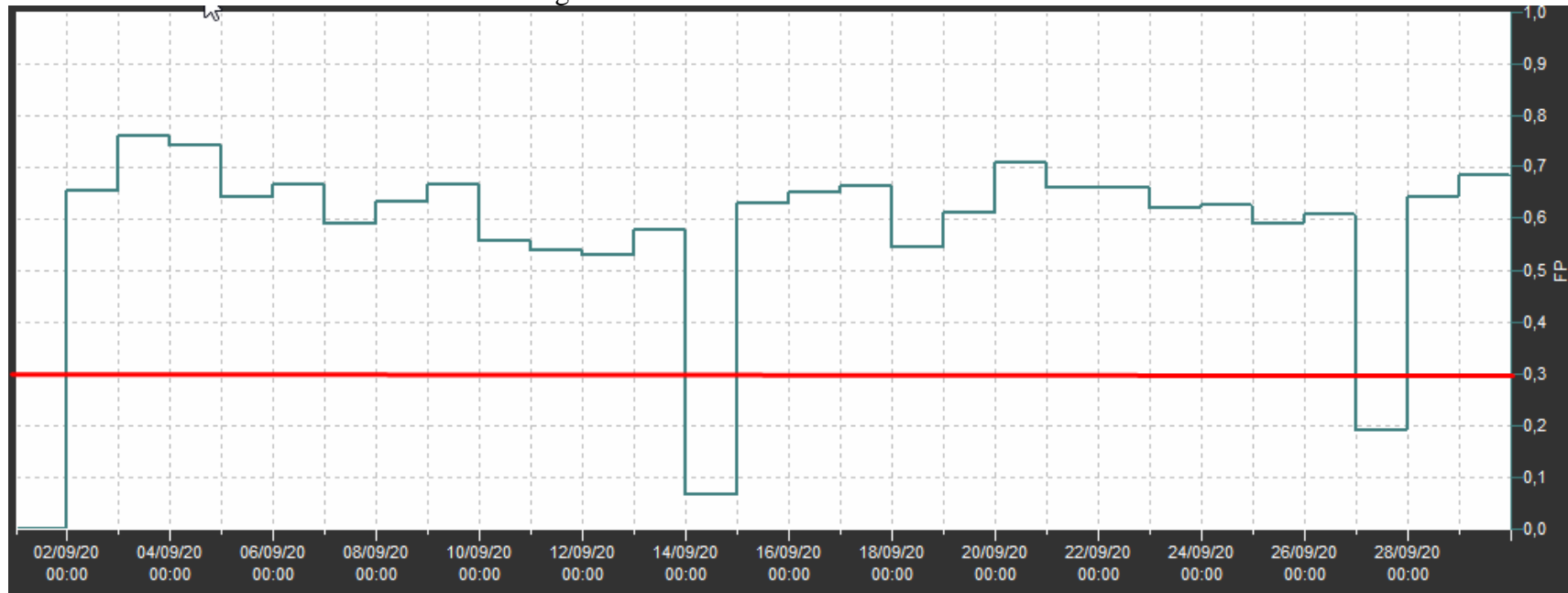
Figura 85 - Análise FP – EAT Benvenuti.



Fonte: SAMAE (2020).

- **EAT Boemia:** Situação completamente desfavorável, além de apresentar o FP acima de 0,5 durante todo o mês de outubro, a análise realizada na análise do BH demonstrou que os valores já são superiores a 0,3 desde o início ano, quando o monitoramento do FP foi iniciado por parte do SAMAE.

Figura 86 - Análise FP – EAT Boemia.



Fonte: SAMAE (2020).

Após essa análise, foi definido que seriam realizadas varreduras com hastes de escuta nas **áreas da EAT Limeira 02 e EAT Boemia.**

#### 4.4.1.2.2 Pesquisa de Vazamentos

A primeira etapa da pesquisa de vazamentos foi a varredura com haste de escuta, realizada no dia 01/10/2020. O equipamento utilizado foi a haste de escuta 4FLUID e os locais vistoriados foram as áreas da EAT Boemia (Figura 87) EAT Limeira 02 (Figura 88).

Figura 87 - EAT Boemia.



Fonte: Autor (2020).

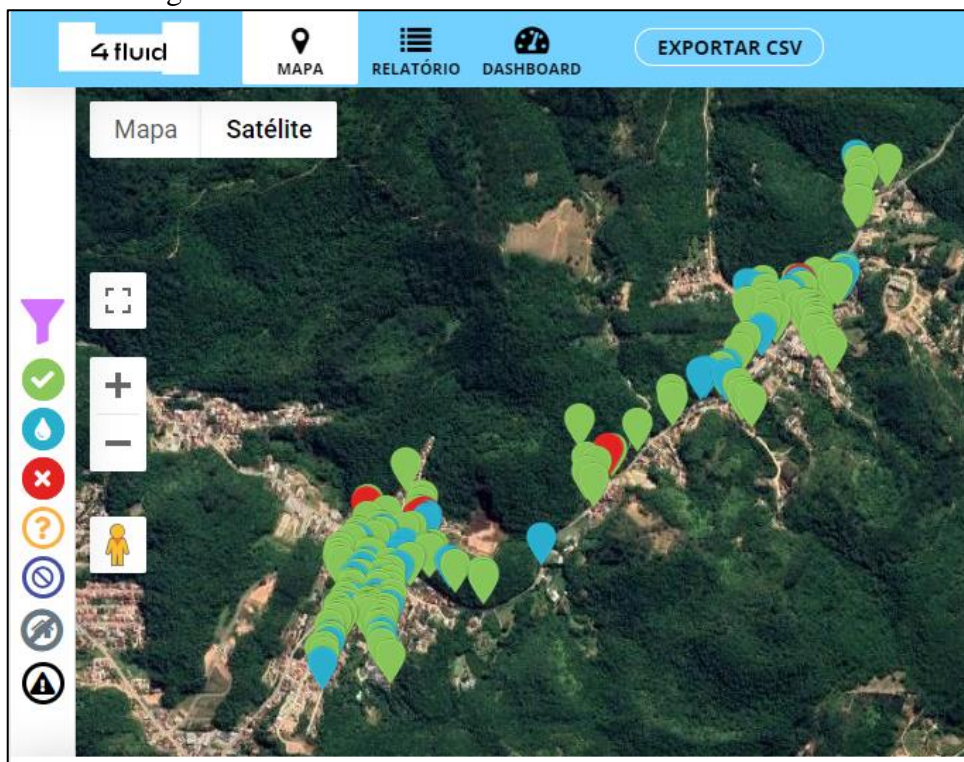
Figura 88 - EAT Limeira 02.



Fonte: Autor (2020).

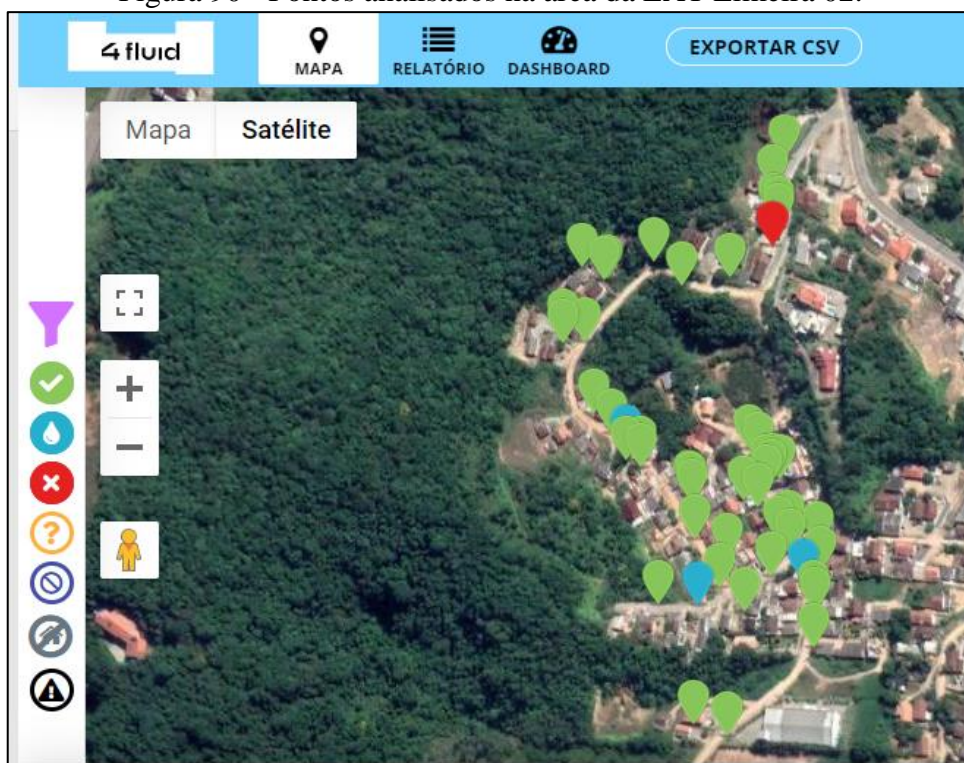
No total foram coletadas 252 amostras de áudio (Figura 89 e Figura 90), que foram enviadas para nuvem e analisadas pelo *software* da empresa Status4, em busca de algum vazamento ou fraude. No total foram detectados 7 possíveis pontos suspeitos, sendo 6 na área EAT Boemia e 1 na área da EAT Limeira 02 (Figura 91).

Figura 89 - Pontos analisados na área da EAT Boemia.



Fonte: Status4 (2020).

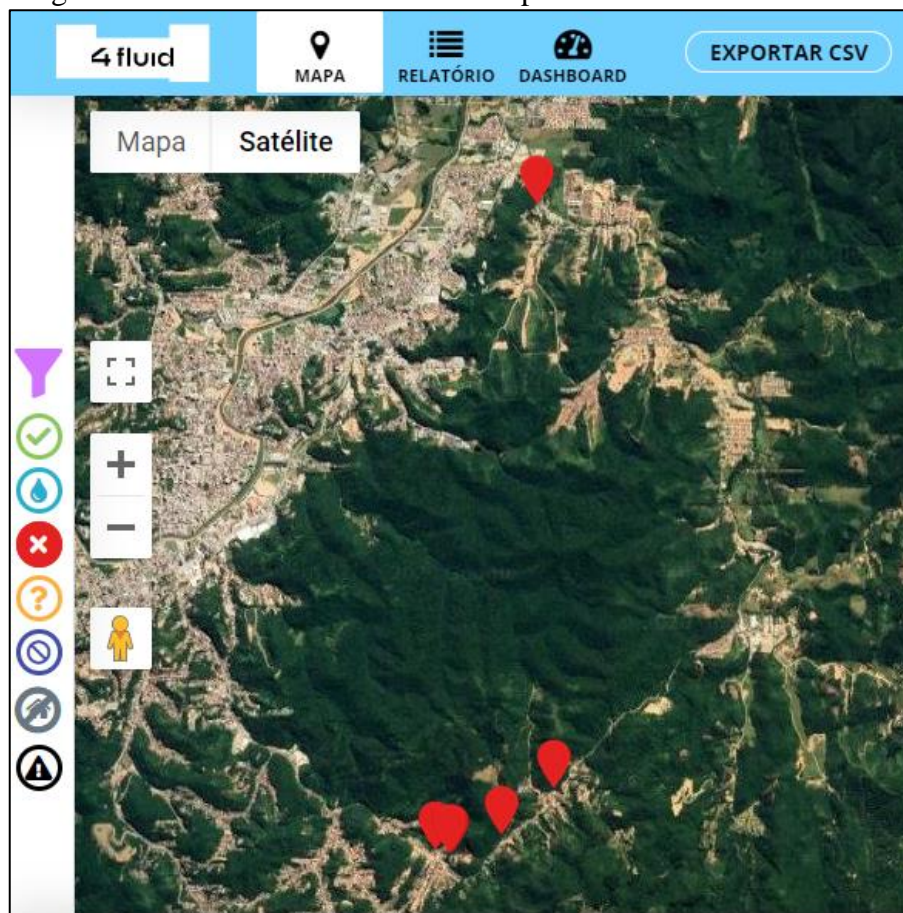
Figura 90 - Pontos analisados na área da EAT Limeira 02.



Fonte: Status4 (2020).



Figura 91 - Pontos indicados como suspeitos através da haste 4fluid.



Fonte: Status4 (2020).

A segunda etapa, que consistiu em analisar através da ferramenta *Darwin Leakage Detector* do software *WaterGEMS*, a área da EAT Boemia em busca de pontos com maior potencial de vazamento, de forma a complementar os resultados da varredura com haste de escuta, tornando o geofonamento ainda mais preciso. Os pontos apontados pelo modelo com maior potencial de vazamento estão indicados na Figura 92, em vermelho.

