

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Francine de Moura

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO SETOR PETITUBA NO
MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DO SUL - RS**

Santa Cruz do Sul

2022

Francine de Moura

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO SETOR PETITUBA NO
MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DO SUL - RS**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Eng. Marcelo Luis Kronbauer

Santa Cruz do Sul

2022

AGRADECIMENTOS

Meu maior agradecimento é para as duas pessoas que foram a razão pela qual tive a oportunidade de ter cursado a graduação de Engenharia Civil: meus pais Larri e Liani, que me deram todo o suporte para que eu chegasse hoje aqui, neste momento de realização desta etapa da minha vida. Agradeço também às minhas irmãs Luana, Rafaela e Gabriela que sempre acreditaram no meu potencial.

Ao meu melhor amigo e companheiro de vida, meu namorado Eduardo, agradeço por todo o apoio e por ter me mantido motivada e confiante a todo momento.

Também aos demais familiares e amigos que não foram citados, mas que de alguma forma tiveram um papel muito importante nesse período, dedico minha gratidão.

A graduação que me possibilitou conhecer diversas pessoas, que de alguma maneira fizeram parte e me acompanharam nesta jornada, em especial a Luiza, com quem criei grande amizade e tornou cada etapa da graduação mais especial. E aos meus professores que me passaram muito aprendizado, ao longo desses anos.

Agradeço meu orientador Marcelo Luis Kronbauer pela atenção e conhecimento transmitido na execução deste trabalho. Também não poderia deixar de agradecer a equipe da CORSAN de Santa Cruz do Sul, que disponibilizou as informações necessárias para a prática deste trabalho.

Em destaque, meu reconhecimento especial ao Engenheiro Piero Ereno, que não mediu esforços em me dar o apoio necessário em cada etapa, e esteve disposto a compartilhar todo seu conhecimento, que foi essencial na construção deste trabalho.

Gratidão aos meus colegas de trabalho e, em especial, a Engenheira Júlia, que me passou grandes conhecimentos e não mediu esforços para me auxiliar. Você tem toda minha admiração pela profissional que se tornou. O mundo precisa de mais pessoas como você.

Por fim, e o mais importante, agradeço a Deus pela vida.

RESUMO

Considerado como um dos objetivos mais importantes das companhias de saneamento é garantir uma boa gestão do abastecimento de água. Entre as atividades de gestão, o controle das perdas é essencial, visto que minimiza os desperdícios e contribui para a sustentabilidade. O sistema de abastecimento de água do município de Santa Cruz do Sul atualmente apresenta índices de perdas muito elevados quando comparado às médias nacionais. Há muitos fatores que induzem essas perdas, tais como: a topografia acidentada, a característica do solo, a urbanização, a qualidade dos materiais utilizados, a qualidade e agilidade dos reparos, e principalmente o excesso de pressão. Considerando estes aspectos o sistema de distribuição de água precisa operar em certas condições de pressão e vazão que nem sempre são as ideais. Assim, a simulação é uma maneira de estudar e avaliar o comportamento de um sistema de distribuição de água dentro das condições em que opera. Em vista disso, este trabalho sintetizou o estudo de caso de uma região particular do sistema de abastecimento de Santa Cruz do Sul: o Setor Petituba, tendo em vista analisar suas condições operacionais e sugerir melhorias a partir dos dados levantados junto à companhia e através de simulações do *software* EPANET 2.0. No desenvolver do trabalho foram simulados dois cenários diferentes: sistema atual e sistema proposto. Do cenário relativo ao sistema atual obtiveram-se os valores de pressão em cada nó e vazão de cada trecho que representam a real condição a que a rede de distribuição está submetida. Em relação ao cenário com as melhorias propostas também foram obtidos esses mesmos parâmetros com o objetivo de evidenciar os benefícios das melhorias projetadas. As análises consideraram os resultados de vazão, velocidade e principalmente pressão, confrontando-os com os dados da companhia e com os critérios estabelecidos pela NBR 12218. Os resultados alcançados via simulação se mostraram coerentes com a realidade e evidenciaram a eficiência potencial e importância da válvula redutora de pressão proposta em conjunto com as ações de setorização. Também foi possível compreender a dificuldade de manter todos pontos da rede de distribuição dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma e quão complexo que é um sistema de abastecimento de água.

Palavras-chave: Sistema de Abastecimento de Água. Pressão. Simulação Hidráulica. *Software* EPANET 2.0. Válvula Redutora de Pressão.

ABSTRACT

Ensuring a good management of the water supply is considered one of the most important objective of sanitation companies. Among management activities, loss control is essential, as it minimizes waste and contributes to sustainability. The water supply system in the municipality of Santa Cruz do Sul currently has very high loss rates when compared to national averages. There are many factors that induce these losses, such as: the rugged topography, the characteristics of the soil, urbanization, the quality of the materials used, the quality and agility of the assistance, and especially the excess of water pressure. Considering these aspects, the water distribution system needs to operate under certain pressure and flow conditions that are not always ideal. Thus, simulation is a way of studying and evaluating the behavior of a water distribution system under the conditions in which it operates. Therefore, this work summarized the case study of a particular region of the Santa Cruz do Sul supply system: the Petituba Sector. In order to analyze its operational conditions and suggest improvements based on the data collected from the company and through of EPANET 2.0 software simulations. In the development of the work, two different scenarios were simulated: current system and proposed system. From the scenario of the current system, the pressure values at each node and the flow of each section were obtained, which represent a real condition in which the distribution network is kept. Regarding the scenario with the proposed improvements, these same parameters were also obtained in order to highlight the benefits of the projected improvements. The analyzes considered the results of flow, speed and mainly pressure, confronting them with the company's data and with the criteria established by NBR 12218. The results achieved via simulation were observed to be consistent with reality and showed the potential efficiency and importance of the valve pressure reducer proposed in conjunction with sectorization actions. It was also possible to understand the difficulty of maintaining all points of the distribution network within the criteria reached by the standard and how complex a water supply system is.

Keywords: Water Supply System. Pressure. Hydraulic Simulation. EPANET 2.0 Software. Pressure Reducing Valve.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes do saneamento básico	14
Figura 2 - Unidades de um SAA	16
Figura 3 – Matriz do balanço hídrico	18
Figura 4 – Tipos de vazamentos	22
Figura 5 - Interface do software EPANET 2.0	31
Figura 6 - Curva característica de uma bomba centrífuga.....	32
Figura 7 - Localização do município de Santa Cruz do Sul	35
Figura 8 – Localização do Reservatório Lago Dourado.....	36
Figura 9 - Setorização do SAA de Santa Cruz do Sul	37
Figura 10 - Tela do supervisor do CCO de Santa Cruz do Sul.....	38
Figura 11 - Delimitação Setor Petituba	40
Figura 12 – Delimitação do setor e pontos de ligação.....	41
Figura 13 – Componentes do Sistema Petituba	42
Figura 14 – Localização dos componentes do Sistema Petituba	43
Figura 15 - Recalque Sistema Petituba (EBA-15).....	44
Figura 16 - Reservatório de Montante.....	44
Figura 17 - Reservatório R19	45
Figura 18 – Macromedidor Petituba.....	46
Figura 19 – Sistema Petituba no <i>software</i> EPANET 2.0.....	47
Figura 20 – Curva da bomba e ponto operacional informado	57
Figura 21 – Vazão e pressão no recalque	57
Figura 22 – Visão geral das vazões máximas nos trechos do Sistema Petituba	60
Figura 23 – Mapa de velocidades máximas nos trechos do Sistema Petituba.....	62
Figura 24 – Mapa de pressões simuladas: situação atual	64
Figura 25 – Gráfico de isolinhas das pressões simuladas: situação atual.....	67
Figura 26 – VRP do tipo Proporcional	68
Figura 27 – Mapa de pressões simuladas: proposta de melhoria	69
Figura 28 – Gráfico de isolinhas das pressões simuladas: proposta de melhoria.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação de logradouros e economias do Sistema Petitiba	42
Quadro 2 - Parâmetros gerais para o <i>software</i> EPANET 2.0	48
Quadro 3 - Informações inseridas nos nós.....	49
Quadro 4 - Informações inseridas nos trechos.....	50
Quadro 5 - Informações inseridas em bomba.....	51
Quadro 6 - Informações inseridas no Reservatório de Nível Fixo	52
Quadro 7 - Informações inseridas no Reservatório de Nível Variável.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pressões médias em cada setor	39
Tabela 2 - Média mensal de pressão no recalque	54
Tabela 3 - Média mensal da reservação no R19	55
Tabela 4 - Volume e altura de água do R19	55
Tabela 5 - Média mensal da vazão no Macromedidor.....	56
Tabela 6 - Comparação entre a vazão no ponto monitorado pela CORSAN e resultado obtido no EPANET 2.0.....	58
Tabela 7 - Comparação entre a pressão no ponto monitorado pela CORSAN e resultado obtido no EPANET 2.0.....	58
Tabela 8 - Resultado obtido no EPANET 2.0 e comparação da vazão média da bomba (modelo simulado x monitoramento da CORSAN)	61
Tabela 9 – Especificação de diâmetro utilizados em SAA.....	63
Tabela 10 – Resultado obtido no EPANET 2.0 e comparação da pressão média da bomba (modelo simulado x monitoramento da CORSAN)	65
Tabela 11 – Comparação da pressão média do sistema (situação atual x proposta de melhoria)	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCO	Centro de Controle Operacional
CORSAN	Companhia Rio-Grandense de Saneamento
DEMURH	Departamento de Recursos Hídricos Municipais
DMC	Distritos de Medição e Controle
EBA	Estação de Bombeamento de Água
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDP	Índice de Perdas na Distribuição
IWA	<i>International Water Association</i>
LENHS	Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento
NBR	Norma Brasileira Regulatória
RNF	Reservatório de Nível Fixo
RNV	Reservatório de Nível Variável
RS	Rio Grande do Sul
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TCC	Trabalho de Conclusão do Curso
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
VRP	Válvula Redutora de Pressão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Área e limitação de pesquisa.....	12
1.2 Objetivo geral e específicos	12
1.2.1 Objetivo geral.....	12
1.2.2 Objetivos específicos.....	12
1.3 Justificativa	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Saneamento básico.....	14
2.2 Definição de sistemas de abastecimento de água	15
2.3 Balanço Hídrico	17
2.4 Perdas em sistema de abastecimento de água	20
2.4.1 Perdas Reais	21
2.4.2 Perdas Aparentes	23
2.5 Ações de combate às perdas de água	23
2.6 Controle de perdas reais	24
2.6.1 Controle ativo dos vazamentos	24
2.6.2 Rapidez e qualidade nos reparos.....	25
2.6.3 Gestão da infraestrutura.....	25
2.6.4 Controle de pressões.....	26
2.6.4.1 Setorização da rede de abastecimento	27
2.6.4.2 Válvulas redutoras de pressão.....	28
2.6.4.3 Utilização de <i>Boosters</i> em SAA.....	28
2.6.4.4 Distrito de Medição e Controle (DMC)	29
2.7 Controle de perdas aparentes	29
2.9 Apresentação do <i>Software</i> EPANET 2.0.....	30
2.10 Curva característica da bomba	31
3 METODOLOGIA	34
3.1 Caracterização do SAA do Município de Santa Cruz do Sul	34
3.2 Caracterização do Sistema Petituba	40
3.2.1 Recalque Sistema Petituba.....	43
3.2.2 Reservatório de Distribuição	45
3.2.3 Macromedidor	45

3.3 Simulação do Sistema Petituba no EPANET 2.0	46
3.3.1 Parâmetros de entrada	47
3.4 Proposição de melhorias	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
4.1 Diagnóstico geral do Sistema Petituba.....	54
4.2 Resultados obtidos através do <i>software</i> EPANET 2.0	56
4.2.1 Simulação Sistema Petituba situação atual	56
4.2.2 Simulação Sistema Petituba com ajustes.....	58
4.2.2.1 Vazões e velocidades	59
4.2.2.2 Pressões.....	64
4.2.3 Simulação Sistema Petituba com proposta de melhoria	67
5 CONCLUSÕES.....	71
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICES	75
APÊNDICE A – Informações dos nós.....	75
APÊNDICE B – Informações dos trechos	76
ANEXOS.....	77
ANEXO A – Sistema de Abastecimento de Água Urbano em Santa Cruz do Sul – RS... 77	
ANEXO B – Curva característica da bomba	78

1 INTRODUÇÃO

Falar de água é falar de vida. Um recurso natural com valor inestimável, uma fonte indispensável para a sobrevivência dos seres vivos. Nosso planeta depende de sua preservação, portanto a água não deve ser desperdiçada. O acesso à água, em quantidade e qualidade, é uma necessidade básica do ser humano e deve ser abordado sob diversos pontos de vista (técnico, econômico e social).

No Brasil, o saneamento básico é regulamentado pela atual Lei nº 14.026/2020. Os serviços de abastecimento de água são um dos eixos considerados por nossa legislação.

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) de um município, consiste em um conjunto de infraestruturas e instalações operacionais, bem como as atividades relacionadas à disponibilização e manutenção de tais estruturas. Engloba a captação, adução, tratamento, reservação e distribuição de água potável para atender a uma determinada população. Composto esse sistema existem tubulações, válvulas, acessórios, reservatórios e bombas, responsáveis por atender as condições sanitárias, de vazão e de pressão nos diversos pontos de consumo.

Por melhor que seja, um sistema de abastecimento público apresenta perdas de água ao longo de toda a cadeia do processo. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a média brasileira em 2020, do índice de perdas na distribuição é de 40,1%. Esse percentual corresponde à quantidade que não é consumida (não contabilizada como volume utilizado pelos consumidores), seja por vazamentos, falhas nos sistemas de medição ou ligações clandestinas (BRASIL, 2022).

Segundo Tsutiya (2005), uma grande parcela das perdas de água é causada por operação e conservação deficientes das tubulações e inadequada gestão comercial das companhias de saneamento. Porém, isso não quer dizer que é plausível contar com “perda zero” em um sistema de abastecimento.