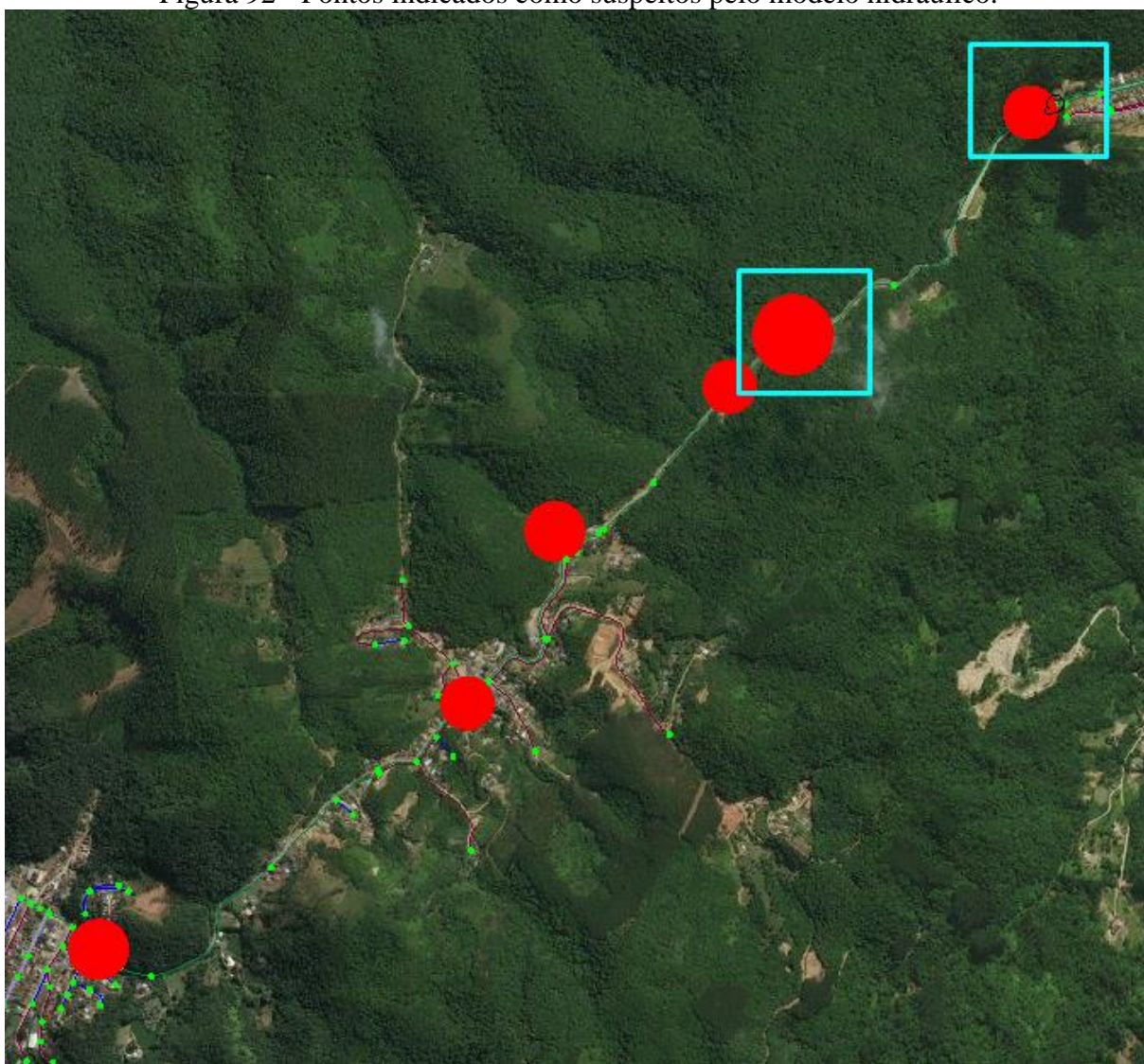
Dentre os pontos identificados pelo modelo, uma atenção maior deve ser dada aos locais marcados com um retângulo azul claro:

- Ambos estão localizados na linha de recalque da EAT Boemia, que é uma rede antiga de PVC com diâmetro pequeno (DN100) e que permanece pressurizada com mais de 120 mca diariamente;
- A via onde a tubulação está implantada é muito íngreme e possui inúmeras trincas no asfalto, não sendo incomum quedas de barreira no local devido a elevada velocidade que a água da chuva alcança devido a inclinação do local. Esses fatos

contribuem para que em algum trecho de tubulação ou principalmente, conexão, exista um vazamento acarretado por essa movimentação intensa de solo.

- Os resultados das varreduras e da simulação de vazamentos foram enviados ao SAMAE, com o intuito que o geofonamento fosse executado nas áreas de interesse.

Figura 92 - Pontos indicados como suspeitos pelo modelo hidráulico.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

#### 4.4.1.3 Extravasamento de Reservatórios

Após a solicitação feita pelo Eng. Diego Peña, foi realizada no dia 13/07/2020 pela empresa MKS, a aferição do sensor de nível localizado no reservatório da Limeira, conforme destaque na Figura 93.

Figura 93 - Ordem de serviço da aferição do sensor de nível, 13/07/2020.

MKS		Cliente Samae Brusque / CONTRATO n. 002/2020 - Julho		
Nº	Tipo	Descrição	Data inicio	Data Final
30	2	Adição do novo objeto de preventiva em todas as estações	13/07/2020 08:40:00	13/07/2020 08:55:00
			13/07/2020 09:25:00	13/07/2020 10:25:00
			13/07/2020 11:20:00	13/07/2020 11:45:00
			13/07/2020 12:05:00	13/07/2020 12:35:00
			13/07/2020 14:35:00	13/07/2020 15:10:00
		SI Limeira: Preventiva Completa. Calibrações dos sensores, Reservatório e Nível do Ribeirão (Defesa Civil. Foi necessário cavar a areia do Ribeirão para encontrar o sensor que ficou submerso na areia), testes com Leonardo. Pluviômetro não marcou as Bateladas;	13/07/2020 07:00:00	13/07/2020 13:55:00

Fonte: SAMAE (2020).

Em relação ao novo reservatório, no dia 05/11/2020 foi executada sua interligação com a rede de distribuição (Figura 94), dessa forma o reservatório já está abastecendo a área da Limeira. A instalação do sensor de nível foi agendada para o mês de dezembro, evitando assim futuros episódios de extravasamento nos dois reservatórios do SI Limeira.

Figura 94 – Interligação do novo reservatório, 05/11/2020.



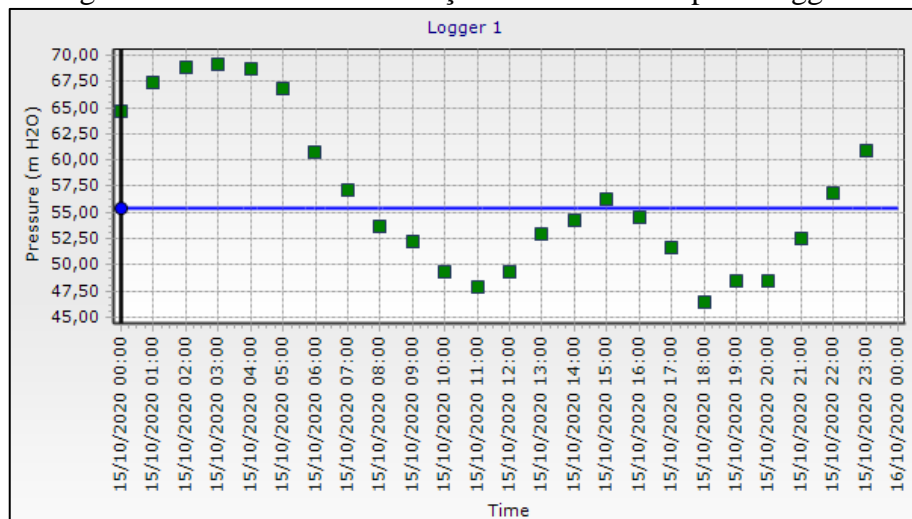
Fonte: SAMAE (2020).

#### 4.4.1.4 Gerenciamento de Pressões

Foi utilizado o cenário do modelo hidráulico criado com o intuito de prospectar vazamentos, para que fossem analisada uma melhor configuração da VRP localizada na área da EAT Boemia.

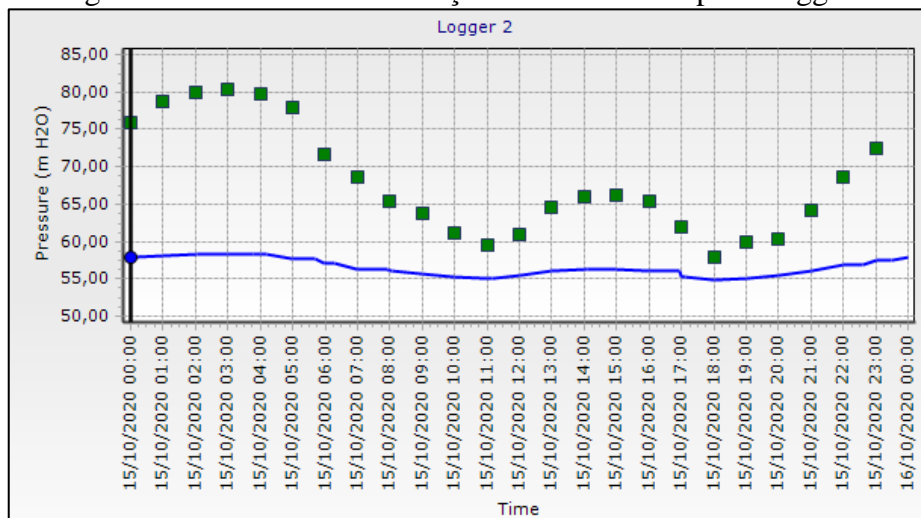
Foram utilizados os dados dos *dataloggers* instalados no dia 15/10/2020 (Figura 45) e foram comparados os dados das simulações com os dados registrados pelos equipamentos. Essas comparações são exibidas nas figuras abaixo, com a linha azul representando os resultados simulados e os quadrados verdes, os dados monitorados.

Figura 95 – Resultados simulação e dados de campo – Logger 1.



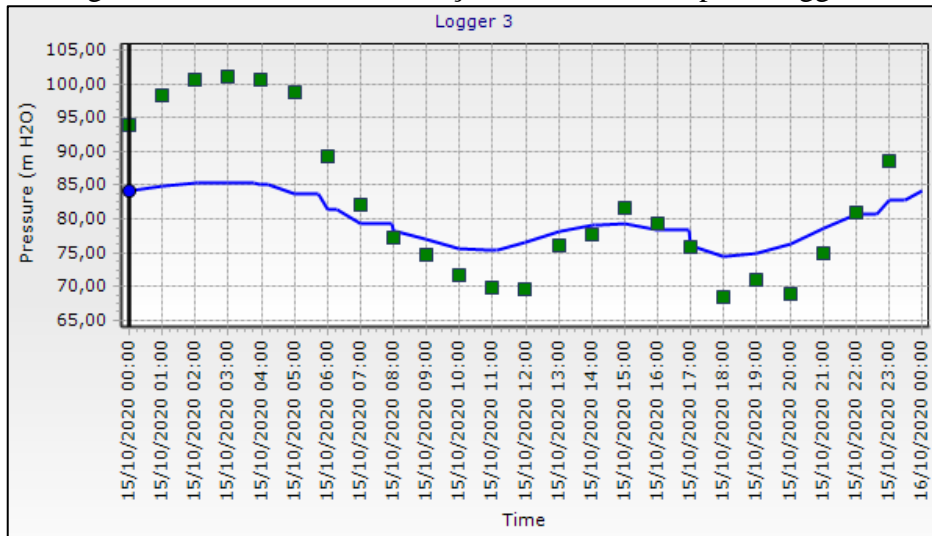
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 96 – Resultados simulação e dados de campo – Logger 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 97 – Resultados simulação e dados de campo – Logger 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Ao analisar os gráficos, foi possível identificar que a pressão disponível na área analisada é muito maior que o que deveria ocorrer, já que de acordo com dados do SAMAE, a VRP tinha uma configuração fixa para liberar 55 mca. Na Figura 95, que apresenta os dados do *datalogger* 1 e que foi instalado logo após a VRP, é possível observar bem esse fato, com os valores de simulação fixo no valor de 55 mca.

Foi solicitado então ao SAMAE, que fosse realizada uma vistoria na VRP, com o intuito de verificar o que poderia estar fora do padrão e que resultasse nessa pressão mais elevada que o planejado. A vistoria foi realizada no dia 05/11/2020 e no local foi observado que a VRP estava soterrada, já que fica localizada em um declive e a areia carregada pela chuva ao descer o morro, encheu a caixa da VRP de areia e lama (Figura 98). Esse fator já seria suficiente para explicar o mau funcionamento da VRP, porém após a limpeza do local (Figura 100), foi detectado que a configuração da válvula estava em 58 mca (Figura 102) e não nos 50 que o SAMAE tinha em cadastro. Essa configuração foi modificada para 48 mca (Figura 103) e uma nova tampa foi colocada no local (Figura 101). Sobre as condições da instalação do local, sugere-se que seja executada uma caixa com laje de concreto e com tampão de FoFo, justamente para evitar a entrada de sólidos que possam influenciar o funcionamento da válvula.

Figura 98 – Local da VRP obstruído.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 99 – Limpeza sendo realizada.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 100 – Limpeza sendo realizada.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 101 – Nova tampa instalada.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 102 – Configuração antiga, 58 mca.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 103 – Configuração atual, 48 mca.

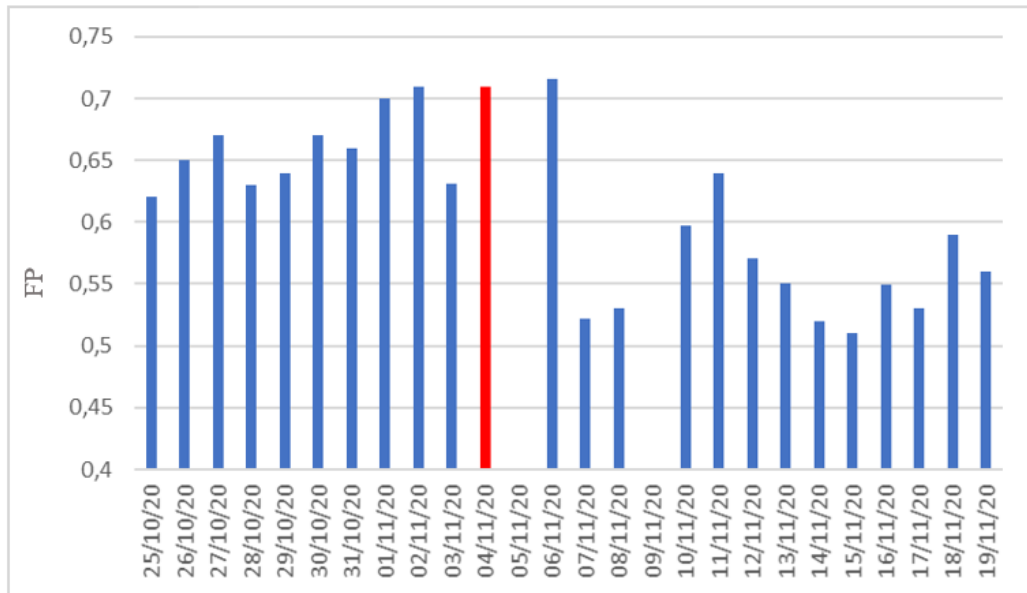


Fonte: SAMAE (2020).

Essa alteração na VRP trouxe benefícios imediatos, como pode ser observado na Figura 104, em que após o dia 04/11 ocorre uma diminuição no FP calculado para a área da EAT Boemia, saindo de níveis próximos a 0,7 para estabilizar próximo dos 0,55.

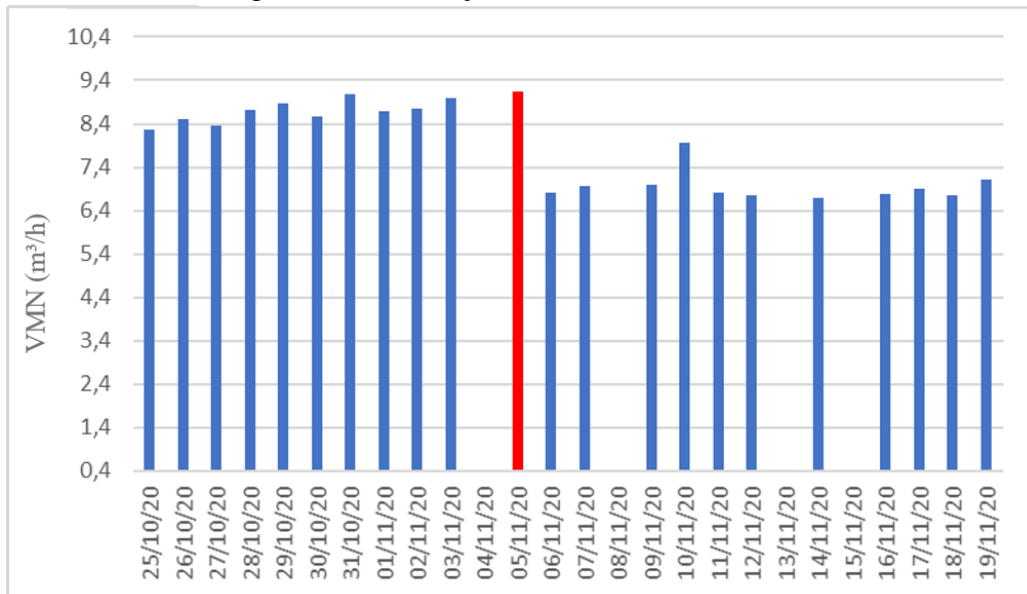
Também houve uma diminuição na VMN medida pelo macromedidor, reduzindo de valores próximos a 8,5 m<sup>3</sup>/h para 6,5 m<sup>3</sup>/h, uma queda de aproximadamente 25%. Apesar da redução observada, é de extrema importância que o geofonamento seja realizado nos pontos assinalados, para que seja possível reduzir o FP para níveis abaixo de 0,30.

Figura 104 - Variação do FP, EAT Boemia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 105 - Variação da VMN, EAT Boemia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Outro ponto preocupante em relação às pressões na área de estudo, foi detectado ao observar os dados do *datalogger* 3, instalado na esquina entre as Ruas Poço Fundo e Paulo Tormena. Essa zona é crítica para o gerenciamento das pressões no setor devido ao fato que os pontos mais baixo e mais alto se encontram nesta região: a esquina Ruas Poço Fundo e Paulo Tormena está na cota 54,61m e o topo da Rua Paulo Tormena, na cota 108,92 m.

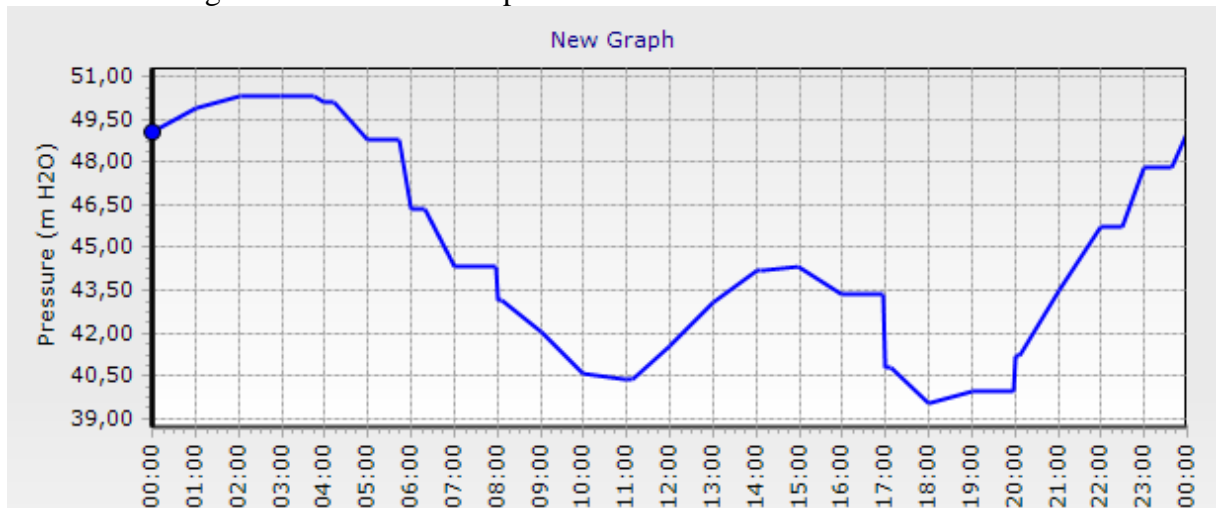


Essa diferença de nível, que exige uma pressão considerável para abastecer a cota mais alta, aliado a desconfiguração da VRP, resulta em pressões acima dos 100 mca próximo da 03h00 (Figura 97). Esse valor é duas vezes maior que a pressão máxima indicada na NBR 12218, que é de 50 mca.

Levando esse fator em conta, foram realizadas simulações em que o abastecimento da Rua Paulo Tormena seria realizado através de um *booster* instalado em sua esquina, ou seja, não seriam necessárias pressões excessivas no início da rua para que o topo da rua fosse abastecido. Com isso, acarretaria numa folga operacional para a VRP que poderia ter sua configuração reduzida, resultando em menores pressões disponíveis nas redes, e consequentemente menos (e menores) vazamentos.

Essas simulações apontaram que configurar a VRP para 20 mca – menos da metade do valor atual – seria o ideal considerando o ponto crítico citado acima, diminuindo as pressões noturnas em 50%, para valores próximos dos 50 mca previsto em norma. Essa configuração também permitiu que as áreas mais altas do sistema (exceto a Rua Paulo Tormena, abastecida por *booster*), continuassem pressurizadas nos períodos críticos de consumo.

Figura 106 - Pressões no ponto mais baixo na área da EAT Boemia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Estava previsto nesse trabalho, uma análise econômica da instalação do *booster*, porém, devido à estiagem enfrentada pelo município de Brusque, a área de abastecimento da

EAT Boemia teve que ser ampliada através de manobras de registros, impossibilitando que a análise fosse realizada

Para o levantamento desses dados, os *dataloggers* seriam instalados nos mesmos locais e a VRP seria modificada para 20 mca, conforme indicado pelo modelo hidráulico. O VDPR seria recalculado através da metodologia da VMN e com diferença entre os VDPRs calculados para 15/10 (VRP desregulada) e o da nova análise seria calculado o *payback* simples do *booster*, comparando o valor de sua implantação com o valor da economia mensal de água gerado através da redução da pressão da VRP.

#### **4.4.2 Compatibilização do Cadastro Comercial**

Após análise e compatibilização das 2462 ligações ativas no SI Limeira, foi identificado que 1260 ligações estavam fora dos padrões de designação estabelecidos pela NBR NM 212/02, esse valor representa 51,20% do total.

Em relação aos fabricantes dos hidrômetros, 1135 (46,10%) apresentavam em cadastro o fabricante conforme a norma, e entre os 1327 restantes (que estavam em desacordo com a norma), 1281 não possuíam informações cadastradas sobre o fabricante.

Em relação aos dados de vazões dos hidrômetros no cadastro, 1202 continham a informação e os outros 1260 não, o que resulta em 48,82% dos hidrômetros em desconformidade.

Esses resultados, em um primeiro momento podem não trazer resultados para a gestão de perdas, mas é de extrema importância que as características dos hidrômetros de uma ligação estejam atualizadas no cadastro de uma companhia de saneamento. Alguns exemplos desse tipo encontrados em Brusque são as ligações 32335, 17088 e 32278 em que o código de cadastro se encontra dentro do padrão da norma, mas a vazão nominal dos hidrômetros está cadastrada como 3,0 m<sup>3</sup>/h, que na verdade é a vazão máxima destes equipamentos.

São pequenos erros, mas se considerarmos 48,70% de cadastros com algum dado incorreto (média dos valores encontrados acima), para o universo das 34500 ligações do SAMAE, temos aproximadamente 16800 ligações com inconsistências cadastrais, que contribuem para uma gestão do parque de hidrômetros não efetiva.

### 4.4.3 Perdas Aparentes

#### 4.4.3.1 Análise do Parque de Hidrômetros

Os resultados das análises dos três fatores encontram-se abaixo:

**Vazões:** A análise dos LSC e LIF apontou que uma ligação deveria ter seu hidrômetro trocado considerando o LSC, porém outras três também foram selecionadas devido ao seu consumo mensal recente estar acima do LSC. Sobre o LIF, essa análise apontou que 171 hidrômetros deveriam ser trocados, porém como o SAMAE utiliza do consumo mínimo de 10 m<sup>3</sup> em suas faturas, ter mais precisão nas leituras desses consumos não traria aumento na receita, já que o LIF para hidrômetros “A” (vazão nominal de 1,5 m<sup>3</sup>/h) é de 3,6 m<sup>3</sup>.

Tabela 15 - Resultados da análise do LSC e LIC.