Pressões internas excessivas e tráfego intenso promovem o surgimento de aberturas nos condutos, acessórios e junções, que passam a apresentar vazamentos. Assim, a gestão de pressão tem se tornado cada vez mais importante, pois trabalhar com um nível de pressão adequado as normas estabelecidas e devidamente estabilizadas possibilita reduzir o volume dos vazamentos, aumentar a vida útil da infraestrutura, reduzir a frequência de rompimentos de rede e promover melhoria operacional dos sistemas de bombeamento.

Vários *softwares* apoiam na construção de modelos para uma melhor estruturação de redes de distribuição, assim como na análise do funcionamento de redes já existentes. Entre os

existentes, o EPANET 2,0 foi o *software* utilizado neste trabalho. A partir de dados da rede, tais como demandas e cotas topográficas dos nós, nível do reservatório, comprimentos, diâmetros e rugosidades das tubulações, além de outras informações, é possível simular as pressões nos nós e vazões e velocidades nos trechos por meio desta ferramenta informatizada.

Deste modo, este trabalho teve como objetivo a simulação da rede de abastecimento de água do Sistema Petituba, localizado no bairro Higienópolis, no município de Santa Cruz do Sul/RS. A partir de acompanhamento de dados reais e conhecimento de campo, foi possível realizar a simulação hidráulica da situação real do sistema, tendo como principal foco analisar e reconhecer seus problemas relativos à pressão, vazão e velocidade, e assim projetar melhorias ao sistema para mitigar ou até eliminar tais problemas.

1.1 Área e limitação de pesquisa

O presente trabalho discorre sobre o abastecimento de água do Sistema Petituba, um dos setores do SAA do município de Santa Cruz do Sul/RS, com foco na análise das pressões, vazões e velocidades da água nas tubulações, com o intuito de propor melhorias amparadas pelo uso do *software* EPANET 2.0.

1.2 Objetivo geral e específicos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi a análise do sistema de distribuição de água do Setor Petituba no Município de Santa Cruz do Sul – RS.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os objetivos específicos abaixo:

- Definir a área de estudos e reunir dados históricos, geográficos, operacionais, etc.;
- Realizar diagnóstico geral do sistema em estudo, avaliar as pressões, vazões e velocidades, com interesse de sugerir melhorias;
- Simular o sistema em cenários hipotéticos utilizando o *software* (EPANET 2.0) e avaliar alternativas de efficientização.

1.3 Justificativa

A água representa um elemento essencial à vida e merecedor de cuidados e controle. Entre as grandes dificuldades relacionadas a distribuição de água no Brasil, estão as perdas de água no sistema abastecimento. A perda nada mais é que o desperdício não intencional de água potável que ocorre de diversas maneiras em um sistema de abastecimento. Essas perdas trazem impactos negativos para toda a sociedade, uma vez que o desperdício afeta a sustentabilidade ambiental e implica em aumento dos custos operacionais que, por fim, resultam em aumento da tarifa de água para a população.

No entanto, minimizar as perdas exige alto investimento e dedicação, além de conhecimento técnico especializado. Nos últimos anos a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), responsável pelo abastecimento na cidade, tem envidado esforços e aplicado recursos em automatização de controle, campanhas de detecção e conserto de vazamentos não visíveis, implantação de distritos de medição e controle (DMC) e modernização da infraestrutura da rede de distribuição de água. Porém, apesar disso, o sistema de abastecimento da cidade ainda apresenta elevado índice de perdas.

Entre as características que tornam desafiadora a missão de reduzir perdas neste sistema está o acentuado desnível altimétrico, o que faz com que a concepção do sistema de abastecimento da cidade conte com muitas elevatórias para impulsionar a água até picos mais altos e como consequência deste fator, a rede apresenta pressões elevadas em alguns locais.

Assim, em virtude do que foi exposto, é necessário que sejam desenvolvidas ações pertinentes com o objetivo de aumentar a eficiência operacional e comercial do SAA no município de Santa Cruz do Sul.

É neste contexto que o presente trabalho se mostra relevante com a análise das pressões na rede de distribuição, levando em conta que estão de modo direto relacionadas ao volume perdido nos vazamentos, em especial (perdas reais).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Saneamento básico

Apenas em 2007 a regulação do saneamento foi estabelecida através do marco de definição das diretrizes nacionais de saneamento, Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Desde então, são mais de 70 agências reguladoras no país com a aptidão para lidar com o saneamento básico (TRATA BRASIL, 2022).

Ainda de acordo com Trata Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e determinado pela Lei como o conjunto dos serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais. Na Figura 1 é possível conhecer um pouco de cada componente do saneamento básico.

Figura 1 - Componentes do saneamento básico



Fonte: SNIS (Brasil, 2020).

Para qualquer país, o desenvolvimento urbano está ligado ao saneamento básico. Ter esta atividade é um fator essencial para o país ser chamado de desenvolvido. Os serviços de água tratada, coleta e tratamento dos esgotos levam o aumento da qualidade de vidas das pessoas.

Conforme o estudo do Trata Brasil (2022), da Regulação do Saneamento Básico, no Brasil, aproximadamente 100 milhões de brasileiros(as) permanecem sem os serviços de coleta de esgoto, quase 35 milhões não são abastecidas com água tratada e somente 50% do volume de esgotos gerados no país são tratados. Após 12 anos, a regulação do saneamento básico, passa por transformações com o novo marco legal, regida pela aprovação da nova Lei nº 14.026 em 2020, com o propósito de levar água potável para 99% da população, e coleta e tratamento de esgoto para 90%, até 2033.

De acordo com a publicação do Governo do Brasil sobre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e o Saneamento, a contar da aprovação do novo marco legal, a ANA passou a exercer um papel de editar normas de referência. Estas regras de caráter geral deverão ser levadas em consideração pelas mais de 70 agências reguladoras de saneamento infranacionais (municipais, intermunicipais, distrital e estaduais) em sua atuação regulatória, o que configura uma oportunidade singular para inovações que promovam a melhora da qualidade e a tão almejada universalização do saneamento.

Todas essas mudanças provocadas pelo novo marco legal, tem como grande importância o equilíbrio entre as partes interessadas: o poder concedente (Estados e prefeituras), prestadores de serviços (empresas de saneamento – públicas ou privadas) e os usuários.

2.2 Definição de sistemas de abastecimento de água

Primeira ação sanitária e social que um plano de saneamento deve implementar, é levar a comunidade água potável. O fornecimento de água faz parte do ponto central de um conjunto de ações para promover o saneamento e, conseqüentemente, a saúde pública. São necessários estudos e procedimentos que resultem na construção de um sistema ou de uma solução alternativa de abastecimento de água, para que a água chegue ao consumidor final (BRASIL, 2019).

Como define o SNIS, um SAA pode ser formado como o conjunto de serviços, infraestrutura e equipamentos objetivando distribuição de água potável para atender usos no consumo humano. Tradicionalmente se classifica o consumo de água num sistema público de

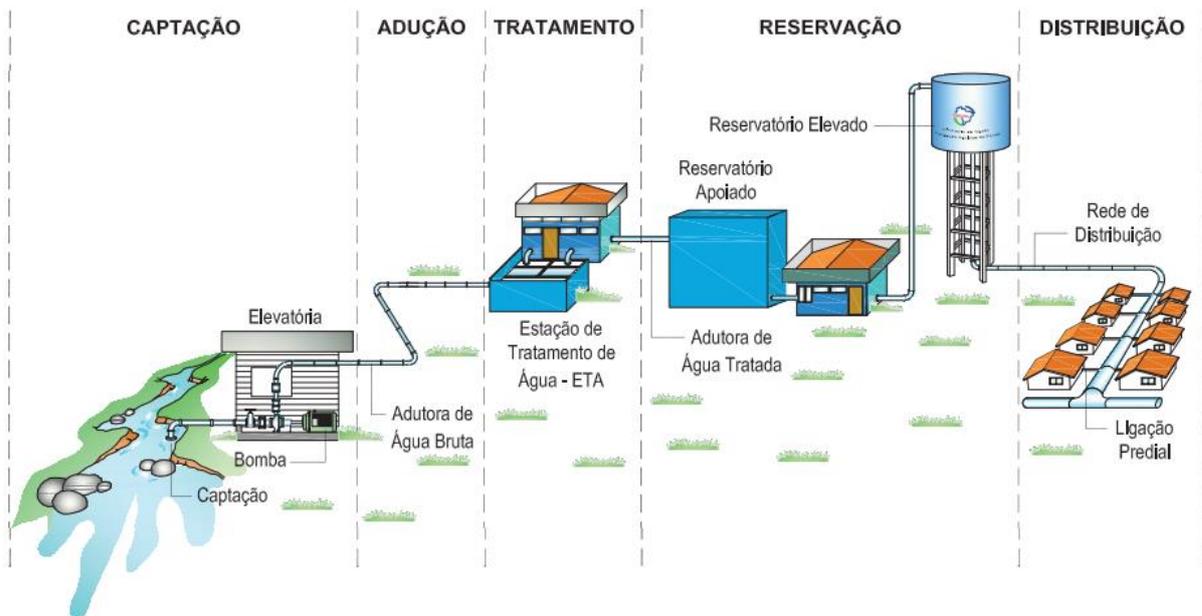
abastecimento em quatro grandes categorias: doméstico, comercial, industrial e público (BRASIL, 2020).

O atendimento por abastecimento de água é uma das principais prioridades das populações, com o objetivo de fornecer aos usuários uma água de boa qualidade satisfatória e em quantidade adequada e pressão suficiente. Sendo assim, satisfazer às necessidades bem como a ingestão da água, o preparo de alimentos, higiene limpeza em geral e entre outros usos, sendo um princípio considerar a quantidade de água, no aspecto sanitário, é de ampla importância no controle e na prevenção de doenças.

O SAA consiste desde a zona de captação até as ligações prediais, destinado à produção e ao provimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição. No geral, o sistema é composto das seguintes unidades: captação, adução, tratamento, reservação, rede de distribuição, estações elevatórias e ramal predial.

A Figura 2 apresenta um modelo de sistema de abastecimento público de água.

Figura 2 - Unidades de um SAA



Fonte: Funasa (Brasil, 2019).

Bezerra e Cheung (2013), traz breve descrição das unidades que formam um sistema de abastecimento:

- **Manancial:** local de onde é retirada a água para o abastecimento. Ao escolher o ponto de captação de água do manancial deve-se levar em consideração a quantidade e a qualidade dessa água, os custos de instalação e implementação e a simplicidade de adução;

- **Captação:** se compõe na estrutura construída para a retirada de água do manancial destinada ao sistema de abastecimento, podendo ser de diferentes formas, dependendo do tipo de manancial;
- **Estação elevatória:** sua implementação é em função, principalmente, do relevo local. Consiste no conjunto de equipamentos encarregados por fornecer energia, dedicados a recalcar a água para pontos mais distantes ou elevados. Há estações elevatórias tanto para recalque de água bruta, como para recalque de água tratada. Também é comum no sistema de abastecimento de água, a estação elevatória tipo *booster*, para melhorar a pressão e/ou vazão nas redes de distribuição e adutoras;
- **Adução:** tubulações que se destina transportar a água entre as unidades dos sistemas de abastecimento que antecedem a rede de distribuição. Pode ser adutora de água bruta ou de água tratada e, em função de suas características hidráulicas, pode ser em conduto livre, em conduto forçado por gravidade ou em recalque;
- **Estação de tratamento de água:** é composto de unidades com funções específicas para tratar a água, adequando suas características aos padrões de portabilidade, portanto garante a qualidade da água e protege a saúde da população consumidora, tornando a água própria para o consumo humano;
- **Reservatório:** onde a água é armazenada depois de tratada, para que fique à disposição da rede de distribuição. Os reservatórios podem apresentar diferentes formas, em função de sua localização no terreno (apoiado, elevado, semienterrado ou enterrado) e de sua posição em relação à rede de distribuição, podendo ser a montante ou a jusante;
- **Rede de distribuição:** as redes são formadas de tubulações e conexões, destinadas a levar água potável até os ramais domiciliares, de forma a chegar ao consumidor final com qualidade, quantidade e pressão recomendada.

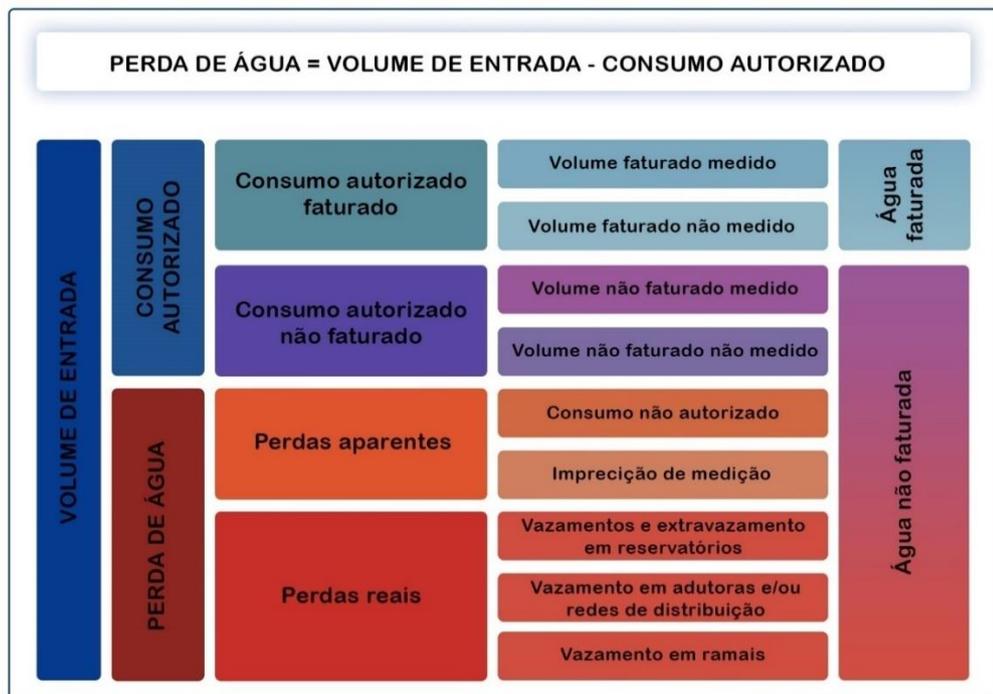
2.3 Balanço Hídrico

Considerada uma ferramenta poderosa de gestão, o balanço hídrico é uma forma organizada de avaliar os fluxos e usos da água, e as perdas dos sistemas. Permite gerar indicadores de desempenho para o acompanhamento das ações nos sistemas de abastecimento (TSUTIYA, 2014).