Nº LIGAÇÃO	NOME	LSC [M <sup>3</sup> /MÊS]	CONSUMO MÉDIO 6 MESES [M <sup>3</sup> /MÊS]	TROCAR
32335	Condomínio Solar das Bromélias	900	2123	Sim
20433	Willrich IND e COM Têxtil LTDA	360	315,67	Sim*
29506	Residencial Santa Catarina	360	323	Sim*
20547	Walendowsky Dist Comb	360	343,50	Sim*

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

De acordo com a equipe do SAMAE, o hidrômetro instalado na ligação de nº 32335 é trocado ao menos uma vez por ano, já que acaba travando devido as elevadas vazões que registra e sempre é instalado um equipamento com as **mesmas** características: vazão nominal de 3,5 m<sup>3</sup>/h e LSC de 1260 m<sup>3</sup>/mês, quase 50% menor que o consumo médio mensal dos últimos 12 meses. Esse subdimensionamento do hidrômetro influencia diretamente no

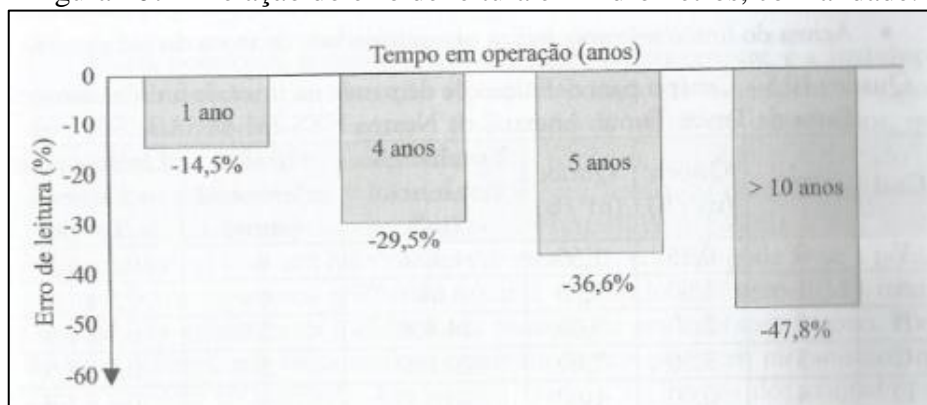
faturamento do SAMAE, já que essa ligação apresenta o segundo maior consumo do SAA do município, representando no mês de outubro de 2020 0,40% do consumo micromedido total.

Utilizando um índice de submedição estimado em 15% e o consumo médio dos últimos 12 meses de 2220 m<sup>3</sup>/mês, temos que 3996 m<sup>3</sup> deixaram de ser medidos e faturados no último ano, o que representa R\$ 35.764,20 se considerarmos o valor de R\$ 8,95 por m<sup>3</sup> para essa faixa de consumo.

**Idade do Parque de Hidrômetros:** Aqui foram obtidos os resultados mais críticos em relação ao parque de hidrômetros, tanto em relação a idade do parque, mas principalmente quanto aos dados do cadastro.

A idade média dos hidrômetros instalados na área do SI Limeira é de **4,36 anos**, o que representa um índice considerável de submedição para a área, já que de acordo com Gomes (2019), temos poucas informações sobre os fatores que influenciam no desempenho dos hidrômetros ao longo dos anos, mas que o fator idade possui impacto relevante sobre a eficiência de medição dos equipamentos, como pode ser observado na Figura 107.

Figura 107 – Relação do erro de leitura em hidrômetros, com a idade.



Fonte: GOMES (2019).

Atualmente, o SAMAE não faz um acompanhamento eficaz do seu parque de hidrômetros, efetuando as trocas dos hidrômetros por rotas comerciais e somente quando os equipamentos completam 10 anos instalação.

Essas trocas são realizadas com base nas datas de instalação do cadastro, porém ao analisar esses dados, foi observado que entre as 2462 ligações: 249 (10%) apresentavam dados confiáveis em relação as datas, 2018 (82%) possuíam a data de instalação igual a data

de fabricação e 193 (8%) não possuíam data de instalação cadastrada, ou seja, qualquer resultado que seja obtido através do cadastro comercial, não apresenta confiabilidade.

Tanto em relação às características técnicas dos hidrômetros quanto em relação as idades dos hidrômetros, é necessário que seja realizada uma profunda atualização do cadastro comercial do SAMAE, a fim de que os dados possam ser confiáveis e passem a gerar análises reais da atual situação do parque de hidrômetros.

**Análise do Fator de Troca:** Na Tabela 16 estão os hidrômetros que apresentaram FT que indicavam no mínimo a necessidade da troca, juntamente com os parâmetros calculados pelas equações 8, 9 e 10.

O hidrômetro instalado na ligação nº 32335, e que já havia acusado troca na análise do LSC, foi o com FT mais elevado, cerca de 4 vezes o limite máximo para esse índice, esse valor foi influenciado principalmente pelo CT, devido aos elevados volumes totalizados. A outra ligação que apresentou FT acima do máximo foi a de nº 29506, com um FT de 2,37, nesse caso o principal fator foi a idade do hidrômetro, com quase 9 anos de instalação.

Em relação aos hidrômetros que apresentaram o alerta de “Indica Troca”, todos foram repassados ao SAMAE como trocas devido ao elevado grau de incerteza dos dados do cadastro comercial, principalmente no que diz respeito as datas de instalação. Outro fator que motivou essa decisão, foi que em conversas com membros da equipe do SAMAE responsável pelas trocas dos hidrômetros, foi informado que muitas vezes um hidrômetro é retirado de um local e instalado em outro, e quando essa informação vai para o cadastro, uma nova data de instalação é adicionada, descartando o tempo que ele ficou instalado no outro local, exemplo: um hidrômetro com 3 anos (data de instalação de 2018) é trocado devido ao subdimensionamento de uma ligação, e apresenta erros de leitura dentro dos 5% definidos por norma, e acaba sendo instalado em outro local, a nova data de instalação no cadastro será de 2020, e quando o SAMAE for realizar sua troca no ano de 2030, o hidrômetro terá 13 anos de instalação.

Tabela 16 - Resultados da análise do FT

<b>Nº LIGAÇÃO</b>	<b>NOME</b>	<b>IDADE HD [ANOS]</b>	<b>TOTALIZADOR [M³]</b>	<b>CT</b>	<b>CI</b>	<b>FT</b>	<b>ALERTA DE TROCA</b>
32335	CONDOMINIO SOLAR DAS BROMELIAS	6,56	102550,00	5,09	1,31	<b>6,68</b>	TROCAR
29506	RESIDENCIAL SANTA CATARINA	8,46	19365,00	2,24	1,06	<b>2,37</b>	TROCAR
20433	WILLRICH IND E COM TEXTIL LTDA	4,78	18895,00	2,19	0,60	1,31	INDICA TROCA
29428	PMB/CMEI VO ROSA DALAGO	8,54	9400,00	1,09	1,07	1,16	INDICA TROCA
23231	PMB/CMEI ALBERTO PRETTI	7,14	6902,00	0,80	0,89	0,71	INDICA TROCA
16621	LAURI RAITZ	4,03	10581,00	1,22	0,50	0,62	INDICA TROCA
20547	WALENDOWSKY DIST. COMB. LTDA.	5,87	6825,00	0,79	0,73	0,58	INDICA TROCA
15565	AUGUSTINHO LUIZ TORRESANI	8,08	4800,00	0,56	1,01	0,56	INDICA TROCA

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

#### 4.4.3.2 Troca de Hidrômetros

Como citado no tópico 3.5.3.2, as trocas de hidrômetro são realizadas pelo SAMAE quando os hidrômetros completam 10 anos de idade no ano corrente. Considerando as trocas programadas para o ano de 2020 e as adiantadas do ano de 2021, foram trocados 196 hidrômetros, sendo 90 para o ano de 2020 e 106 para 2021.

Além destes hidrômetros que já estavam previstos, também foram trocados seis dos sete hidrômetros apontados nos dois tópicos acima, conforme dimensionamento repassado ao SAMAE e listados na Tabela 17. O hidrômetro da ligação nº 20547 e destacada em vermelho não foi trocado, pois o cliente instalou um poço em sua propriedade o consumo da água produzida pelo SAMAE irá reduzir bastante, não justificando o investimento da troca do hidrômetro.

Tabela 17 - Especificações dos Hidrômetros redimensionados.

Nº LIGAÇÃO	NOME TITULAR	ESPECIFICAÇÃO NOVO HIDRÔMETRO			
		CÓDIGO	Q NOMINAL [M³/H]	Q MÁXIMA [M³/H]	LSC [M³/MÊS]
32335	CONDOMÍNIO SOLAR DAS BROMELIAS	E	10	20	3600
20433	WILLRICH IND E COM TEXTIL LTDA	B	2,5	5	900
29506	RESIDENCIAL SANTA CATARINA	B	2,5	5	900
20547	WALENDOWSKY DIST. COMB. LTDA.	B	2,5	5	900
29428	PMB/CMEI VO ROSA DALAGO	B	2,5	5	900
23231	PMB/CMEI ALBERTO PRETTI	B	2,5	5	900
16621	LAURI RAITZ	B	2,5	5	900

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As fotos a seguir são das trocas realizadas baseadas nos critérios de LSC e FT.

Figura 108 – Ligação 29428.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 109 – Ligação 23231.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 110 – Ligação 20433.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 111 – Ligação 16621.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 112 – Ligação 29506.



Fonte: SAMAE (2020).

Figura 113 – Ligação 32335.



Fonte: Autor (2020).



Figura 114 – Local da ligação 32235, Condomínio Residencial 4 torres.



Fonte: Autor (2020).

A comparação do parque de hidrômetros do SI Limeira antes e após a troca desses 202 hidrômetros gerou algumas análises interessantes:

- Antes das trocas, 1263 hidrômetros estavam fora do padrão de designação da NBR NM 212/02 e após as trocas esse número caiu para 1065, uma redução de 198 hidrômetros, sendo que 4 dos hidrômetros trocados ainda foram cadastrados errado. Em termos percentuais, houve uma redução de 51% para 43% dos códigos fora do padrão;
- A Tabela 18 apresenta um comparativo entre número de hidrômetros por fabricantes, considerando o cadastro e a Norma. A coluna “Cadastro” apresenta os dados presentes no cadastro e a coluna “NR”, o correto de acordo com a norma. É possível perceber como os valores destoam em um dado simples e que deveria ser claro e acessível, de forma que o SAMAE não tem hoje pleno conhecimento dos fabricantes dos hidrômetros instalados no município.

Tabela 18 – Comparativo dos fabricantes dos hidrômetros, antes e após as trocas.

RETIRADOS DA PLANILHA GERAL		QUANTIDADE FABRICANTES			
FABRICANTE	CÓDIGO	ANTES TROCA		APÓS TROCA	
		CADASTRO	NR	CADASTRO	NR
Actaris	A	0	70	0	20
Elster	E	0	237	0	237
FAE	F	720	1011	720	1012
Hydrus	B	1	1	1	1
Itron	C ou IC	50	346	50	346
LAO	L	290	438	289	361
SAGA	G ou SA	119	242	126	433
Sensus	S	1	117	1	52
<b>Total</b>		<b>1181</b>	<b>2462</b>	<b>1187</b>	<b>2462</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

- A redução da idade média do parque de hidrômetros global e por fabricantes pode ser vista na Tabela 19. Utilizando a curva de submedição da AESBE (2015) e interpolando os valores, houve um aumento do IDM de 1,00% – passando de 87,2% para 88,2%.

Tabela 19 – Idade média do Parque de Hidrômetros.

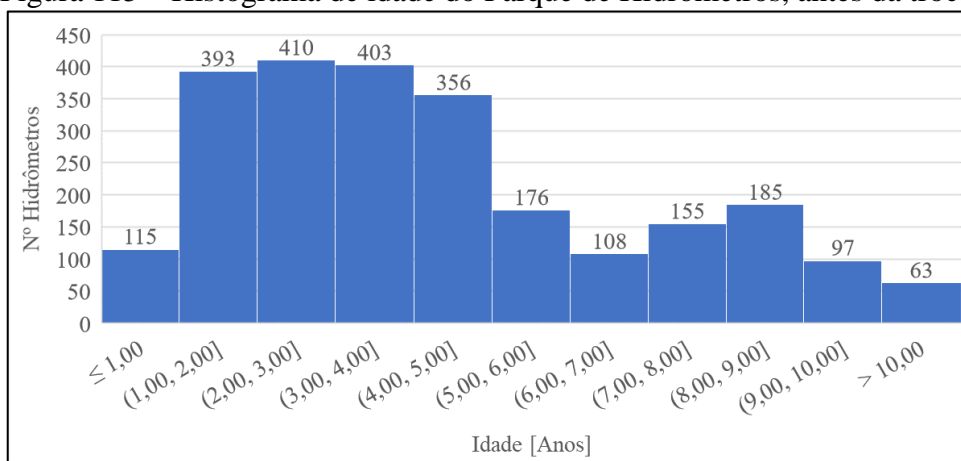
FABRICANTE	ANTES TROCA	APÓS TROCA
<b>Idade Média Global</b>	<b>4,36</b>	<b>3,86</b>
<b>Actaris</b>	9,34	2,42
<b>Elster</b>	7,66	7,89
<b>FAE</b>	3,51	3,78
<b>Hydrus</b>	3,92	4,19
<b>Itron</b>	4,49	4,69
<b>LAO</b>	4,22	2,90
<b>SAGA</b>	1,99	2,26
<b>Sensus</b>	7,03	1,78

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

- Com base nas idades dos hidrômetros antes e após as trocas, foram elaborados histogramas de idade do parque de hidrômetros (Figura 115 e Figura 116), a fim de retratar o impacto que as trocas tiveram na distribuição das idades dos hidrômetros. É possível observar a diminuição da quantidade de hidrômetros com idade acima dos 9 anos de idade, enquanto ocorre um aumento na faixa entre 2 e 5

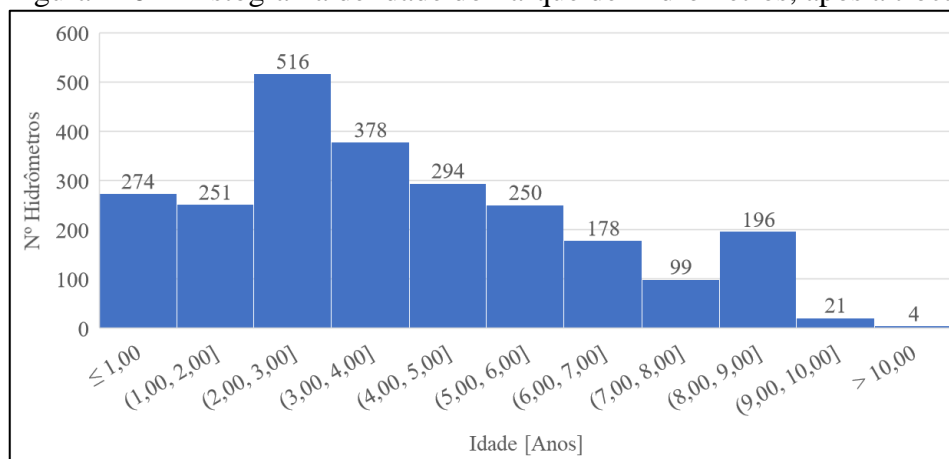
anos de idade. É importante ressaltar porém, que como os dados das instalações dos hidrômetros não são 100% confiáveis, o ideal seria que os 2013 hidrômetros (81,7% dos 2462) com alguma incoerência relativas datas de fabricação e instalação, fossem trocados e compatibilizados de acordo com a norma, para que as análises de idade fossem mais realistas e confiáveis.

Figura 115 – Histograma de idade do Parque de Hidrômetros, antes da troca.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 116 – Histograma de idade do Parque de Hidrômetros, após a troca.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

#### 4.4.3.3 Fiscalização de Ligações

O levantamento realizado pela equipe do SAMAE, responsável pelas trocas de hidrômetros e que utilizou como critério consumos acima de 20 m<sup>3</sup>/mês por economia, teve os resultados resumidos na Tabela 20, já na Tabela 21 temos as irregularidades observadas nas ligações fiscalizadas.

Tabela 20 – Resultado da fiscalização, rota de troca 2011.

<b>Ligações trocadas – 2011</b>	106
<b>Ligações a serem fiscalizadas</b>	32
<b>Inconsistências</b>	8
<b>Erros - %</b>	25%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 21 – Resumo da fiscalização, rota de troca 2011.

<b>LIGAÇÃO</b>	<b>INCONSISTÊNCIA ENCONTRADA</b>
21050	Duas residências no mesmo hidrômetro, uma economia no cadastro.
21994	Duas residências no mesmo hidrômetro, uma economia no cadastro.
28870	Uma casa e um comércio no mesmo hidrômetro somente uma economia residencial no cadastro.
19394	Edifício residencial no terreno, mas somente uma economia residencial no cadastro.
28809	3 hidrômetros no local, porém cadastro conta somente com uma economia.
13821	Hidrômetro deitado.
? <sup>1</sup>	Três residências no mesmo hidrômetro, uma economia no cadastro.

<sup>1</sup> não foi anotado o número da ligação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As fiscalizações realizadas no dia 15/10/2020 durante a varredura com a haste de escuta, não tiveram nenhum critério estabelecido, sendo que a ideia era observar possíveis inconsistências enquanto era realizada a captura de áudios com o equipamento.

Foram vistoriadas 204 ligações na área da EAT Boemia, e os resultados estão de forma resumida na Tabela 22 – Resumo da fiscalização, 15/10/2020.e as fotos tiradas encontram-se abaixo da tabela. Nos locais onde não foi possível acessar o hidrômetro para

conferência do seu código, o nº da ligação foi procurado no cadastro através do endereço, já quando o endereço não constava no cadastro, foi deixado em branco.

Tabela 22 – Resumo da fiscalização, 15/10/2020.

Nº	Nº HD OU LIGAÇÃO	INCONSISTÊNCIA OBSERVADA
1	A19G339940	Hidrômetro deitado e com vazamento.
2	A17L384973	2 residências e 1 comércio no mesmo hidrômetro, cadastro consta somente uma economia residencial.
3	-	4 residências sem hidrômetro.
4	-	Hidrômetro fora do alinhamento do terreno, inclinado e 1 residência mais 2 comércios no mesmo hidrômetro.
5	13499	Hidrômetro fora do alinhamento do terreno.
6	14237	Hidrômetro fora do alinhamento do terreno.
7	22979	Hidrômetro com vazamento.
8	A19G349715	Hidrômetro com vazamento.
9	13942	Hidrômetro danificado.
10	24040	Hidrômetro inclinado.
11	18233	Hidrômetro inclinado.
12	A16F245420	Hidrômetro com vazamento.
13	A16F246975	Hidrômetro inclinado.
14	15010	1 Residência, 1 supermercado e um galpão no mesmo hidrômetro, cadastro consta somente uma economia residencial.
15	A15S490370	Hidrômetro inclinado.
16	A12N273384	Hidrômetro danificado.
17	A12N273633	Hidrômetro danificado.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 117 – HD deitado.



Fonte: Autor (2020).

Figura 118 – Quatro residências sem hidrômetro.



Fonte: Autor (2020).

Figura 119 – 2 residências e 1 comércio no mesmo hidrômetro.



Fonte: Autor (2020).

Figura 120 – HD fora de alinhamento do terreno.



Fonte: Autor (2020).

Figura 121 – HD danificado.



Fonte: Autor (2020).

Figura 122 – HD deitado.



Fonte: Autor (2020).

Figura 123 – HD deitado.



Fonte: Autor (2020).

Figura 124 - 1 Residência, 1 supermercado e um galpão no mesmo hidrômetro.



Fonte: Autor (2020).

Outro ponto analisado foi em relação as economias comerciais do cadastro: ao buscar os endereços e número das ligações para a elaboração da Tabela 22, chamou a atenção o fato de existirem poucas economias comerciais cadastradas: das 365 ligações e 384 economias cadastradas na área da EAT Boemia, existem somente 02 economias comerciais, e por mais que o bairro seja predominantemente residencial, existem mais que dois comércios na localidade.

Esse fato já havia sido detectado em duas das ligações da Tabela 22, mas essa nova análise indica que a desatualização cadastral do SAA é maior que o esperado. Hoje o SAMAE possui 45534 economias residenciais e 3300 economias comerciais em cadastro; se considerarmos um valor de ajuste 2,50 % para economias residenciais e 5% para as comerciais, teríamos um acréscimo de 1139 economias residenciais e 165 economias residenciais ao cadastro.

A política tarifária atual do SAMAE cobra um valor para a taxa de consumo mínimo (10 m<sup>3</sup>/mês) de R\$ 28,79 e R\$ 68,20 para ligações residenciais e comerciais, respectivamente. Logo, esse ajuste do cadastro refletiria em um acréscimo na arrecadação mensal de **R\$ 44.044,81**. É importante ressaltar que esses valores de ajuste de 1,0% e 0,5% foram adotados considerando uma baixa taxa de correção, sendo que o potencial de aumento da arrecadação é muito maior, se for levado em conta os resultados das fiscalizações realizadas neste trabalho.



#### 4.4.3.4 Aferição de Hidrômetros

Entre os seis hidrômetros escolhidos para aferição, somente um apresentou erro de leitura superior aos 5% permitido por norma. Os resultados das aferições podem ser visualizados na tabela abaixo.

Tabela 23 - Resultados dos testes de bancadas de hidrômetros.

Nº	HD AFERIDO	CENÁRIO 1		CENÁRIO 2		CENÁRIO 3	
		VOL. HD [L]	% ERRO	VOL. HD [L]	% ERRO	VOL. HD [L]	% ERRO
		V = 10 L Q = 150 L/H		V = 20 L Q = 650 L/H		V = 50 L Q = 1350 L/H	
1	A09S261128	10,04	-0,36%	30	0%	49,85	0,30%
2	A01S162048	9,96	0,44%	29,19	2,75%	48,43	3,24%
3	A09G259720	9,44	5,88%	30,63	-2,06%	50,37	-0,74%
4	A09S259783	9,87	1,28%	29,22	2,66%	48,25	3,63%
5	A09S259840	10,12	-1,21%	29,38	2,10%	48,53	3,03%
6	A09S259794	10,27	-2,60%	30,02	-0,07%	49,73	0,54%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Atualmente, o SAMAE não registra os dados dos testes de aferição realizados em bancada, o que acarreta prejuízos para a gestão da autarquia, já que o correto armazenamento, tratamento e análise desses dados são de extrema importância para a gestão do parque de hidrômetros, sendo possível calcular o IDM do parque de hidrômetros, a partir deles, tanto de maneira global, quanto específico por fabricantes.

A existência de um registro próprio de valores de IDM por parte do SAMAE, traria benefícios no longo prazo principalmente em relação as perdas aparentes, já que a % de submedição dos hidrômetros deixaria de ser estimada e também poderia ser realizado um acompanhamento específico dos hidrômetros instalados por fabricante.

Um bom exemplo desta análise pode ser observado na Tabela 23, onde todos os hidrômetros aferidos possuíam mais de 10 anos de idade e pelos valores estimados por Gomes (2019) na Figura 107, seus erros de leitura deveriam ser próximos de 50%, quando na realidade o maior erro encontrado foi de 5,88%. Ter a curva de eficiência dos hidrômetros bem definida, auxilia na priorização das trocas a serem realizadas e também na priorização de um fabricante que apresente melhores resultados para as características do SAA de Brusque.

Sobre as condições de realização do teste em si, o local onde as aferições foram realizadas não é propício, sendo uma garagem com uma mesa e um ponto de tomada de água,

tanto que em episódios de contestação de faturas por parte do cliente, o teste é realizado no local de instalação do hidrômetro, para evitar que o cliente vá até a sede do SAMAE.

Sobre o equipamento utilizado, a equipe do SAMAE não soube informar a última vez que o equipamento passou por uma aferição, então os resultados de erros de leitura podem estar defasados em relação à normalidade.

Figura 125 – Aferição de hidrômetro em andamento.



Fonte: Autor (2020).

Figura 126 – Sólidos encontrados na peneira do hidrômetro.



Fonte: Autor (2020).

Figura 127 – Aferição de hidrômetro em andamento.



Fonte: Autor (2020).

## 5 ENCAMINHAMENTOS

Os encaminhamentos desse trabalho seguirão a mesma ordem apresentada na metodologia e resultados: iniciando com uma análise da estrutura do SAMAE em relação às perdas, passando pelo diagnóstico, e chegando na execução de estratégias para combate as perdas reais e aparentes. O objetivo dessas observações é que novas práticas sejam inseridas na rotina do SAMAE, e que futuramente possam embasar um Plano de Ação para o Combate e Redução de Perdas.

Nos tópicos 5.3 e 5.4, as intervenções estão elencadas em ordem de prioridade, de acordo com critérios influenciados pelos resultados deste trabalho.

### 5.1 ESTRUTURA DO SAMAE

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho foi possível acompanhar um pouco do funcionamento do SAMAE, principalmente no que envolve à gestão de perdas. Com base nas observações realizadas durante as visitas ao sistema e em conversas com membro da Equipe de Engenharia do SAMAE, foi possível notar que as três principais partes envolvidas no combate às perdas no município: Emissão de Contas (Setor Comercial), Engenharia e Área Operacional, não possuem uma boa integração em relação as suas ações.

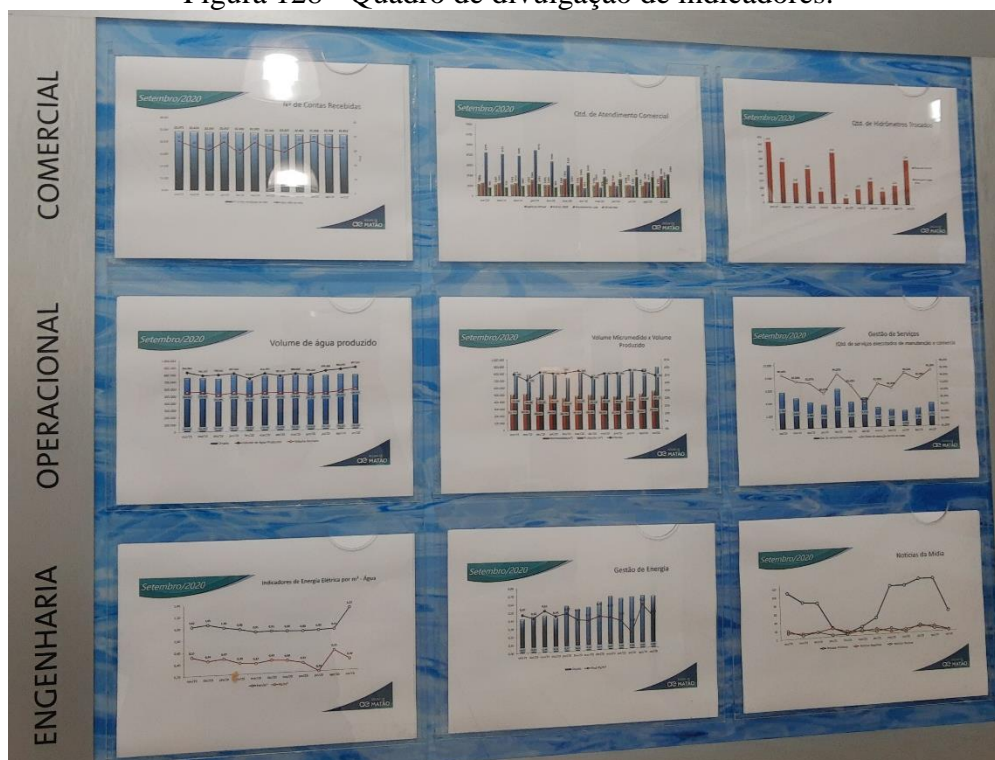
Além desses três setores, existe no SAMAE uma Comissão de Perdas, composta por membros de diversas áreas e que é responsável por discutir e aplicar ações relacionadas às perdas no SAA. As estratégias que foram traçadas e executadas neste trabalho não foram comunicadas a esta Comissão, por existir uma centralização das ações por parte dos seus membros e um certo ceticismo em relação a ideias que venham de outras pessoas, que não os membros da comissão.