Internacionalmente, o Balanço Hídrico é conhecido como aplicação Top-Down, justamente por iniciar a avaliação das perdas por meio do cálculo do balanço hídrico de “cima para baixo”, ou seja, pelo volume de água que entra no sistema menos o volume de água efetivamente consumido. Neste método, são feitas hipóteses para determinar as perdas aparentes e, pela diferença, chega-se então às estimativas de perdas reais (BEZERRA e CHEUNG, 2013, p. 31).

O volume de entrada e o consumo autorizado são extraídos desse método de análise que se denominou balanço hídrico, que é resumido pela Figura 3 e explicado logo a seguir no texto.

Figura 3 – Matriz do balanço hídrico



Fonte: Adaptado pela autora com base em Funasa (Brasil, 2014).

O balanço hídrico permite conhecer o quanto de água é perdida no sistema de abastecimento, a seguir serão apresentados os conceitos que englobam o balanço hídrico, tendo como base as considerações da IWA:

- **Volume de entrada:** corresponde a água anual inserido no sistema distribuidor, representa o somatório dos volumes referente às fontes (superficial e/ou subterrâneo) somada ao volume de água importada;
- **Consumo autorizado:** refere-se ao volume anual distribuído aos consumidores cadastrados na empresa, alguns desses consumos podem ser faturados ou não, dependendo da prática local. Representa à soma do volume faturado medido com o volume faturado não medido;

- **Consumo autorizado faturado:** volume de água que gera receita para a companhia e corresponde ao somatório dos valores arrecadados nas contas de água emitidas. É composto pelo volume medido nos hidrômetros e dos volumes estimados nos locais onde não há hidrômetros instalados;
- **Volume faturado medido:** volume anual medido pelos hidrômetros das ligações de água e que deram origem ao faturamento;
- **Volume faturado não medido:** volume anual entregue nas ligações que não tem hidrômetros, mas faturadas. É preciso reparar ao fato de que as estimativas utilizadas para efeito de faturamento podem estar distantes da realidade, sobrestimadas ou subestimadas;
- **Consumo autorizado não faturado:** este é o volume que não gera receita para a companhia, oriundo de usos legítimos da água no sistema de distribuição. Representa à soma de volume não faturado medido com volume não faturado não medido;
- **Volume não faturado medido:** é o consumo destinado aos clientes que a empresa dispensa o pagamento da conta de água mais o consumo interno medido da companhia (uso administrativo, fornecimento a caminhões-pipa com controle volumétrico);
- **Volume não faturado não medido:** representa volumes anuais não medidos (portanto estimados), cujo uso é autorizado pelo prestador de serviços, mesmo sem terem gerado faturamento. São águas utilizadas em combate a incêndios, lavagem de ruas, rega de espaços públicos e a água empregada em algumas atividades operacionais na companhia de saneamento;
- **Perdas de água:** volume referente à diferença entre a água que entra no sistema e o consumo autorizado;
- **Perdas aparentes:** volume de água consumido, mas que não é contabilizado. Representa à soma dos volumes de consumo não autorizado com os volumes imprecisão de medição;
- **Uso não autorizado:** é o volume que não produz receita. Neste volume, incluem-se as ligações clandestinas, as fraudes etc.;
- **Erros de medição:** é o volume decorrente do erro de medição dos contadores, que pode ser causado por falhas de fabricação, dimensionamento inadequado, instalação incorreta etc.;

- **Perdas reais:** correspondem aos volumes que escoam decorrentes de vazamentos nas tubulações das adutoras e nas redes de distribuição, nos ramais das ligações prediais, nas ETAs e nos extravasamentos de reservatórios;
- **Vazamentos na distribuição:** é o volume de vazamentos que ocorre ao longo das adutoras e redes de distribuição. Nesse grupo, encontram-se as ocorrências de grande intensidade;
- **Vazamentos e extravasamentos em reservatórios:** é o volume de vazamentos decorrentes do extravasamento de reservatórios;
- **Vazamentos em ramais prediais:** é o volume de vazamentos que ocorre entre o colar de tomada e o cavalete residencial. As principais causas devem-se à instalação inadequada, à qualidade de material, às pressões atuantes e/ou à movimentação do solo;
- **Águas faturadas:** representam a parcela da água comercializada, traduzida no faturamento do fornecimento de água ao consumidor;
- **Águas não faturadas:** significa a diferença entre os totais anuais da água que entra no sistema e do consumo autorizado faturado. Esses volumes incorporam as perdas reais e aparentes, bem como o consumo autorizado não-faturado.

2.4 Perdas em sistema de abastecimento de água

A água é um recurso cada vez mais limitado. Trabalhos mais recentes sobre as perdas em SAA mostram índices de perdas alarmantes, trazendo a grande importância de se ter o controle dessas perdas, principalmente na distribuição de água para um uso racional (TSUTIYA, 2014). Conforme o SNIS, não existe um sistema de distribuição sem perdas de água. Por conta disso é que o planejamento e a gestão operacional são essenciais para o funcionamento mais eficiente do sistema, tendo como objetivo reduzir ao máximo viável as perdas de água (BRASIL, 2020).

Conceitualmente de acordo com Heller e Pádua (2010), as perdas são a diferença entre o volume de água produzido e o volume que é entregue nas ligações domiciliares. Levando em conta o ponto de vista operacional, as perdas que ocorrem nos sistemas públicos de abastecimento retratam aos volumes não contabilizados, que podem ser divididos em perdas reais e perdas aparentes.

Para a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2015), as perdas reais referem-se aos vazamentos que podem acontecer em várias partes do sistema e

extravasamentos em reservatórios de água tratada (ou seja, as "perdas físicas" de água), já as perdas aparentes referem-se às águas que são consumidas, mas não são faturadas pela companhia de saneamento (ou seja, "perdas comerciais" de água), que são consequência de submedição e fraudes, principalmente.

Do posto de vista dos diversos fatores que influenciam no valor de índice de perdas, de acordo com Heller e Pádua, “a eficiência da administração do sistema de abastecimento de água pode ser um deles, interferindo na detecção de vazamentos, na qualidade da operação das unidades, no controle de ligações clandestinas, na aferição e calibração de hidrômetros, por exemplo” (HELLER e PÁDUA, 2010, p. 132).

Ainda de acordo com Heller e Pádua (2010), a topografia da cidade e a idade das tubulações estabelecem grande influência na magnitude das perdas por vazamentos. Outro fator relevante que favorece as perdas, se dá durante os períodos de menor consumo de água, interfere no aumento das pressões disponíveis na rede de distribuição, em alguns casos praticamente igualando-se à pressão estática. Quando se tem um consumo atipicamente elevado em um determinado setor da rede de distribuição, estaria relacionado a problemas de vazamentos, estas perdas podem ser detectadas durante o período da madrugada.

2.4.1 Perdas Reais

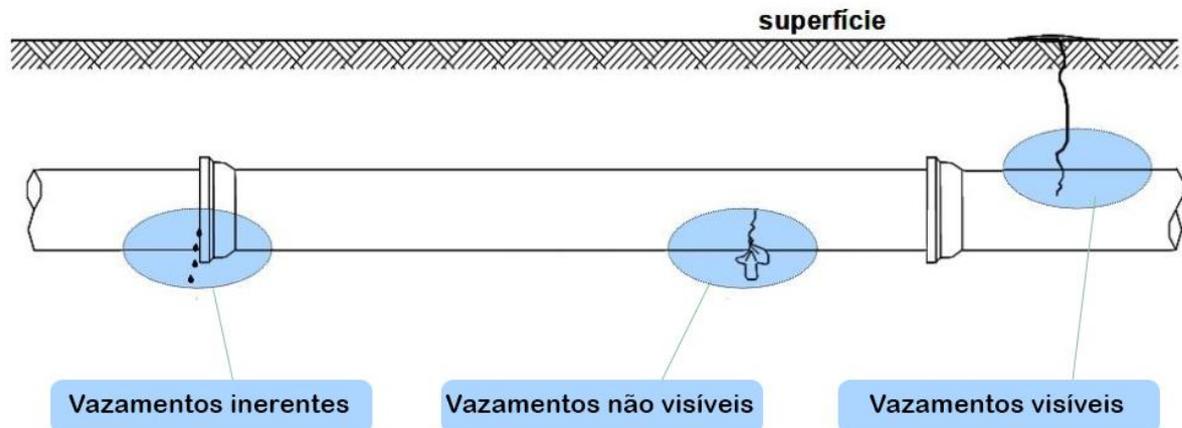
A perda real corresponde ao volume de água que entra no sistema e não chega até o consumidor final, pelo acontecimento de vazamentos nas redes de distribuição e nos ramais prediais, podendo ser nas tubulações ou nas conexões e acessórios. Na concepção de perdas reais, abrange também, o volume de extravasamentos de água que ocorrem nos reservatórios. Logo, a incidência das perdas reais está associada as condições da infraestrutura do sistema, ou seja, a idade das redes, o material, as pressões atuantes, os regimes operacionais, a qualidade e a agilidade da mão de obra que opera o sistema, entre outros (BRASIL, 2013).

As grandes perdas reais de acordo com Tardelli Filho (2006), acontecem quando se tem o aumento de pressão na rede, ocasionando o aumento da vazão dos pontos de vazamento e a alta frequência gerada podendo causar danos à tubulação.

Com o acontecimento das perdas reais, a empresa de saneamento começa a perder sua principal matéria prima, que é a água tratada e, conseqüentemente, recursos financeiros. Os efeitos e impactos acarretados pelos vazamentos faz com que a adoção de estratégias e ferramentas para seu controle, seja parte fundamental em um plano de combate as perdas reais de água.

Os vazamentos de água podem ser conhecidos da seguinte forma (Figura 4), como traz a ABES (2015):

Figura 4 – Tipos de vazamentos



Fonte: Adaptado pela autora com base em Funasa (Brasil, 2014).

- **Vazamentos inerentes:** é toda a água perdida nas juntas, conexões, válvulas, etc. Vazamentos com longa duração e possuem baixas vazões, não afloram a superfície do terreno e acusticamente não são detectáveis pelos equipamentos atuais;
- **Vazamentos não visíveis:** aqueles vazamentos que ainda não afloram à superfície, mas são passíveis de identificação pelos equipamentos de detecção acústica. Tipo de vazamento que precisa constantemente monitorar e buscar reparo, por meio de pesquisas e varreduras;
- **Vazamentos visíveis:** tem altas vazões e afloram para a superfície, sendo comunicados pela população a operadora de saneamento para o reparo. Nesta etapa, pode-se dizer que houve a falha em estratégias e ações preventivas.

Ensaio ou avaliações realizadas demonstram que os volumes perdidos através dos vazamentos visíveis representam pequena parcela dos volumes totais perdidos nos vazamentos, assim, a maior parte das perdas reais é devida a vazamentos não visíveis, não aflorantes à superfície do terreno.

Para Bezerra e Cheung (2013) os locais que apresentam o maior número de rupturas, são as redes de distribuição e os ramais prediais, devido a sua extensão e condições de operação, conseqüentemente é maior volume de água perdido nestes pontos.

2.4.2 Perdas Aparentes

As perdas aparentes tem natureza totalmente distinta das perdas reais. As reais se caracterizam pela perda da água, tratada ou não, nos diversos processos, enquanto as perdas aparentes correspondem ao volume de água consumido, mas não registrado pelos prestadores de serviços de saneamento, decorrente de erros de medição nos hidrômetros, fraudes, ligações clandestinas (chamadas popularmente de “gatos”) e falhas no cadastro comercial (cadastro desatualizado, ligação não cadastrada por descuido, registro de inatividade em ligação ativa). Nesse caso, então, a água é efetivamente consumida, mas não é faturada (BRASIL, 2013; TSUTIYA, 2014).

O erro de medição (submedição) é uma das principais causas das perdas aparentes nas companhias de saneamento e ocorrem por diversos motivos. A ocorrência de uma ampla gama de medidores, que variam de tamanho, tipo e classe, juntamente com uma vasta variação de padrões de consumo existentes nos sistemas urbanos, dificulta a correta especificação dos medidores pelos profissionais. (BEZERRA e CHEUNG, 2013, p. 51).

As principais razões pelas quais os hidrômetros não conseguem medir com precisão a vazão fornecida são: fraudes, tempo em operação, qualidade da água, qualidade do medidor, regime de funcionamento da rede de distribuição, instalação incorreta (por exemplo, hidrômetro inclinado), exposição ao sol ou calor extremo, dimensionamento errado, adulteração, falha na manutenção e reparação incorreta (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

As perdas aparentes estão intimamente ligadas com a área comercial. Como destaca o SNIS, essa perda impacta diretamente no faturamento da companhia, pois quanto melhor a eficiência da micromedição e mais preciso o cadastro comercial, maior tenderá a ser o faturamento (EMBASA *et al.*, 2018).

2.5 Ações de combate às perdas de água

Para diminuir o volume de perdas é necessário entender e separar as ações em duas grandes categorias: controle de perdas reais e controle de perdas aparentes. Bezerra e Cheung (2013), afirma que compreender os tipos de perdas que ocorrem nos sistemas e ter definições coerentes e claras é o primeiro passo para gerenciar o problema das perdas.

Para Heller e Pádua (2010), a solução definitiva para o problema das elevadas perdas de água, deve assegurar não somente a redução das perdas, mas sobretudo o seu controle e

manutenção em níveis aceitáveis, com garantias de sustentabilidade no tempo. A experiência demonstra que, mais importante que as ações de engenharia, é o modelo de gestão adotado para o gerenciamento das perdas. Assim, o primeiro passo deve ser a construção de um arranjo organizacional adequado, que envolva todas as áreas do prestador de serviços, uma vez que as perdas de água têm relação direta com as atividades desenvolvidas em praticamente todos os setores de um operador.

2.6 Controle de perdas reais

Segundo Lambert (2000), as ações para diminuição das perdas reais em um sistema de abastecimento de água foram fundamentadas em quatro elementos: controle ativo de vazamentos, gestão da infraestrutura, rapidez e qualidade nos reparos e controle da pressão. Estas ações têm a finalidade de reduzir o volume distribuído, que se perde através dos vazamentos.

2.6.1 Controle ativo dos vazamentos

No controle ativo de vazamentos são feitas ações de varreduras nos sistemas de abastecimento, para identificar vazamentos não visíveis (ocultos). Conforme a ABES (2015), são vazamentos passíveis de detecção com auxílio de aparelhos de métodos acústicos, se caracterizando em uma atividade essencial para a efetiva atenuação de perdas reais, cuja seu bom resultado depende de uma frequência maior de pesquisas (em áreas com maior histórico de incidência de vazamentos, pressões elevadas, idade das redes ou elevada vazão mínima noturna), da qualidade da mão de obra empregada e dos recursos tecnológicos estabelecidos à disposição dos técnicos.

Os principais equipamentos utilizados na pesquisa acústica de vazamentos são:

- Haste de escuta;
- Geofones mecânicos e eletrônicos;
- Locadores de massa metálica;
- Locadores de tubulações metálicas e não metálicas;
- Correlacionadores de ruídos;
- *Dataloggers* de ruído.

A partir da identificação da área a ser pesquisada, verifica-se o nível de pressurização da rede. Inicialmente se utiliza a haste de escuta, posicionada em diversos pontos de contato da rede (cavaletes, registros, ventosas), para o reconhecimento de pontos suspeitos. Em seguida, usa o geofone, que indica o ponto onde o ruído é mais elevado e a identificação exata do ponto também pode ser feita com o correlacionador de ruídos. A constatação final é feita com uma barra de perfuração, onde se constata a fuga de água. O vazamento é indicado no solo através de uma marcação, para os posteriores trabalhos de reparo pelas equipes de manutenção (TSUTIYA, 2014).

Apesar de distante da realidade da grande maioria das companhias brasileiras, as campanhas de detecção devem ser previstas nos planos de ação e serem planejadas de maneira a se tornarem uma rotina na companhia. O ideal é ter equipes dedicadas exclusivamente a este tipo de ação, visto que esta é a única forma de controle preventivo. O conserto desses vazamentos antes que aflorem à superfície diminui a quantidade de reclamação dos usuários e melhora a imagem das companhias de abastecimento (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

2.6.2 Rapidez e qualidade nos reparos

A operadora de saneamento deve implementar uma logística para os reparos dos vazamentos visíveis e não visíveis com maior agilidade, bem como devem ser executados por profissionais qualificados e treinados, e utilizar materiais e métodos adequados. Tomando os devidos cuidados, se evitará o retrabalho do serviço, não tendo desperdício de recursos financeiros e persistindo as perdas.

O uso de ferramentas computacionais (*softwares*) que aperfeiçoa rotas e minimiza deslocamentos, aprimora as ordens de serviços digitais, facilita a segmentação da execução de serviços e a gestão de indicadores das equipes operacionais (serviços executados x programado) (COM+ÁGUA.2, 2018).

2.6.3 Gestão da infraestrutura

Segundo ABES (2015), o planejamento da infraestrutura, em que se buscam a boa execução das implantações das tubulações (qualidade dos projetos, materiais e mão de obra) e a substituição das mesmas quando o histórico de problemas assim justificar. É a atividade mais importante para o combate às perdas reais, com resultados definitivos e duradouros, porém com maiores custos agregados.

A grande maioria dos sistemas de distribuição de água em operação necessita de ações de reabilitação para corrigir as situações. Pode-se definir reabilitação como qualquer intervenção no sistema que prolongue sua vida útil, melhorando seu desempenho hidráulico, estrutural e da qualidade da água (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

2.6.4 Controle de pressões

A gestão de pressão tem se tornado cada vez mais importante, é fundamental para a redução das perdas reais na companhia de saneamento. É uma das medidas mais eficientes para um bom desempenho técnico e econômico do sistema, e na satisfação dos consumidores. Trabalhar com um nível de pressão adequado as normas estabelecidas e devidamente estabilizadas possibilita a redução do volume de vazamentos, o aumento da vida útil da infraestrutura do sistema, reduz a frequência de novos rompimentos de rede e leva à melhoria operacional dos sistemas de bombeamento.

Há ainda um entendimento equivocado de muitos profissionais da área operacional, especialmente aqueles que militam na gestão do abastecimento de água, de que pressões elevadas na rede refletem um bom padrão de atendimento dos serviços de suprimento de água potável. A operação com níveis de pressão que atendam aos mínimos especificados nas horas de consumo máximo representam um referencial importante para se balizar. Pressões elevadas podem, inclusive, prejudicar o cliente, ao propiciar também mais e maiores vazamentos no trecho entre o hidrômetro e a caixa d'água domiciliar, que está submetido aos mesmos patamares de pressão do sistema. Essas perdas representarão um ônus para o cliente, na medida que esta água será contabilizada e faturada pela companhia de saneamento. Pressões excessivas também ocasionam danos nos dispositivos de controle de nível das caixas d'água domiciliares (válvulas de boia), com ocorrências de extravasamentos não percebidos pelo cliente, principalmente nos horários noturnos (TSUTIYA, 2014, p. 498).

Segundo a NBR 12218 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), a pressão estática máxima nas redes de distribuição deve ser 50 mca, com exceção das redes principais que não abastecem os consumidores ou redes secundárias, enquanto a pressão dinâmica mínima estabelecida pela norma é 10 mca.

De acordo com Embasa et al., (2018), a evolução tecnológica, associada à diminuição gradativa dos custos dos equipamentos importados e o surgimento de uma indústria nacional de equipamentos de automação, proporciona aos prestadores de serviço melhor rendimento e assertividade. Existem controladores que gerenciam a pressão nos DMC por meio de interações entre as pressões do ponto crítico e o ponto médio ou o de entrada. Mais uma vez, a capacitação dos profissionais é fundamental para a obtenção dos resultados esperados.

2.6.4.1 Setorização da rede de abastecimento

A setorização divide a grande rede em setores menores, facilitando o gerenciamento e o controle operacional do sistema de distribuição de água potável. Com objetivo de minimizar as perdas na distribuição. Porém, projetos de setorização também são fundamentais para o uso racional dos recursos naturais e para melhorar a qualidade do serviço de abastecimento de água fornecido à população.

Cada setor pode ser subdividido em um ou mais subsetores, denominados zona de pressão, setor de medição e setor de manobra. Isso permite um controle maior da pressão da água e, conseqüentemente, reduz a quantidade de rompimentos de tubulações e vazamentos.

Uma grande mudança que pode ser percebida de imediato pela população é na redução do número de manutenções que acabam provocando a suspensão do fornecimento de água. É que, com a setorização, em caso de ocorrência de vazamento, é possível isolar apenas uma pequena região afetada, sem a necessidade de suspender o fornecimento de água para vários bairros ao redor.

Para Tsutiya (2014), com essa compartimentação cada setor terá características definidas que serão regularmente monitoradas, avaliadas e mantidas ou ajustadas. O tamanho dos setores varia muito, comportando desde pequenos sistemas, que abastecem pequenos núcleos residenciais, até setores com 40.000 ligações nas grandes cidades. Os subsetores também não apresentam um porte referencial, podendo-se fazer as seguintes ponderações:

- Em geral as zonas altas são menores do que as zonas baixas, pois já na fase de projeto procura-se instalar o reservatório apoiado em local que maximiza o abastecimento por gravidade, tendo em vista razões de economia de energia;
- Os “*boosters*” de rede geralmente atendem áreas com 1.000 a 3.000 ligações;
- As Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) se apresentam no mercado com diversos diâmetros, prevalecendo-se aqueles entre 50 e 100 mm, com área de atendimento médio de 10 a 20 km de rede ou de 1.000 a 2.000 ligações.

Muitas vezes a topografia da região apresenta desníveis muito acentuados, que fazem com que a setorização clássica em duas zonas de pressão (zonas baixa e alta) não consiga atingir os valores limites estabelecidos por norma. Outra solução estrutural no âmbito da setorização clássica, criar mais uma zona de pressão a partir de um reservatório, revela-se muito onerosa. As alternativas mais interessantes para contornar essa situação são o emprego de válvulas redutoras de pressão e de “*boosters*” de rede que, se bem especificados e operados, apresentam elevada relação benefício-custo, além de grande flexibilidade para se

adaptar aos câmbios que geralmente ocorrem nas demandas de água de uma área. O desenvolvimento tecnológico desses equipamentos, com padrões elevados de uniformidade do comportamento dos planos piezométricos, segurança contra golpes de aríete e várias possibilidades de controle, faz com que nada lembre as antigas “VRPs” e os “*boosters*” de rotação fixa, que gradativamente foram caindo em desuso devido aos graves problemas de manutenção e de operação que acarretavam (TSUTIYA, 2014).

2.6.4.2 Válvulas redutoras de pressão

Como o seu próprio nome indica, é uma peça especial empregada para reduzir a pressão em tubulações, ajustando-a a valores preestabelecidos. É formada por um conjunto de molas engenhosamente idealizado e instalado na válvula, para que esta cumpra a sua função. Normalmente a redução da pressão nas tubulações é feita por reservatórios ou por caixas de quebra-pressão, adequadamente posicionados. Porém, em locais com carência de áreas livres ou onde o custo dos terrenos seja muito elevado, não são viáveis, então as válvulas redutoras de pressão, por poderem ser instaladas na via pública, têm sido utilizadas com sucesso. Sua maior utilização ocorre em áreas topograficamente muito acidentadas (HELLER e PÁDUA, 2010).

A concepção básica das “VRPs” automáticas tem como princípio de funcionamento o controle hidráulico das aberturas dos dispositivos de passagem do fluxo de água. Através da operação de uma válvula-piloto situada em uma comunicação entre as câmaras de entrada e saída, consegue-se manter um valor estipulado da pressão a jusante, independentemente da vazão. A introdução de controladores eletrônicos associados às “VRPs” ampliou as possibilidades de controle da pressão de saída (TSUTIYA, 2014).

Ainda de acordo com Tsutiya (2014), a implantação de “VRPs” tem se mostrado bastante efetiva na redução das perdas reais, apresentando também excelentes resultados em termos de retomo dos investimentos.

2.6.4.3 Utilização de *Boosters* em SAA

A estação pressurizadora ou estação elevatória de reforço, também conhecido com o nome de *booster*, é geralmente utilizada em instalações que necessitam de aumento de pressão ou de vazão. Para assegurar a perenidade do abastecimento nas áreas mais altas. O emprego desses equipamentos, muitas vezes, é para solucionar em curto prazo problemas de

abastecimento que estão ocorrendo na região. O uso de *booster*, em associação com VRP, permite otimizar o zoneamento piezométrico, explorando ao máximo o potencial de redução de pressão de uma VRP e reforçando a carga nos pontos mais elevados que porventura ficam com pressões muito baixas. Os “*boosters*” atualmente utilizam variadores de velocidade (hidrocínético ou inversor de frequência) que mantêm a pressão de saída estável, para quaisquer vazões a jusante e pressão a montante. O ajustamento da pressão de saída é fator fundamental na operação desses equipamentos, pois excessos de pressão acarretarão maiores perdas reais (TSUTIYA, 2014).

2.6.4.4 Distrito de Medição e Controle (DMC)

A concepção dos sistemas de distribuição de água deve contemplar a divisão da rede em setores, que são chamados de Distritos de Medição e Controle (DMC). Para tanto, é necessário que sejam dotados de medidores de pressão e vazão na(s) entrada(s) da rede. A divisão da rede em DMC é importante para a gestão das perdas de água em qualquer sistema. Não há um consenso sobre o tamanho máximo dos DMCs, a literatura cita valores que variam de 3.000 a 8.000 ligações. É importante ressaltar que é comum a divisão da rede em grandes setores, que não necessariamente são DMCs (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

2.7 Controle de perdas aparentes

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

A manutenção do parque de hidrômetros consiste num esforço contínuo, pois estes equipamentos possuem uma vida útil ao longo da qual vão perdendo eficácia de medição. Daí a importância da existência de programas que permitam a troca dirigida de medidores, visando à maximização de resultados. O combate às fraudes e ligações clandestinas, por sua vez, precisa ter por base procedimentos firmes de combate, baseadas em sistemas cadastrais atualizados e políticas que aliem a punição com cortes e supressões, educação ambiental e comunicação social, sem as quais o apoio da comunidade aos serviços de saneamento fica em xeque, comprometendo a sua sustentabilidade

A eficiência no controle das perdas, em especial das perdas aparentes, está assim muito mais ligada à qualidade da gestão do prestador de serviço do que à sua capacidade de investimento. Por este motivo é que se verificam, na realidade brasileira, prestadores que enfrentam adversidades similares em relação à ocupação urbana, investimentos e condições operacionais, mas que conseguem alcançar resultados distintos no combate às perdas aparentes.