Esta dificuldade de comunicação refletiu diretamente em um dos resultados deste trabalho, o geofonamento com base nos resultados da varredura por haste de escuta e da modelagem hidráulica não foi realizado devido a essa relutância em aceitar ideias externas.

Algumas empresas de saneamento, como forma de buscar uma integração maior entre as partes envolvidas na gestão de perdas, têm facilitado o acesso às informações e indicadores envolvidos no combate às perdas. Uma ideia é que seja criado um quadro similar ao da Figura 128, utilizado pela AEGEA no município de Matão/SP, onde os principais

indicadores de cada setor são atualizados mensalmente e podem ser visualizados por qualquer funcionário que tenha interesse em contribuir com o tema.

Figura 128 - Quadro de divulgação de indicadores.



Fonte: AEGEA (2020).

De maneira geral, o encaminhamento em relação a esse tópico é que seja realizado um trabalho de conscientização e alinhamento dos três setores envolvidos diretamente com as perdas, e também que essa Comissão seja reestruturada para que realmente sejam realizados avanços no controle e redução das perdas de água, que como visto nos resultados do trabalho, não vem acontecendo.

## 5.2 DIAGNÓSTICOS

Atualmente não são utilizadas ferramentas de diagnóstico das perdas no SAA, o que dificulta o acompanhamento por parte do setor de Engenharia da evolução mensal dos indicadores, e as tomadas de decisões que possam influenciar esses dispositivos.

Hoje, o SAA de Brusque não está 100% setorizado, mas possui alguns DMCs delimitados principalmente nas regiões de jusante das EATs, e nessas áreas deve ser realizado

o BH mensal, que auxiliará na identificação das perdas através do Volume Disponibilizado, do Volume Micromedido e das perdas aparentes naquele local. O Modelo hidráulico pode ser utilizado para identificar de maneira precisa todas as ligações presentes nos DMCs analisados.

Devem ser adquiridos novos *dataloggers*, para que possam ser realizados acompanhamentos mais frequentes do sistema, principalmente nas áreas onde existem VRPs e EATs, possibilitando assim análises mais completas e assertivas em áreas onde o FP estiver elevado, por exemplo.

### 5.3 PERDAS REAIS

Baseado nos resultados obtidos no trabalho, conclui-se que as principais ocorrências de perdas reais ocorrem pela falta de acompanhamento dos dados de operação da rede, já que o SAA de Brusque possui um elevado grau de monitoramento em suas unidades: todas as EATs possuem monitoramento de pressões de entrada e saída e também vazão; todos os reservatórios e sistemas de produção também possuem macromedidores instalados.

As principais sugestões oriundas deste trabalho são:

- Após a normalização da situação do abastecimento na região da EAT Boemia, os *dataloggers* devem ser reinstalados e a VRP configurada para liberar 20 mca, a fim de monitorar os dados no sistema para que a análise de viabilidade econômica da instalação do *booster* possa ser realizada;
- Realizar o geofonamento das áreas indicadas no tópico 4.4.1.2.2 e na tubulação de adução da Limeira, para detectar possíveis fugas de água antes mesmo da conexão na rede de distribuição;
- Vistoriar **todas** as VRPs do sistema e verificar as condições dos locais de instalação e também suas configurações, para corrigir eventuais situações como a encontrada na VRP da Boemia. O Modelo Hidráulico deve ser utilizado para verificar se as configurações atuais das VRPs são adequadas aos limites mínimos e máximos de pressão na rede, de acordo com a NBR 12218;
- Ainda sobre as VRPs, sugere-se a instalação de controladores inteligentes nas válvulas do sistema. Esses controladores modulam a pressão de saída na VRP de acordo com o perfil de consumo e topologia da sua área de influência, permitindo que a válvula libere mais pressão em momentos de elevado consumo e menos

pressão em momentos de menores consumos, evitando picos de pressão na rede durante a madrugada. Quando não for possível instalar esses moduladores, no mínimo devem ser instalados sensores que registrem os dados de pressão à montante e à jusante da válvula, que enviem esses dados para a telemetria do sistema, diminuindo a chance de que uma VRP opere em faixas de pressão fora da ideal por muito tempo.

- Para facilitar investigações em campo, sugere-se que o SAMAE adquira um macromedidor portátil, permitindo que as equipes externas tenham mais autonomia e assertividade em suas atividades. Baseado em modelos pesquisados em catálogos de diversos fabricantes, o modelo mais indicado para atividades em campo é do tipo não intrusivo “*clamp on*”, já que não é necessário perfurar as redes ou paralisar operações para sua instalação. Outro ponto positivo é seu baixo índice de erro, de  $\pm 5,0\%$  dependendo do fornecedor.
- O modelo hidráulico deve passar por atualizações periódicas, para que represente de maneira fiel a realidade do SAA de Brusque e assim, as decisões tomadas com base nas simulações tenham o impacto positivo esperado.
- Implementação de um CCO, onde todas as informações coletadas pelo sistema de telemetria estariam integradas em um só local, em que uma equipe com o treinamento adequado, poderia através de processos bem estabelecidos, analisar as situações que o SAA está sujeito e tomar decisões de maneira rápida, integrada e bem embasadas. O Modelo Hidráulico deve estar à disposição dessa equipe, para que no surgimento de algum imprevisto, cenários emergenciais possam ser simulados e a melhor solução seja adotada.

#### 5.4 PERDAS APARENTES

Em relação às perdas aparentes, a prioridade inicial deve ser em relação ao cadastro comercial, devido à desatualização cadastral e o acréscimo de arrecadação que esse fator deve trazer.

- Na fiscalização realizada neste trabalho, cerca de 250 ligações foram vistoriadas em um período aproximado de seis horas, com o agravante de a captura de áudios também ter sido realizada nesse período, o que tornou o processo mais demorado.

Baseado nesse dado, estima-se que seis meses seja um período razoável para que todo o cadastro comercial seja atualizado. Essa projeção leva em conta a utilização da mão de obra dos leituristas, que já percorrem as rotas comerciais uma vez ao mês, e um planejamento eficaz da metodologia de revisão do cadastro. Nesse ponto, a rapidez da revisão **não** é o mais importante, e sim que ela seja executada, já que se considerarmos os valores de arrecadação estimados no tópico 4.4.3.3 e a receita de água para o ano de 2018 (FN002 do SNIS), que foi de aproximadamente R\$ 33.000.000, teríamos um acréscimo anual de R\$ 529.540 na arrecadação do SAMAE, o que corresponde a 1,60% do faturamento de 2018. Apesar de parecer pouco, se considerarmos que o SAMAE não precisara realizar grandes investimentos para revisão do cadastro (já conta com a mão-de-obra) e que o número de cadastros atualizados pode ser maior que o estimado, essa estratégia trará benefícios imediatos para a autarquia.

- Deve-se também ser realizar uma revisão completa do cadastro comercial em relação aos hidrômetros, compatibilizando os códigos de acordo com a NBR NM 212/02e se possível, ajustando as datas de instalação dos hidrômetros. Caso esse ajuste não seja possível, o cenário ideal é que todos os hidrômetros com dados incorretos ou inexistentes, fossem trocados. O SAMAE deve **respeitar os padrões** exigidos para a inserção dos códigos e datas de fabricação/instalação dos hidrômetros.
- Outra verificação que deve ser realizada é em relação aos grandes consumidores. Como vimos neste trabalho, a ligação com o segundo maior consumo em Brusque estava com um hidrômetro bastante subdimensionado, afetando a arrecadação devido à submedição do equipamento. Essa verificação deve ser realizada o quanto antes, também afetando o faturamento da autarquia no curto prazo.
- Baseado nos resultados obtidos na fiscalização realizada na rota de troca dos hidrômetros, deve ser adotada uma metodologia para análise dos consumos recentes das ligações, para que fraudes e erros de cadastro possam ser detectados de maneira mais assertiva.
- Uma nova política de troca de hidrômetros deve ser pesquisada e adotada pelo SAMAE, já que a troca dos hidrômetros a cada 10 anos apresenta uma margem

muito elevada para erros de leitura elevados. Muitas companhias hoje em dia utilizam o valor de 5 anos como limite para troca.

- Os macromedidores do SAA devem ser aferidos com frequência, principalmente os instalados em saídas de sistemas produtores de água ou em entrada de DMCs, evitando erros de leitura que prejudiquem os diagnósticos de perdas no sistema. Uma alternativa seria comprar os equipamentos necessários (maleta pitométrica, tubos de *pitot* e cálibres) e treinar uma equipe interna para ser responsável por essas aferições.
- Deve ser providenciado um local e equipamentos adequados para a realização dos testes de bancada de hidrômetros. Além do profissionalismo que demonstra aos clientes que desejam ter seus hidrômetros aferidos, um correto armazenamento e registro dos resultados desses testes traz benefícios no longo prazo para a estimativa das perdas aparentes, através da elaboração de curvas de submedição específicas para o SAA de Brusque.



## 6 CONCLUSÃO

Apesar da escolha inicial da área de estudo não ter sido acertada, devido a impossibilidade de deixá-la isolada de outros sistemas, a metodologia utilizada neste trabalho apresentou resultados muito importantes para o início de uma gestão de perdas eficaz no SAA de Brusque.

A modelagem hidráulica se mostrou uma importante aliada no combate às perdas, facilitando a identificação de ligações nas áreas de estudo, identificando pontos críticos do sistema em relação aos parâmetros de perdas de carga, prevendo possíveis pontos de vazamento nas redes e auxiliando no correto gerenciamento de pressões na área da EAT Boemia, reduzindo o FP em 22% e a VMN em 25%.

Em relação aos diagnósticos realizados através do BH (*Top-Down*) e VMN (*Bottom-Up*), a comparação dos seus resultados não apresentou a semelhança esperada, fato justificado pelo elevado grau de incerteza nos dados utilizados para o BH. Apesar disso, os dados gerados pelo VMN aliados à simulação hidráulica, indicaram como alternativa, a instalação de um *booster* para abastecer a zona alta do DMC.

Em relação às perdas reais, além do gerenciamento de pressões na área da EAT Boemia, a análise do FP aliada às varreduras com haste de escuta e a simulação hidráulica indicaram locais onde o geofonamento deveria ser realizado, em busca de vazamentos ocultos.

Em relação às perdas aparentes, foram trocados 202 hidrômetros na área do SI Limeira, sendo 196 trocas já programadas pelo SAMAE e 6 trocas que foram sinalizadas através da análise do LSC e do FT.

Os resultados da análise do cadastro comercial da autarquia mostraram que o SAMAE não gerencia de forma satisfatória o seu parque de hidrômetros, com hidrômetros subdimensionados, grandes consumidores sem uma medição adequada e uma idade média do parque que não é confiável devido à qualidade dos dados do cadastro. Estimou-se que cerca de R\$ 530.000 podem ser adicionados ao faturamento anual do SAMAE, caso seja realizada uma atualização do número de economias no município.

Com base nas análises realizadas neste trabalho, foram indicados encaminhamentos que devem ser executados no curto prazo, com o intuito de validar alguns dos resultados que

ficaram pendentes, e também ações que devem ser realizadas periodicamente, com o intuito de tornar o controle e redução das perdas em Brusque, um processo contínuo.

Por fim, ressalta-se a importância de que os apontamentos feitos neste trabalho sejam incorporados pelo SAMAE como parte do processo de combate as perdas no SAA, focando em resultados para o longo prazo e sempre visando otimizar as ações realizadas e os indicadores de perdas no município.