As principais ações de controle de perdas aparentes são, de acordo com Bezerra e Cheung, (2013):

- Melhoria dos sistemas de macromedição;
- Melhoria da micromedição - adequar os hidrômetros aos perfis de consumo dos usuários, em especial aos dos grandes consumidores (acima de 50 m³/s);
- Avaliação e correção da instalação dos hidrômetros;
- Setorizar a leitura dos hidrômetros com a participação dos projetistas e operadores. Troca periódica e otimizada de hidrômetros;
- Combate a fraudes em ligações ativas e inativas;
- Regularização de ligações em áreas não hidrometradas, ou seja, a busca por 100% de hidrometração;
- Gestão eficiente do sistema comercial.

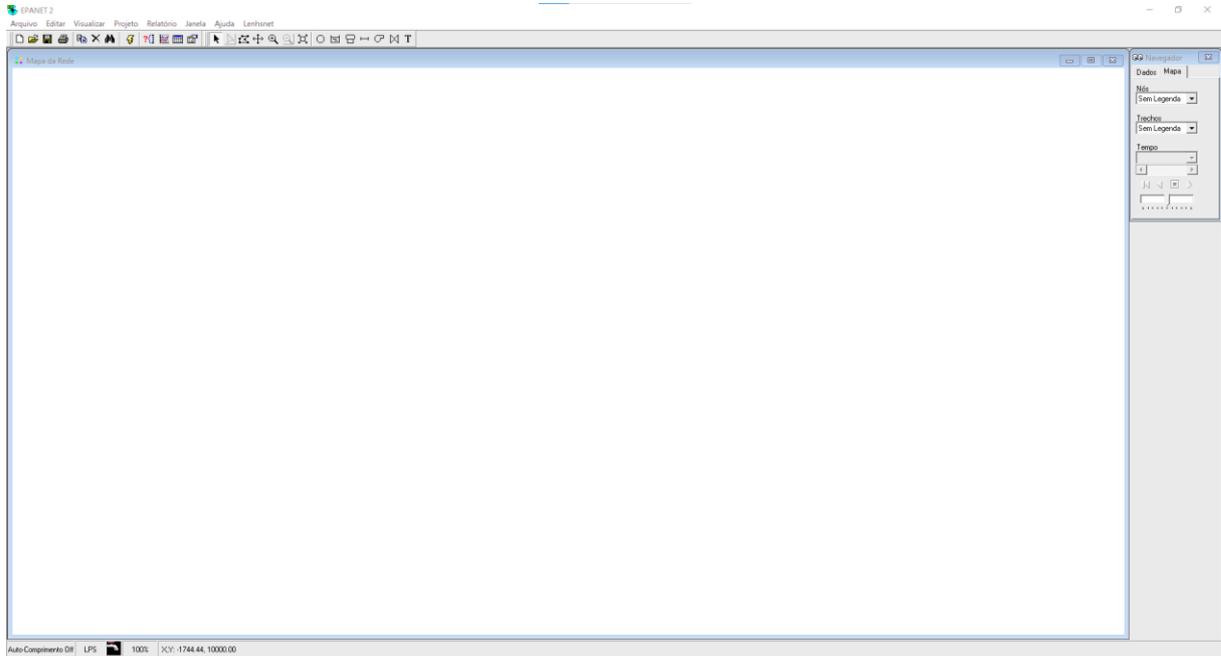
2.9 Apresentação do Software EPANET 2.0

A modelagem hidráulica de redes de água vem sendo objeto de aplicação com ênfase nas análises de perdas na rede e qualidade de água. Existem no mercado da informática vários modelos de simulação hidráulica, entre eles o EPANET, criado pela *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA), agência estatal encarregada de proteger os seus recursos naturais (ar, terra e recursos hídricos). A versão em português do programa, feito pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) (LENHS,2020).

Conforme Rossman (2000), o EPANET é um *software* que faz simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada. O *software* permite ter a vazão em cada tubulação, pressão em cada nó, altura de água no reservatório e da concentração de espécies químicas por meio da rede durante o período de simulação, subdividido em muitos intervalos de cálculo. Entre outros fatores.

A Figura 5 mostra a interface do programa, que é bem intuitiva e de fácil manuseio.

Figura 5 - Interface do software EPANET 2.0



Fonte: Autora, 2022.

2.10 Curva característica da bomba

A melhor forma de descrever as características operacionais das bombas é pela utilização de suas curvas características. São as curvas fornecidas pelo fabricante e que geralmente representam: $HB=f(Q)$; $hB=f(Q)$; $NPSHr=f(Q)$ e $NB=f(Q)$. O levantamento das curvas características das bombas é realizado pelo fabricante do equipamento, em bancos de prova equipados para tal serviço (ESCOLA DA VIDA, 2022).

Amplamente utilizadas para os trabalhos de engenharia, as bombas centrífugas são capazes de trabalhar com sensível variação de vazão, de pressão e de rotação (LABORATÓRIO DE CALOR E FLUIDOS II).

Ainda de acordo com Laboratório de Calor e Fluidos II, as curvas características das bombas centrífugas relacionam a vazão recalcada com a altura manométrica alcançada (H), com a potência absorvida (P) e com o rendimento (η). Muitas vezes também apresentam a altura máxima de sucção ($H_{s,máx}$) ou a energia específica positiva líquida de sucção requerida pela bomba ($NPSH$ ou net positive suction head).

Onde:

H = altura de elevação manométrica ou carga total

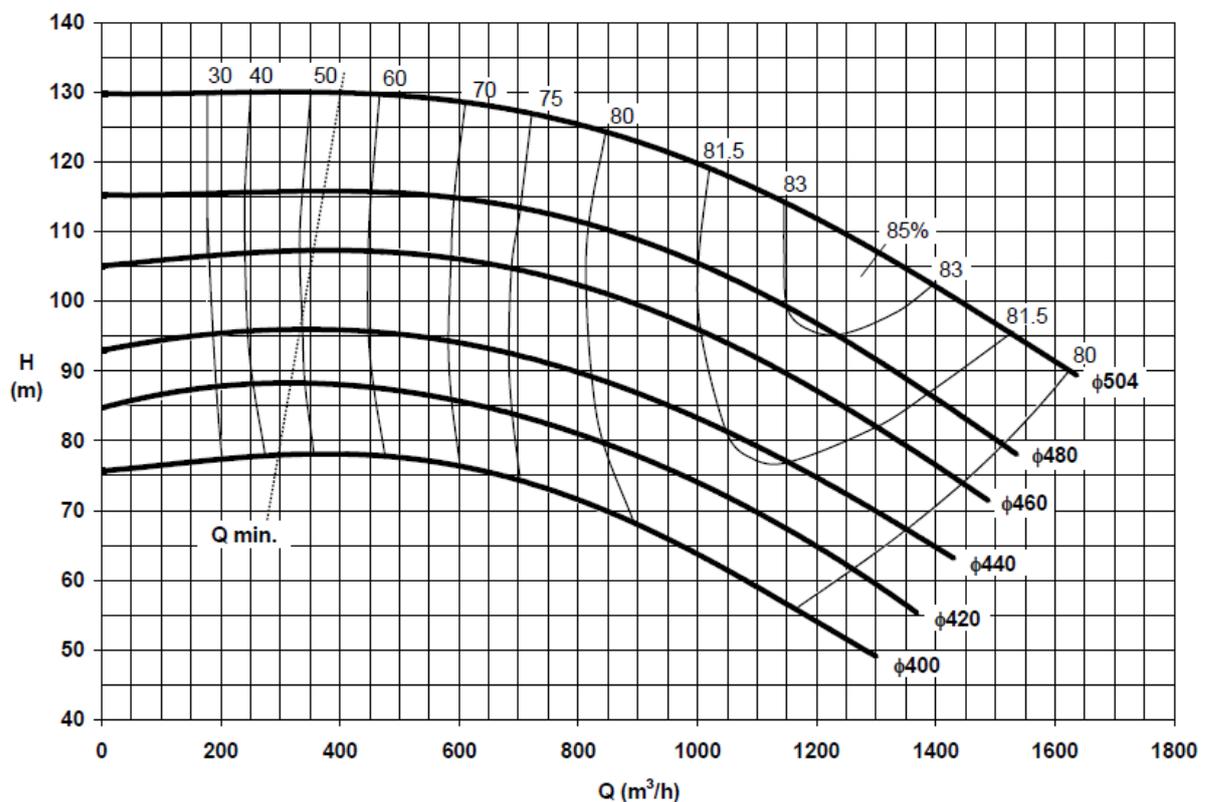
Q = vazão ou capacidade da bomba

P = potência absorvida ou potência no eixo

η = rendimento

Como podemos ver na Figura 6, a curva característica de bombas centrífugas apresenta limitações no que se refere a vazão mínima (Q min.) e vazão máxima (fim da curva), além de possuir regiões de maior ou menor rendimento. A melhor opção é sempre selecionar uma bomba que funcione nas regiões de maior rendimento, não só devido à eficiência energética, mas também por razões de confiabilidade e durabilidade (vida útil) (GERMANO, 2021).

Figura 6 - Curva característica de uma bomba centrífuga



Fonte: Germano, 2021.

Nesse tipo de bomba, a energia mecânica é transferida ao líquido pelas forças centrífugas geradas no rotor. Considerando a mesma carcaça, a intensidade dessas forças varia com as dimensões, forma e número de giros do rotor. Assim, ao modificarmos qualquer destes três parâmetros, alteramos, de modo correspondente, a curva característica da máquina. As curvas de H vs. Q e de η vs. Q não sofrem alteração significativa para um rotor que tenha

forma, diâmetro e rotação definidos, independente do líquido bombeado, desde que não possua viscosidade elevada (MACINTYRE, 1980).

Portanto, a curva característica da bomba representa as condições hidráulicas operacionais da máquina trabalhando a determinada rotação (giros na unidade de tempo).

3 METODOLOGIA

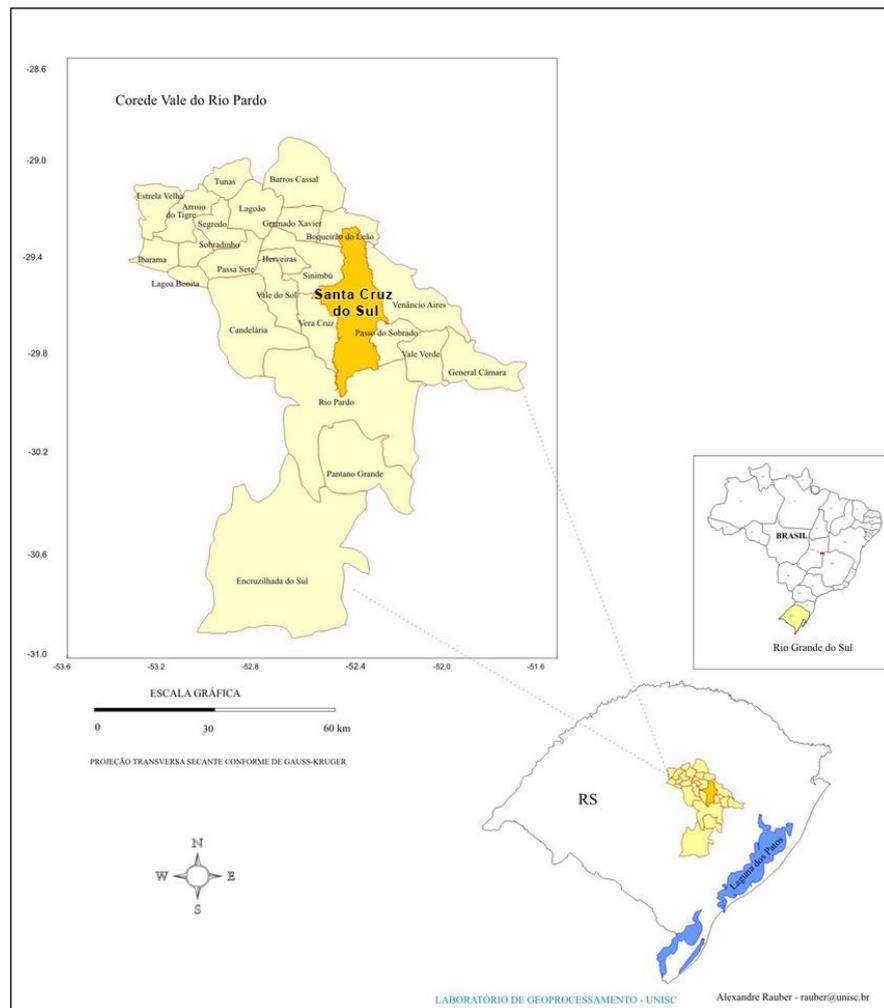
As atividades realizadas neste estudo se basearam na escolha de um setor do SAA do município de Santa Cruz do Sul, por meio do Diagnóstico do Sistema de Abastecimento de Água e Esgoto feito pela HydroBrasil em 2018. A partir desta definição foram identificados pontos críticos do setor escolhido, além de avaliada a rede de distribuição e o comportamento das pressões, vazões e velocidades atuais através de simulação com o *software* EPANET 2.0, tendo por interesse confrontar os resultados encontrados no programa com os dados fornecidos pela CORSAN, disponíveis junto ao CCO da companhia, com o objetivo de propor as melhorias cabíveis ao sistema em estudo.

Sendo assim, a prática desta pesquisa se divide em quatro etapas: (i) Caracterização do SAA do Município de Santa Cruz do Sul (ii) Caracterização do Sistema Petitiba, (iii) Simulação do Sistema Petitiba no EPANET 2.0 e (iiii) Proposição de melhorias. Neste capítulo encontram-se os métodos que foram utilizados para o desenvolvimento do trabalho prático para as etapas descritas acima.

3.1 Caracterização do SAA do Município de Santa Cruz do Sul

O município de Santa Cruz do Sul se localiza na região do Vale do Rio Pardo, na encosta inferior do nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, conforme apresentado na Figura 7. De acordo com dados do IBGE (2021), o município se entende por 733,898 km² e a população estimada em 132.271 habitantes.