## 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO (AESBE). **Série Balanço Hídrico - Guia Prático de Procedimentos para Estimativa de Submedição no Parque de Hidrômetros**. 1. ed. Brasília: [s.n.], v. 3, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **PR-051**: Estandarização – Detecção de Vazamentos Não Visíveis de Líquidos Sob Pressão em Tubulações Enterradas - Procedimento. São Paulo: ABENDI, 2017. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 212**: Medidores velocimétricos de água potável fria até 15 m<sup>3</sup>/h. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 19 p.

BEZERRA & CHEUNG, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água**. Tecnologias de Controle. João Pessoa, 2013.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; GOMES, Heber Pimentel. **Controle de Perdas de Água**. João Pessoa: UFPB, 2013. 55 p.

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

BRASIL. Ministério das Cidades. SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Documento Técnico de Apoio: Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água.** Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, Brasília, 2003.

BRUSQUE. Lei Complementar nº 293, de 2019. **Institui O Código de Obras e Edificações do Município de Brusque, e Dá Outras Providências.** Brusque, 16 set. 2019.

BUREAU DE SOLUÇÕES AMBIENTAIS – BSA Engenharia. **Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB Brusque.** Brusque: Bsa, 2012. 529 p.

COMITÊ DO ITAJAÍ (Santa Catarina). Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí. **Caderno Síntese: Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Itajaí.** Blumenau, 2010. 80 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 181: Critérios para gestão dos hidrômetros (exceto 1ª ligação).** 4 ed. São Paulo: Sabesp, 2011. 23 p.

COSTA, R. F. **Análise da infraestrutura em redes de abastecimento: Gestão de combate a perdas de água.** Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, 2009

DE CARVALHO, F. S. et al. **Estudos sobre perdas no sistema de abastecimento de água da cidade de Maceió.** VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 2004. p. 18

FARLEY, M; WYETH, G; GHAZALI, Z.B.M; INSTANDAR, A, SINGH, S. **The manager's Non-Revenue Water Handbook: A Guide to Undertading Water Losses.** United States of America: Ranhill Utilities Berhad and the United States Agency for International development (USAID), 2008.

FERREIRA, R. C. et al. **Planos de Gestão de Água e Energia – Uma abordagem sistemática para a elaboração e acompanhamento de instrumentos de planejamento.** AKUT Umweltschutz Ingenieure Burkard und Partner. [S.l.], p. 122. 2017.

GIROL, Guilherme Violato. **Análise de Perdas Reais em um Setor do Sistema de Abastecimento de Água no Município de Capinzal - SC.** 2008. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -. **Panorama Brusque.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/brusque/panorama>>. Acesso em: 04 abr. 2020.

INMETRO, Instituto Nacional De Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria nº 246 de 17 de outubro de 2000.**, 2000. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br>>. Acesso em: 15 set 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de água 2020 (SNIS 2018): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico.** São Paulo, p. 133. 2020

GO ASSOCIADOS. **Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica.** São Paulo, p. 112. 2015

GOMES, Heber Pimentel. **Abastecimento de Água.** João Pessoa: LENHS/UFPB, 2019. 464 p.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano.** 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

LAMBERT, A; THORNTON, J. **Avaliação de Perdas Reais.** Consultoria à SABESP, São Paulo, 2002.

MELATO, D. S. **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.** Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 133. 2010.

MONTEIRO, José Roberto do Rego. **PLANASA: Análise de Desempenho.** Brasília: -, 1993.

ORMSBEE, L. E.; WOOD, D. J. Explicit pipe network calibration. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 112, n. 2, p. 166-182, Apr, 1986

SABESP. **Estações “Flex” Favorecem O Abastecimento.** 2016. Disponível em: <http://patrocinados.estadao.com.br/sabesp/estacoes-flex-favorecem-o-abastecimento/#:~:text=A%20principal%20diferen%C3%A7a%20entre%20booster,pegando%20%C3%A1gua%20de%20um%20reservat%C3%B3rio> >. Acesso em: 09 nov. 2020.

SAMAE. **Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Brusque.** Disponível em: <<https://www.samaebru.com.br>>. Acesso em: 20 abr. 2020.

SANOVA - SOLUÇÕES PARA GESTÃO DA ÁGUA. **Relatório Técnico de Modelagem Hidráulica, Estudo de Avaliação de Cenários, Estudo de Desapropriação e Estudo de Reservação.** Palhoça: Sanova, 2019. 169 p.

Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável - SDS (Org.). **Recursos Hídricos de Santa Catarina.** Florianópolis: Estado de Santa Catarina, [201]. 31 p.

SOARES, Alexandre Kepler et al. **Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de Água de Campo Grande-MS via modelo inverso.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 312-321, 2004

SOUZA JÚNIOR, J. D. C. **Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água.** Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 152. 2014

SOLARCZYK, Alicja. **Using the Darwin Calibrator for Leak Detection Analysis in Northumbrian Water**. 2013. Disponível em: <https://docplayer.net/14050918-Using-the-darwin-calibrator-for-leak-detection-analysis-in-northumbrian-water.html>. Acesso em: 22 out. 2020.

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. Cap. 10, p. 457-525

THORNTON, Julian; STURM, Reinhard; KUNKEL, George. **Water Loss Control**. 2. ed. Estados Unidos: McGraw-Hill Professional, 2008. 632 p.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água**. 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

UNICEF. **2,1 bilhões de pessoas não têm acesso a água potável em casa, e mais do dobro de pessoas não tem acesso a saneamento seguro**. 2017. Disponível em: <https://www.unicef.org/angola/comunicados-de-imprensa/21-bilh%C3%B5es-de-pessoas-n%C3%A3o-t%C3%A3m-acesso-%C3%A1-gua-pot%C3%A1vel-em-casa-e-mais-do-dobro>. Acesso em: 20 out. 2020.

WALSKI, T. M. Technique for calibrating network models. **Journal of Water Resources Planning and Management**., ASCE, 109(4), 360-372, 1983.

WERDINE, D. **Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, p. 128. 2002.

**ANEXO A – Principais indicadores do SNIS, relacionados à gestão da água.**

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>UNIDADE</b>
<b>IN009</b>	Índice de Hidrometração	$\frac{AG004}{AG002} \times 100$	Percentual
<b>IN010</b>	Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado	$\frac{AG008}{AG006 + AG018 - AG019 - AG024} \times 100$	Percentual
<b>IN011</b>	Índice de macromedição	$\frac{AG012 - AG019}{AG006 + AG018 - AG019} \times 100$	Percentual
<b>IN013</b>	Índice de perdas faturamento	$\frac{AG006 + AG018 - AG011 - AG024}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100$	Percentual
<b>IN014</b>	Consumo micromedido por economia	$\frac{AG008}{AG014} \times \frac{1.000}{12}$	m <sup>3</sup> /mês/econ.
<b>IN017</b>	Consumo de água faturado por economia	$\frac{AG011 - AG019}{AG003 * } \times \frac{1.000}{12}$	m <sup>3</sup> /mês/econ.



<b>IN022</b>	Consumo médio percapita de água	$\frac{AG010 - AG019}{AG001 * } \times \frac{1.000.000}{365}$	l/hab./dia
<b>IN025</b>	Volume de água disponibilizado por economia	$\frac{AG006 + AG018 - AG019}{AG003 * } \times \frac{1.000}{12}$	m³/mês/econ.
<b>IN028</b>	Índice de faturamento de água	$\frac{AG011}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100$	Percentual
<b>IN049</b>	Índice de perdas na distribuição	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100$	Percentual
<b>IN050</b>	Índice bruto de perdas lineares	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG005 * } \times \frac{1.000}{365}$	m³/dia/Km
<b>IN051</b>	Índice de perdas por ligação	$\frac{AG006 + AG018 - AG010 - AG024}{AG002 * } \times \frac{1.000.000}{365}$	l/lig./dia

<b>IN052</b>	Índice de consumo de água	$\frac{AG010}{AG006 + AG018 - AG024} \times 100$	Percentual
<b>IN053</b>	Consumo médio de água por economia	$\frac{AG010 - AG019}{AG003 * } \times \frac{1.000}{12}$	m <sup>3</sup> /mês/econ.

Fonte: Adaptado do SNIS (2018).

Onde:

AG001: População total atendida com abastecimento de água;

AG002: Quantidade de ligações ativas de água;

AG003: Quantidade de economias ativas de água;

AG004: Quantidades de ligações ativas de água micromedidas;

AG005: Extensão da rede de água;

AG006: Volume de água produzido;

AG008: Volume de água micromedido.

AG010: Volume de água consumido;

AG011: Volume de água faturado;

AG012: Volume de água macromedido;

AG014: Quantidade de economias ativas de água micromedidas;

AG018: Volume de água tratada importado;

AG019: Volume de água tratada exportado;

AG024: Volume de serviço.

**ANEXO B – Erro médio absoluto das simulações realizadas após a troca de rede.**

PRESSÕES PONTO 1 [MCA]				PRESSÕES PONTO 3 [MCA]			
DATA	SIMULADO	MONITORADO	ERRO ABSOLUTO	DATA	SIMULADO	MONITORADO	ERRO ABSOLUTO
26/06/2020 00:00	75,97	69,1	9,94%	26/06/2020 00:00	73,43	68,65	6,96%
26/06/2020 01:00	76,07	69,32	9,74%	26/06/2020 01:00	74,32	70,07	6,07%
26/06/2020 02:00	76,13	69,38	9,73%	26/06/2020 02:00	74,82	70,66	5,89%
26/06/2020 03:00	76,17	69,43	9,71%	26/06/2020 03:00	75,17	71,22	5,55%
26/06/2020 04:00	76,15	69,39	9,74%	26/06/2020 04:00	75,02	71,29	5,23%
26/06/2020 05:00	76,03	69,43	9,51%	26/06/2020 05:00	74	70,73	4,62%
26/06/2020 06:00	75,83	69,25	9,50%	26/06/2020 06:00	72,25	69,26	4,32%
26/06/2020 07:00	75,6	68,82	9,85%	26/06/2020 07:00	70,17	66,79	5,06%
26/06/2020 08:00	75,33	68,47	10,02%	26/06/2020 08:00	67,83	64,64	4,94%
26/06/2020 09:00	75,07	68,14	10,17%	26/06/2020 09:00	65,58	62,11	5,59%
26/06/2020 10:00	74,98	67,84	10,52%	26/06/2020 10:00	64,78	59,82	8,29%
26/06/2020 11:00	75,02	68,05	10,24%	26/06/2020 11:00	65,07	60,01	8,43%
26/06/2020 12:00	75,06	68,1	10,22%	26/06/2020 12:00	65,43	60,2	8,69%
26/06/2020 13:00	75,14	68,27	10,06%	26/06/2020 13:00	66,15	60,58	9,19%
26/06/2020 14:00	75,2	68,37	9,99%	26/06/2020 14:00	66,65	61,53	8,32%
26/06/2020 15:00	75,2	68,29	10,12%	26/06/2020 15:00	66,65	61,87	7,73%
26/06/2020 16:00	75,16	68,32	10,01%	26/06/2020 16:00	66,3	61,92	7,07%
26/06/2020 17:00	75,13	68,26	10,06%	26/06/2020 17:00	66,09	60,98	8,38%
26/06/2020 18:00	75,17	68,36	9,96%	26/06/2020 18:00	66,44	61,25	8,47%
26/06/2020 19:00	75,28	68,48	9,93%	26/06/2020 19:00	67,34	61,73	9,09%
26/06/2020 20:00	75,42	68,55	10,02%	26/06/2020 20:00	68,63	63,29	8,44%
26/06/2020 21:00	75,57	68,7	10,00%	26/06/2020 21:00	69,92	64,66	8,13%
26/06/2020 22:00	75,74	68,98	9,80%	26/06/2020 22:00	71,38	66,34	7,60%
26/06/2020 23:00	75,86	69,37	9,36%	26/06/2020 23:00	72,49	68,4	5,98%
		<b>MÉDIA</b>	<b>9,93%</b>			<b>MÉDIA</b>	<b>7,00%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