Figura 7 - Localização do município de Santa Cruz do Sul

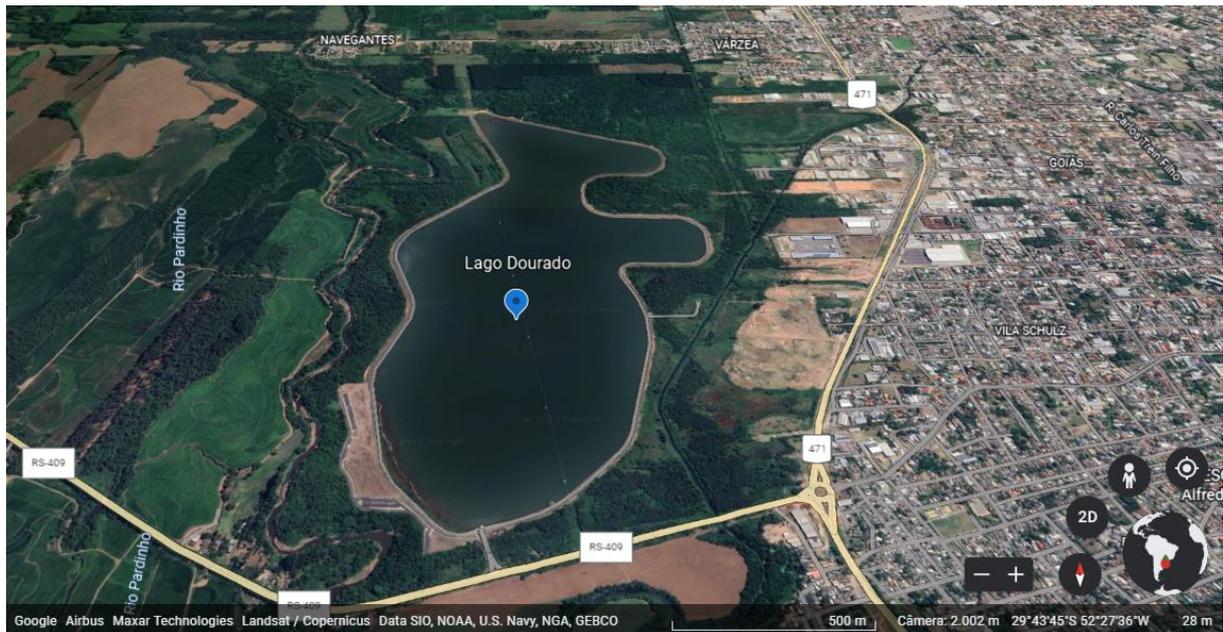


Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UNISC.

O acesso ao aplicativo SNIS - Série Histórica (2020), nos dá dados declarados pelo prestador de serviços no município. A população atendida com abastecimento de água é de 116.734 habitantes, a quantidade de ligações ativas de 38.281 e a quantidade de economias ativas de 57.302. O comprimento total da malha de distribuição de água, incluindo adutoras, subadutoras e redes distribuidoras e excluindo ramais prediais, operada pelo prestador de serviços é de 598,01 km.

O serviço de abastecimento de água do município em zona urbana é de responsabilidade da CORSAN. O município conta com captação superficial no Rio Pardinho e com subterrânea através de poços profundos. A captação no Rio Pardinho, ocorre através de adutora de água bruta DN 900 mm operando por gravidade, transporta o volume, para o Lago Dourado, com capacidade de projeto em acumular 3 milhões de m³ de água. (SANTA CRUZ DO SUL, 2018). Conforme apresentada na Figura 8, o Lago Dourado é localizado nas proximidades das margens do Rio Pardinho – entre a RS-409 e a BR-471.

Figura 8 – Localização do Reservatório Lago Dourado



Fonte: Adaptado pela autora com base em Google Earth, 2022.

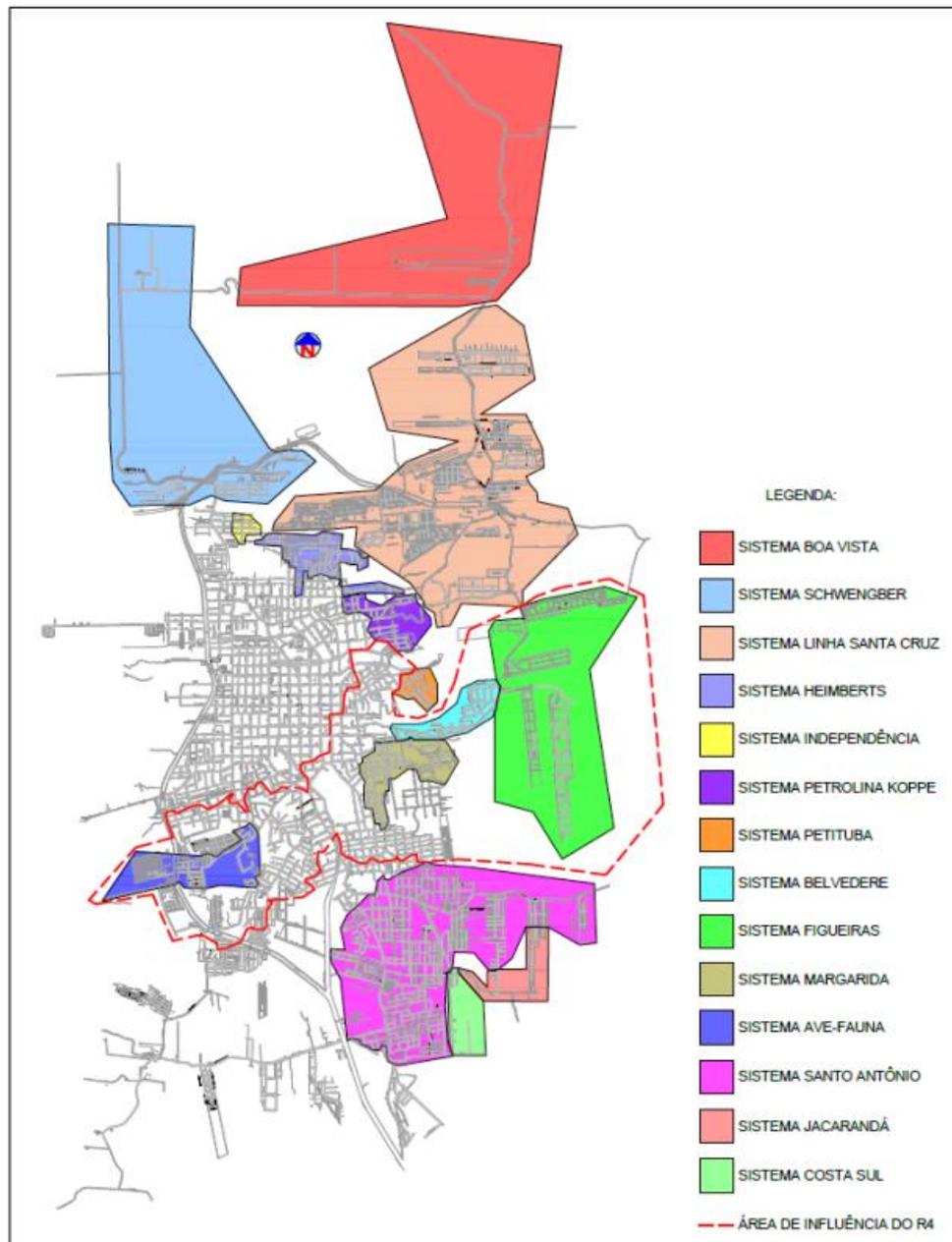
A partir do Lago Dourado a água segue por gravidade até a Estação de Bombeamento de Água – 1º Recalque (EBA-01) de onde partem três linhas adutoras pressurizadas, em paralelo, até a ETA que é do tipo convencional com capacidade máxima atual de 520 l/s, localizada na Rua Pedreira, 217 no bairro Pedreira. O fluxograma esquemático do Sistema de Abastecimento Urbano em Santa Cruz do Sul pode ser visualizado no ANEXO A (CORSAN, 2016).

As unidades básicas que compõem o SAA são, portanto, os mananciais superficiais e subterrâneos de captação de água bruta, as estações elevatórias e adutoras de água bruta, as Estações de Tratamento de Água (ETAs), os reservatórios, as estações elevatórias e adutoras de água tratada, os *boosters*, a rede de distribuição e os pontos de controle sanitário (SANTA CRUZ DO SUL, 2018).

A rede de distribuição que abrange toda a área urbana do município, possui 665.783 metros de tubulação de diâmetros variando de DN 50 mm até DN 900 mm. Sendo a maioria percentual de tubulação de PVC (81,3 %) comparado a Fibrocimento (FC) 8,3%, Ferro Fundido (FF) 5,3%, PVC FoFo (4,5%), e menos de 1% para outros materiais, os quais compreendem Aço, PVC PBA, Ferro galvanizado e outros. E o diâmetro, com maior percentual entre DN 50 e 150 mm (SANTA CRUZ DO SUL, 2018).

O sistema de abastecimento é dividido em três zonas de pressão: zona alta, zona média e zona baixa. As regiões mais altas da cidade formam os setores apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Setorização do SAA de Santa Cruz do Sul

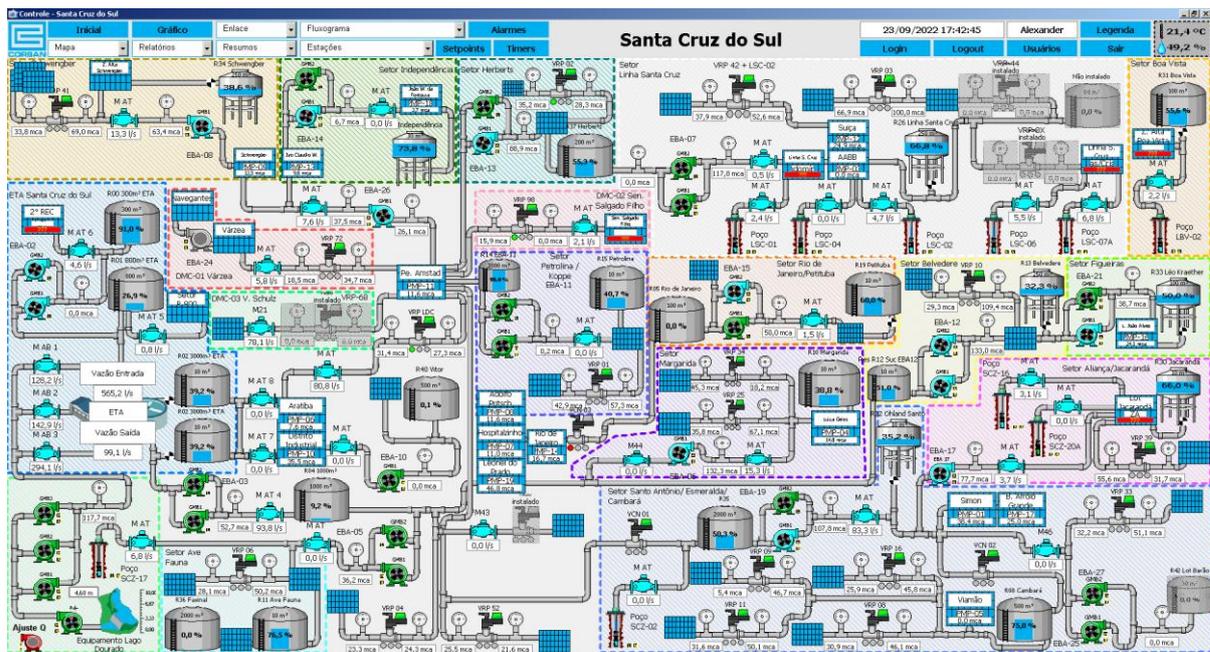


Fonte: HydroBrasil, 2018.

O reservatório R4 abastece a zona média e áreas baixas mais distantes, sendo responsável por significativa porção da cidade, destacada na parte central da cidade pelo traçado vermelho e que não estão hachuradas. Já as regiões do mapa que não estão hachuradas e fora do traçado vermelho representam o sistema atendido majoritariamente por gravidade. A partir da rede das zonas baixas e médias procede-se o recalque para esses setores com elevatórias de distribuição em marcha e apoio de reservatórios de jusante. Nestes setores encontram-se diferentes zonas de pressão geradas pela subsetorização com VRP (HYDROBRASIL, 2018).

O sistema de abastecimento de Santa Cruz do Sul possui um CCO, localizado na Rua São José. O sistema permite monitorar os principais reservatórios e elevatórias, bem como controlar ativamente o acionamento das bombas. Além do monitoramento passivo dos pontos de pressão na rede (pontos críticos), o sistema proporciona controle dos níveis de reservatório, bem como elevatórias e poços e o monitoramento ativo das VRPs. A tela do supervisor do CCO da CORSAN caracteriza todo o sistema de abastecimento do município, contando cada ponto de monitoramento e separado por setores que contemplam o sistema, como apresenta a Figura 10.

Figura 10 - Tela do supervisor do CCO de Santa Cruz do Sul



Fonte: CORSAN, 2022.

Atualmente de acordo com esta tela do supervisor do CCO, estão integrados no sistema:

- Controle de nível de 25 reservatórios;
- Controle ativo de 21 estações de bombeamento;
- Controle ativo de 10 poços;
- Monitoramento de 36 macromedidores;
- Monitoramento de 17 pontos de pressão na rede;
- Monitoramento de 22 VRPs.

A cidade faz o uso de várias elevatórias, devido ao relevo com grandes diferenças de nível. Como consequência essas elevatórias produzem pressões elevadas nas áreas mais

baixas para a água atingir os pontos mais altos. Na Tabela 1 mostra as pressões de cada setor e a média ponderada pelo número de ligações, entre dezembro de 2017 e março de 2018.

Tabela 1 - Pressões médias em cada setor

Setor	Ligações	Pressão média ponto crítico (mca)	Pressão média (mca)
Zona Baixa – Centro	20.432	17	27
Zona Média - R4	7.800	22	53
Cambará (Costa Sul)	156	16	33
Ave Fauna	484	32	44
Margarida	916	16,7	65
Linha Santa Cruz	1.232	21	35
Schwengber	553	25	44
Petrolina	414	29	63
Belvedere	320	26	70
Herberts	567	19	35
Independência	216	12	58
Petituba	52	25	53
Jacarandá	262	20	54
Santo Antônio	4.797	35	50
Figueiras	220	20	38
Dist. Industrial	260	16	38
Boa Vista	120	23	38
Total ligações	38.801		
Pressão média no sistema		20,91	38,12

Fonte: Adaptado pela autora de HydroBrasil, 2018.

Considerando os dados trazidos na Tabela 1, conforme o diagnóstico feito pela HydroBrasil, verifica-se que a pressão no ponto mais alto de cada setor não ultrapassa 50 mca, conforme é o recomendado pela NBR 12218 (ABNT, 2017). No entanto, os setores Jacarandá, Petituba, Independência, Belvedere, Petrolina, Margarida e Zona Média – R4, tem pressão média extrapolada. Visto isso, se faz necessária a instalação de dispositivos que controlem a pressão nesses pontos (HYDROBRASIL, 2018).

Conforme apresentado pelo Plano de Saneamento de Santa Cruz do Sul (2018), a rede de distribuição do município tem a necessidade de se reduzir as perdas já existentes e, ao mesmo tempo, reduzir o número de vazamentos atuais, em parte causados pela pressurização das redes. O volume calculado atual chega à média de 69% do total produzido, o que se

transforma no principal problema do abastecimento da cidade no momento. Os pontos críticos no abastecimento estão diretamente relacionados com o alto índice de perdas, agravado diretamente pela pequena reservação o que transforma toda a cidade em áreas críticas. Há incapacidade hídrica de abastecimento do Rio Pardinho, na época da seca, onde as vazões indicativas do Comitê do Pardo mostram vazões menores que as necessárias para um abastecimento regular da cidade.

3.2 Caracterização do Sistema Petituba

Diante do diagnóstico da HydroBrasil e com o auxílio da CORSAN, definiu-se um setor do sistema de abastecimento do município, como objeto de estudo para este trabalho. Com os dados monitorados pelo CCO da companhia de pontos da rede foi possível comparar os dados da simulação no *Software* EPANET 2.0, analisá-los e tecer conclusões.

O sistema escolhido foi o Setor Petituba que engloba parte do bairro Higienópolis, como apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Delimitação Setor Petituba

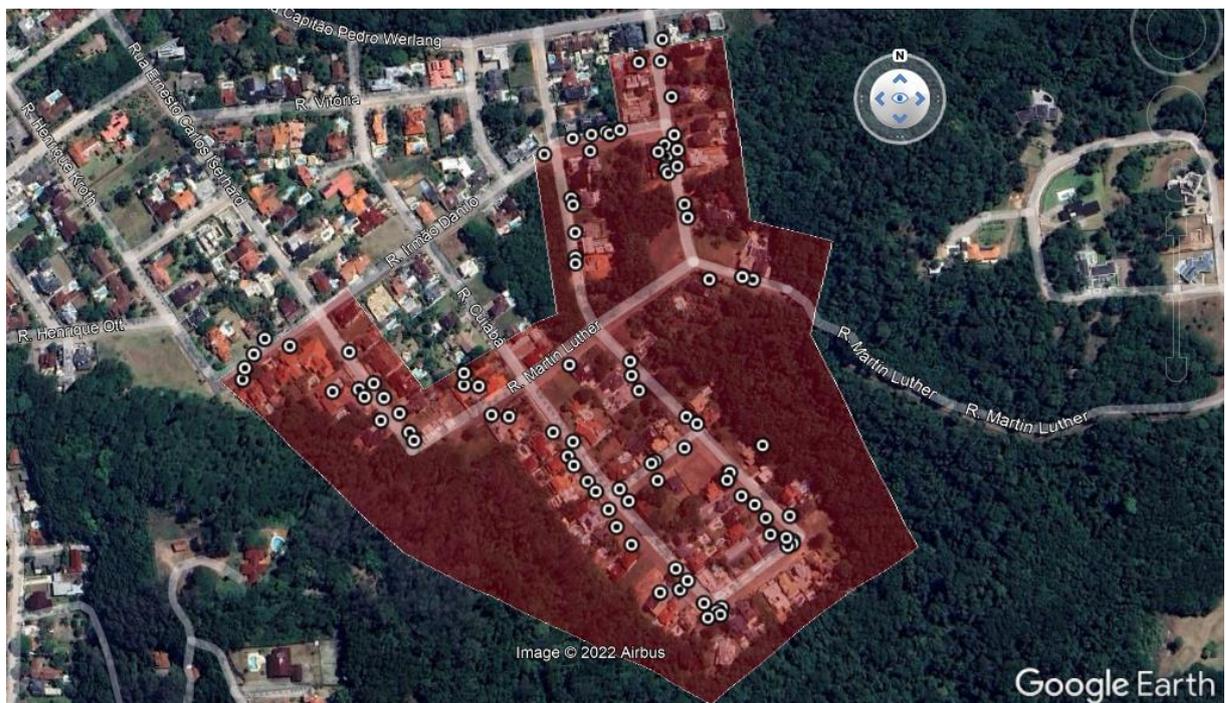


Fonte: Adaptado pela autora com base em Google Earth, 2022.

A extensão territorial do setor tem parte da sua área construída e está habitada, com predominância em habitações domiciliares, enquanto a outra parte está coberta de vegetação. No que se refere ao relevo, possui variações, sendo predominantemente em aclive, o que faz com que a concepção do sistema conte com elevatória para impulsionar a água até picos mais altos, ocasionando pressões elevadas nas regiões mais baixas.

É possível visualizar melhor a delimitação da região de estudo e cada ponto que representa uma ligação de água, conforme apresentado na Figura 12. A partir do GEOPORTAL, sistema informatizado de cadastro georreferenciado da CORSAN, é possível reconhecer os "pontos de ligação", bem como o número de economias de cada ligação, características do ramal, diâmetro do ramal, consumo de água, assim como o material e o diâmetro da rede.

Figura 12 – Delimitação do setor e pontos de ligação

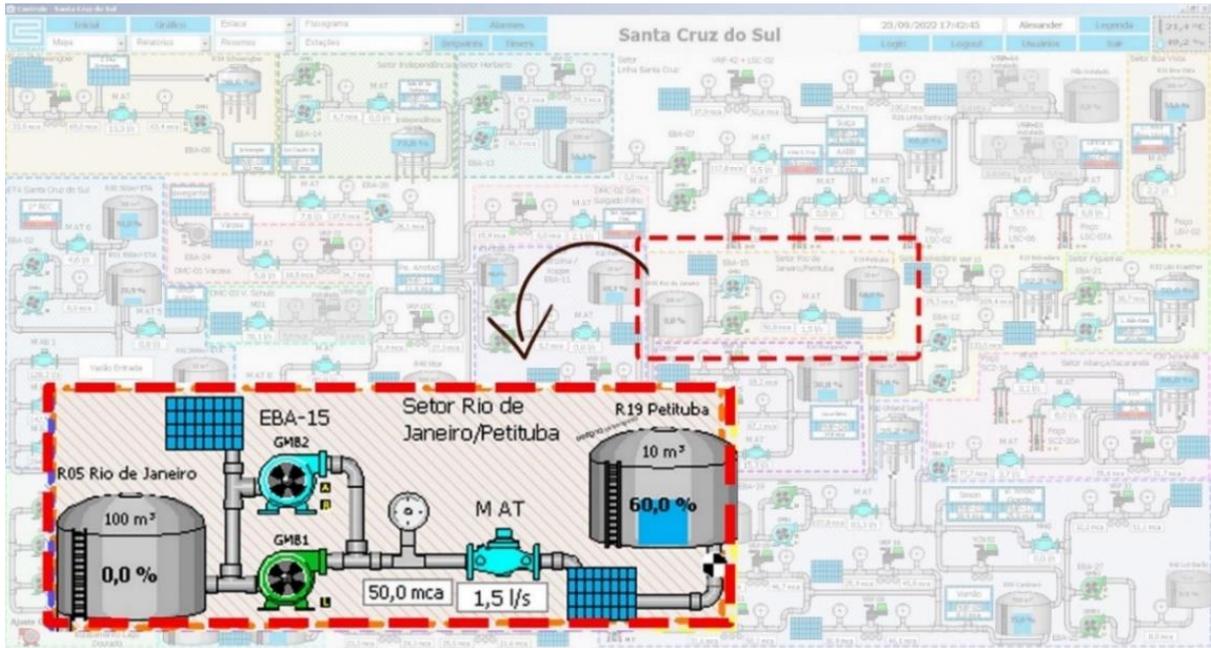


Fonte: CORSAN, 2022.

A área de estudo conta com uma elevatória de água composta por 02 conjuntos motor-bomba (01 operativo + 01 reserva redundante) com macromedidor recentemente instalado e um reservatório de montante, denominada EBA-15. Também faz parte do sistema o reservatório de jusante, denominado R19. A rede de distribuição do Sistema Petituba é formada por tubulações de PVC, com diâmetros de 50 e 75 mm, totalizando em 2.897,84 metros de rede.

Na Figura 13, pode ser observado melhor os componentes que integram o sistema.

Figura 13 – Componentes do Sistema Petituba



Fonte: Adaptado pela autora com base em CORSAN (2022).

Para fins deste estudo o sistema foi delimitado tendo como ponto de início a EBA-15, que bombeia água tratada até o reservatório e promove a distribuição de água ao sistema. O sistema conta ainda com um macromedidor eletromagnético, bitola DN50, instalado logo após o recalque e tem como ponto final o reservatório de distribuição R19. No decorrer do trabalho será apresentado mais detalhadamente cada componente.

A região de estudo é constituída por 8 logradouros, totalizando em 94 economias atendidas, em acordo com os dados do GEOPORTAL da CORSAN e que estão relacionadas no Quadro 1.

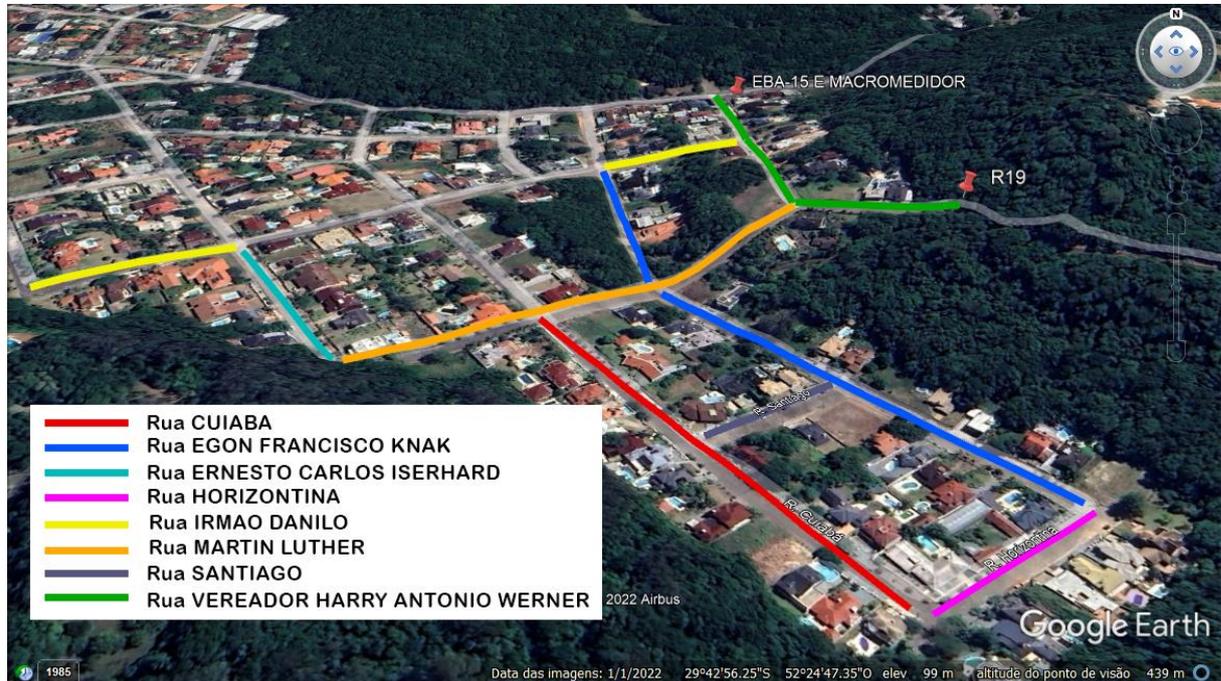
Quadro 1 - Relação de logradouros e economias do Sistema Petituba

Logradouro	Economias
Rua CUIABA	17
Rua EGON FRANCISCO KNAK	20
Rua ERNESTO CARLOS ISERHARD	13
Rua HORIZONTALINA	7
Rua IRMAO DANILLO	12
Rua MARTIN LUTHER	4
Rua SANTIAGO	4
Rua VEREADOR HARRY ANTONIO WERNER	17
Total de economias	94

Fonte: Autora, 2022.

É possível observar melhor a localização dos logradouros, estação de bombeamento, reservatório e macromedidor que concebem o sistema, na Figura 14. Sendo cada rua representada por uma cor, conforme legenda.

Figura 14 – Localização dos componentes do Sistema Petituba



Fonte: Autora, 2022.

3.2.1 Recalque Sistema Petituba

O recalque do Sistema Petituba denominado de EBA-15, está localizado na Rua Vereador Harry Antônio Werner, número 10. O recalque opera usando um conjunto motor-bomba, cujos motores são da linha W22 da WEG, de 7,5 cv de potência, 2 polos, conforme curva característica (ANEXO B). A referência de rendimento para um motor deste tipo é de 88,7% para condições operacionais nominais.

A partir da análise da operação da EBA-15 é possível extrair que o motor opera, na média, por cerca de 87% do tempo, pois há algumas paradas durante o dia. O bombeamento utiliza um inversor que trabalha em frequência constante de 60 Hz e mantém o motor próximo a sua rotação nominal de 3550RPM.