PRESSÕES PONTO 4 [MCA]				PRESSÕES PONTO 5 [MCA]			
DATA	SIMULADO	MONITORADO	ERRO ABSOLUTO	DATA	SIMULADO	MONITORADO	ERRO ABSOLUTO
26/06/2020 00:00	46,35	40,05	15,73%	26/06/2020 00:00	65,47	63,64	2,88%
26/06/2020 01:00	47,26	41,5	13,88%	26/06/2020 01:00	67,52	67,46	0,09%
26/06/2020 02:00	47,77	42,1	13,47%	26/06/2020 02:00	68,67	68,66	0,01%
26/06/2020 03:00	48,12	42,65	12,83%	26/06/2020 03:00	69,46	69,98	0,74%
26/06/2020 04:00	47,97	42,75	12,21%	26/06/2020 04:00	69,13	70,17	1,48%
26/06/2020 05:00	46,94	42,05	11,63%	26/06/2020 05:00	66,8	69,07	3,29%
26/06/2020 06:00	45,16	40,62	11,18%	26/06/2020 06:00	62,8	65,33	3,87%
26/06/2020 07:00	43,04	38	13,26%	26/06/2020 07:00	58,04	59,5	2,45%
26/06/2020 08:00	40,67	35,8	13,60%	26/06/2020 08:00	52,72	56	5,86%
26/06/2020 09:00	38,39	33,05	16,16%	26/06/2020 09:00	47,61	50,39	5,52%
26/06/2020 10:00	37,57	30,83	21,86%	26/06/2020 10:00	45,78	44,84	2,10%
26/06/2020 11:00	37,87	31,28	21,07%	26/06/2020 11:00	46,45	45,32	2,49%
26/06/2020 12:00	38,23	31,04	23,16%	26/06/2020 12:00	47,27	46,2	2,32%
26/06/2020 13:00	38,97	31,48	23,79%	26/06/2020 13:00	48,91	46,51	5,16%
26/06/2020 14:00	39,47	32,58	21,15%	26/06/2020 14:00	50,03	47,74	4,80%
26/06/2020 15:00	39,47	32,72	20,63%	26/06/2020 15:00	50,03	49,72	0,62%
26/06/2020 16:00	39,11	33,14	18,01%	26/06/2020 16:00	49,24	49,52	0,57%
26/06/2020 17:00	38,9	31,86	22,10%	26/06/2020 17:00	48,76	47,71	2,20%
26/06/2020 18:00	39,25	32,43	21,03%	26/06/2020 18:00	49,55	47,04	5,34%
26/06/2020 19:00	40,17	33,04	21,58%	26/06/2020 19:00	51,61	47,11	9,55%
26/06/2020 20:00	41,48	34,67	19,64%	26/06/2020 20:00	54,53	51,96	4,95%
26/06/2020 21:00	42,78	36,18	18,24%	26/06/2020 21:00	57,47	55,32	3,89%
26/06/2020 22:00	44,28	37,84	17,02%	26/06/2020 22:00	60,81	58,33	4,25%
26/06/2020 23:00	45,4	40,12	13,16%	26/06/2020 23:00	63,33	63,54	0,33%
		<b>MÉDIA</b>	<b>17,35%</b>			<b>MÉDIA</b>	<b>3,11%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

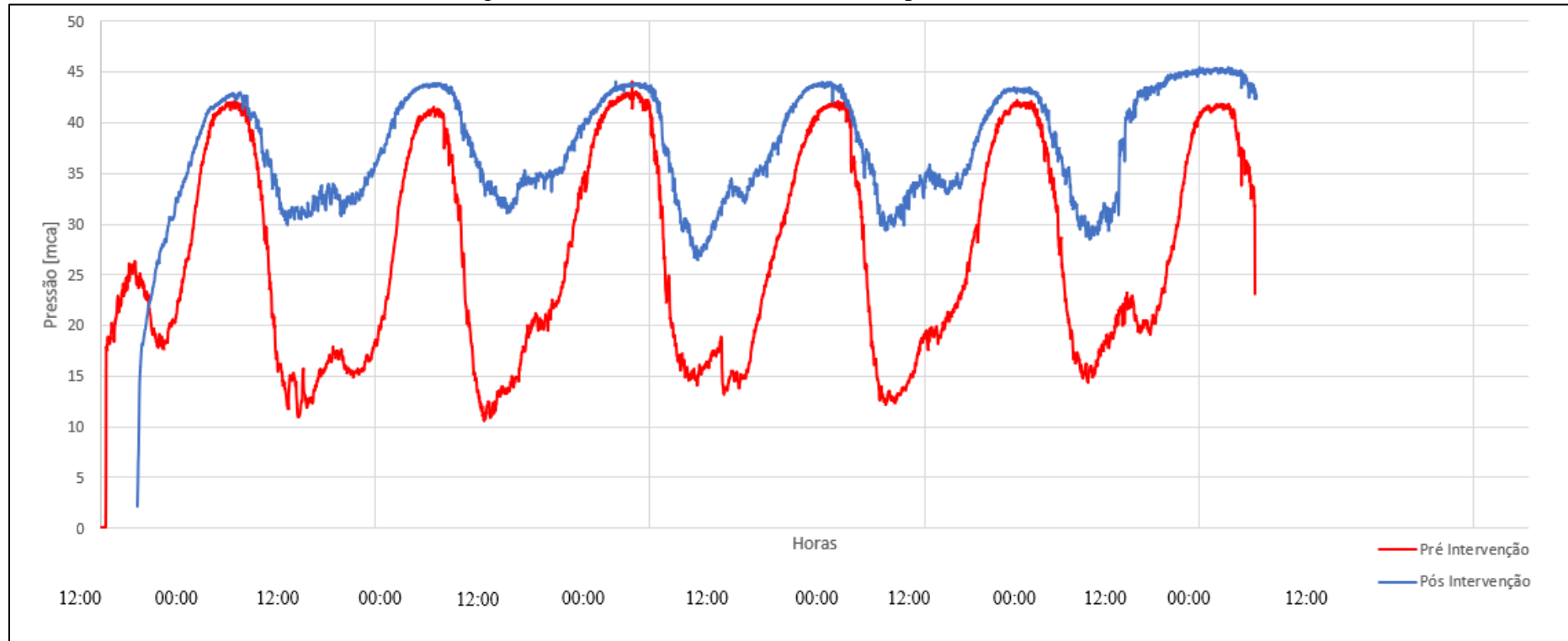
<b>PRESSÕES PONTO 6 [MCA]</b>			
<b>DATA</b>	<b>SIMULADO</b>	<b>MONITORADO</b>	<b>ERRO ABSOLUTO</b>
26/06/2020 00:00	71,52	68,92	3,77%
26/06/2020 01:00	73,58	72,09	2,07%
26/06/2020 02:00	74,74	73,43	1,78%
26/06/2020 03:00	75,54	74,87	0,89%
26/06/2020 04:00	75,2	75,08	0,16%
26/06/2020 05:00	72,85	73,37	0,71%
26/06/2020 06:00	68,81	69,8	1,42%
26/06/2020 07:00	64	63,73	0,42%
26/06/2020 08:00	58,62	59,33	1,20%
26/06/2020 09:00	53,45	53,83	0,71%
26/06/2020 10:00	51,6	48,21	7,03%
26/06/2020 11:00	52,28	48,86	7,00%
26/06/2020 12:00	53,11	49,04	8,30%
26/06/2020 13:00	54,76	49,73	10,11%
26/06/2020 14:00	55,9	51,8	7,92%
26/06/2020 15:00	55,9	52,65	6,17%
26/06/2020 16:00	55,1	52,26	5,43%
26/06/2020 17:00	54,61	50,07	9,07%
26/06/2020 18:00	55,42	50,55	9,63%
26/06/2020 19:00	57,5	51,71	11,20%
26/06/2020 20:00	60,46	55,98	8,00%
26/06/2020 21:00	63,42	59,41	6,75%
26/06/2020 22:00	66,81	63,49	5,23%
26/06/2020 23:00	69,35	68,27	1,58%
		<b>MÉDIA</b>	<b>4,86%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).





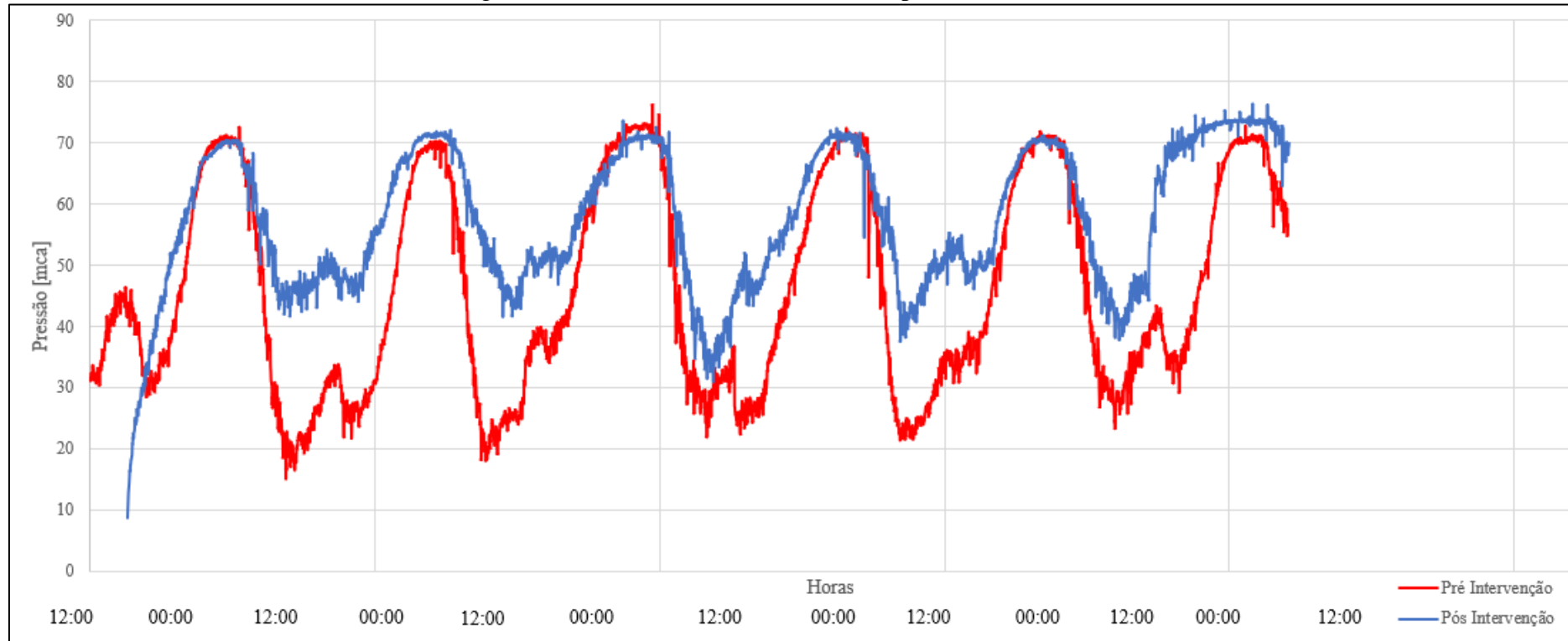
Figura 131 - Monitoramento Pressões disponíveis - Ponto 04.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

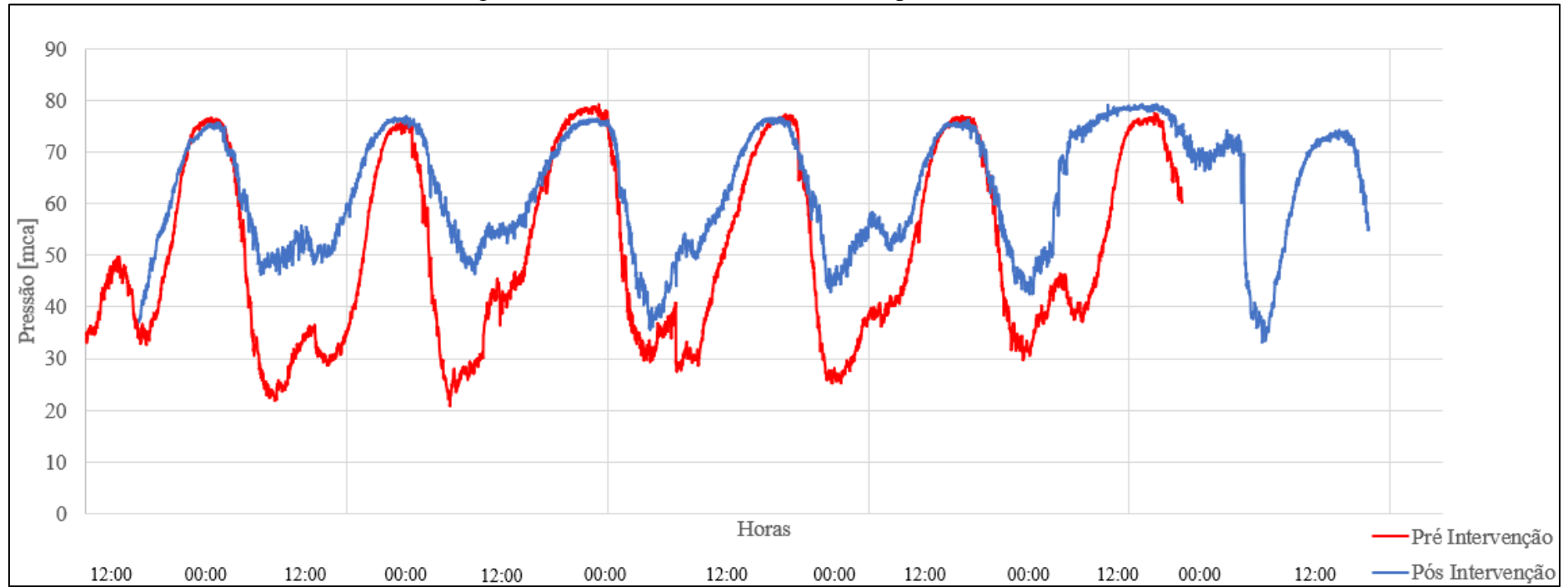


Figura 132 - Monitoramento Pressões disponíveis - Ponto 05.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 133 - Monitoramento Pressões disponíveis - Ponto 06.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).