A bombas acopladas aos motores são do tipo centrifugas, marca Worthington, modelo D820 2x1x6.

As condições operacionais nominais da EBA-15 Petituba são: Vazão= 3 l/s e Pressão= 50 mca.

Na Figura 15 pode ser observada a estação de bombeamento do Petituba, que conta com uma edificação que abriga o conjunto de motor-bomba.

Figura 15 - Recalque Sistema Petituba (EBA-15)



Fonte: Autora, 2022.

A estação de bombeamento conta com um Reservatório de Montante, denominado R18, a ser representado no EPANET como um Reservatório de Nível Fixo (RNF) servindo como fonte de captação da água que é distribuída ao sistema em estudo. O reservatório tem capacidade de armazenar 10 m³ de água, é do tipo apoiado e construído em concreto, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 - Reservatório de Montante



Fonte: Autora, 2022.

Dados de monitoramento da elevatória, disponibilizados pela CCO da CORSAN, foram utilizados com o objetivo de avaliar as pressões do recalque durante o período de quatro meses, entre junho de 2022 a setembro de 2022.

3.2.2 Reservatório de Distribuição

Denominado R19, o reservatório jusante do Sistema Petituba está situado na Rua Martin Luther, com coordenadas de latitude $29^{\circ}42'52.40''S$ e longitude de $52^{\circ}24'39.89''O$. O reservatório tem capacidade para armazenar 50 m^3 de água, com a função de acumulação e compensação, é do tipo apoiado metálico. Na Figura 17 pode ser observado o reservatório do Petituba.

Figura 17 - Reservatório R19



Fonte: Autora, 2022.

Dados de monitoramento do reservatório, disponibilizados pela CCO da CORSAN, foram utilizados com o objetivo de avaliar o controle de nível de reservação, durante o período de quatro meses, entre junho de 2022 a setembro de 2022.

3.2.3 Macromedidor

O macromedidor do Sistema Petituba, está situado na Rua Vereador Harry Antônio Werner, número 10. Refere-se a um Medidor de Vazão Eletromagnético Carretel Alimentação Elétrica – Modelo ECOMAG – Marca Sanesolutti, diâmetro de 50 mm, instalado próximo ao EBA-15, com vazão média de 1,2 l/s. Trata-se de um equipamento novo que ainda não foi aferido, instalado em agosto de 2022. Na Figura 18 pode ser observado o macromedidor do Petituba.

Figura 18 – Macromedidor Petituba



Fonte: Autora, 2022.

Conforme relatório fornecido pelo CCO da CORSAN com dados de monitoramento do macromedidor, foram utilizados com o objetivo de avaliar a vazão, durante os meses de setembro e outubro de 2022, mesmo que o equipamento ainda não tenha sido devidamente aferido.

3.3 Simulação do Sistema Petituba no EPANET 2.0

Como já mencionado, o EPANET é um programa que permite executar a simulação do comportamento hidráulico, ou seja, a representação do sistema em instantes de tempo definidos. Neste trabalho foram utilizados os valores obtidos conforme o levantamento de dados junto a CORSAN para simular a situação atual da rede de distribuição do Sistema Petituba.

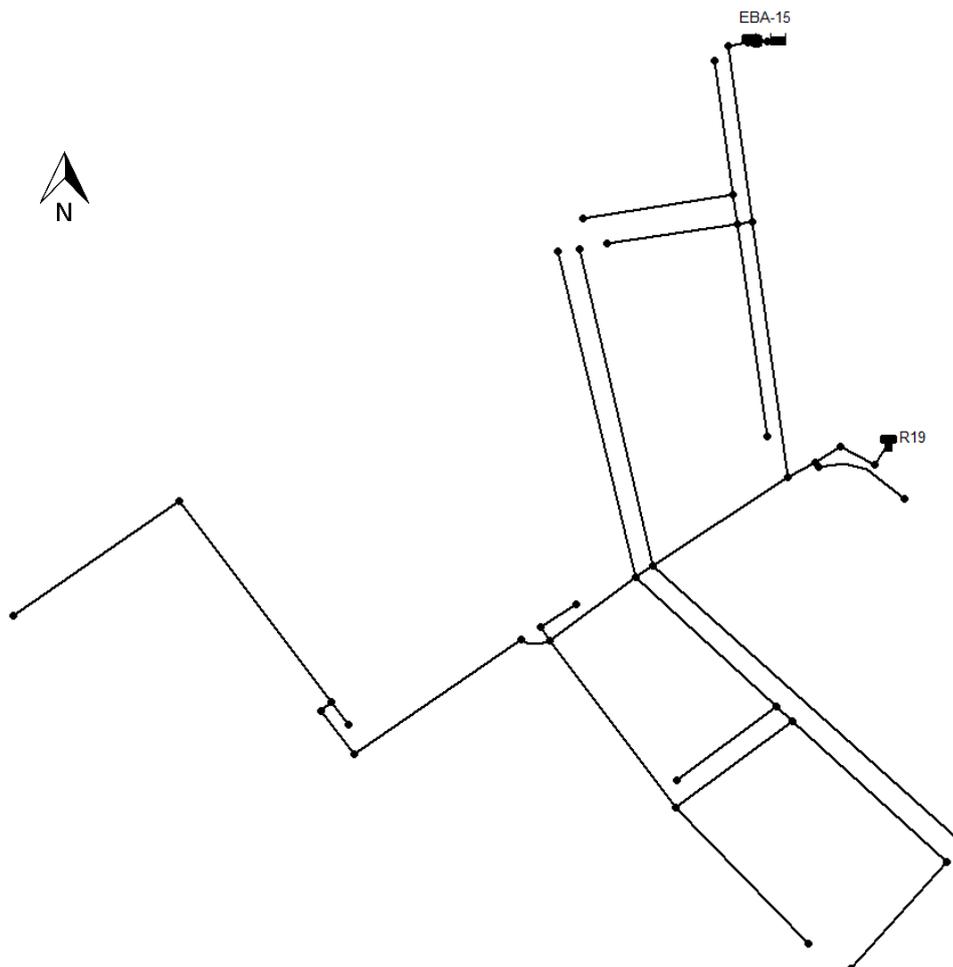
O *software* modela o sistema de distribuição de água como um conjunto de trechos ligados a nós. Os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas de controle, e os nós as conexões e reservatórios. Inserindo estes componentes físicos com as suas características definidas, temos os parâmetros iniciais para a modelagem de uma rede. Ligados aos componentes físicos estão os componentes não físicos, parâmetros que descrevem comportamento e aspectos operacionais de um sistema de distribuição, definidos como padrões, curvas e controles. Os componentes utilizados para a modelagem do Sistema Petituba serão apresentados de forma detalhada no decorrer do trabalho.

3.3.1 Parâmetros de entrada

Através do cadastro técnico disponibilizado pela CORSAN em AutoCAD, onde está representado todo o sistema de abastecimento de água do município de Santa Cruz do Sul, foi possível identificar as tubulações, seus materiais e diâmetros nominais, comprimentos, acessórios, válvulas, reservatórios e recalque. Com isso pode-se fazer o traçado do Sistema Petituba no *software* EPANET 2.0, isolando-se o mesmo do restante da rede da cidade para fazer a simulação.

A representação digital foi composta por um RNF, fonte de água para suprimento do setor, a partir do qual a água é bombeada para rede de distribuição. O sistema também foi modelado considerando um trecho que liga a rede a um Reservatório de Nível Variável (RNV). Deste modo, entende-se como ponto inicial o recalque EBA-15 e o ponto final o reservatório R19, conforme Figura 19.

Figura 19 – Sistema Petituba no *software* EPANET 2.0



Fonte: Autora, 2022.

Para iniciar a modelagem hidráulica definiram-se algumas configurações, como a fórmula de perda de carga e as unidades de medidas a serem adotadas, que podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Parâmetros gerais para o software EPANET 2.0

Parâmetro	Unidade
Carga hidráulica	m
Comprimento da tubulação	m
Consumo	l/s
Cota	m
Diâmetro do reservatório	m
Diâmetro da tubulação	mm
Potência	kW
Pressão	mca
Velocidade	m/s

Fonte: Autora, 2022.

A perda de carga na tubulação é determinada através da fórmula de Hazen-Williams, sendo apresentada na Equação 1.

$$hf = 10,65 \times Q^{1,85} \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \quad (1)$$

Onde:

hf = Perda de carga (m/m);

Q = Vazão (m³/s);

C = Coeficiente de rugosidade;

D = Diâmetro da tubulação (m).

➤ Nós

Os nós são elementos que representam a ligação entre os trechos de tubulações, para a ocorrência de escoamento do líquido que passa por esses trechos, com dados de entrada de consumo base e cota topográfica.

As informações principais que foram inseridas em cada nó no processo de concepção da modelagem do Sistema Petituba, estão indicadas no Quadro 3 e podem ser conferidas no APÊNDICE A.

Quadro 3 - Informações inseridas nos nós

Propriedade	Descrição
Identificação do nó	Adotada pela autora
Cota do nó	Cota do terreno
Consumo base	Número de economias consideradas para o nó

Fonte: Autora, 2022.

A cota dos nós foi determinada com base na cota do terreno. O sistema de abastecimento fornece água aos consumidores a partir dos ramais, porém, para caracterizar essa vazão no modelo hidráulico, adotou-se uma simplificação, associando o consumo de um trecho a um nó.

Em seguida, a partir das informações do GEOPORTAL, Sistema de informação geográfica (SIG) próprio da companhia, obteve-se a taxa de consumo por lote (fator de consumo). Tal fator foi definido a partir da extração das informações de consumo mensal de cada economia do setor nos últimos 12 meses. Ou seja, calculou-se o consumo mensal médio do setor ($\text{m}^3/\text{mês}$) por meio da média das somas dos consumos mensais das economias do setor. A partir desta informação, por meio de conversão de unidades, chegou-se ao parâmetro da vazão de referência: vazão média do setor baseada nas leituras dos hidrômetros.

No entanto, há que se considerar que existe uma parcela importante de vazão (desconhecida) associada ao erro de submedição dos hidrômetros. Assim, visando adequar o modelo para não sofrer tal influência de maneira tão significativa, em uma nova rodada de simulação, optou-se por considerar o erro de submedição, o que implicou em um aumento da vazão de referência. Também foram consideradas perdas reais de água no setor, o que resultou em uma vazão de referência final ainda maior. Finalmente, dividindo-se a vazão de referência pelo número total de ligações do setor obteve-se o fator de consumo, parâmetro que foi adotado no EPANET.

Assim, o consumo-base foi definido como sendo o número de ligações em cada trecho. Como decorrência, o consumo em cada nó é calculado automaticamente pelo EPANET por meio da multiplicação entre o consumo-base e o fator de consumo. A distribuição por nó pode ser verificada no APÊNDICE A. Como consequência dessas parametrizações, o EPANET

calcula e exibe graficamente a pressão de cada nó, entre outros resultados que não serão pertinentes ao objetivo do estudo.

➤ **Trechos**

Os trechos são a representação das tubulações ligadas entre dois nós. As tubulações têm o papel de conduzir a água de um local para outro dentro do sistema e esse escoamento ocorre sob pressão.

Os dados necessários foram obtidos do cadastro técnico (mapa da rede) disponibilizado pela CORSAN que pode ser verificado no APÊNDICE B. No *software* o diâmetro da tubulação a ser utilizado é o interno. No entanto, por praticidade, uma vez que tal preciosismo não é significativo para o presente estudo, admitiu-se o diâmetro nominal informado no cadastro técnico para a rede de distribuição do Sistema Petituba. Também, analisando que toda tubulação é de PVC, admitiu-se o coeficiente de rugosidade de 140 para todas as tubulações.

No Quadro 4 estão indicadas as informações principais que foram inseridas em cada trecho no processo de concepção da modelagem do Sistema Petituba.

Quadro 4 - Informações inseridas nos trechos

Propriedade	Descrição
Identificação do trecho	Adotada pela autora
Nó inicial	Identificação do nó em que começa o trecho
Nó final	Identificação do nó em que termina o trecho
Comprimento do trecho	Comprimento da tubulação
Diâmetro do trecho	Diâmetro nominal da tubulação
Rugosidade	Coefficiente de acordo com material da tubulação

Fonte: Autora, 2022.

Como resultado da modelagem, obtêm-se para os trechos os seguintes resultados: vazão, velocidade e dentre outros que não serão pertinentes ao objetivo do estudo.

➤ Bombas e Reservatório de Nível Fixo (RNF)

As bombas e as válvulas, na lógica funcional do EPANET, são consideradas como trechos da rede, definindo uma ligação entre dois nós. As primeiras são equipamentos que impulsionam o fluxo de água de cotas baixas para cotas elevadas. Portanto a instalação de bombeamento é caracterizada por uma função (curva característica) da altura manométrica e vazão, dada por um ou mais pares de pontos.

Conforme já mencionado, o recalque EBA-15 é considerado o ponto inicial no Sistema Petituba e se dá por meio de 02 conjuntos motor-bomba, 01 operativo e outro reserva. Os motores elétricos são da marca WEG, potência de 7,5 cv e as bombas centrifugas são da marca *Worthington*, conforme curva característica disponível no ANEXO B. Para a identificação da curva foram utilizados, inicialmente, três combinações de valores de altura manométrica e vazão, além do ponto ótimo.

Na modelagem apenas 01 conjunto é representado.

No Quadro 5 estão indicadas as informações que foram inseridas no *software* relativo ao conjunto motor-bomba do Sistema Petituba.

Quadro 5 - Informações inseridas em bomba

Propriedade	Descrição
Identificação da bomba	Conforme a adotada pela CORSAN
Nó Inicial	Identificação do nó inicial de sucção da bomba
Nó final	Identificação do nó final de recalque da bomba
Identificação da curva	Combinação de valores de altura manométrica e vazão
Potência	Potência fornecida pela bomba

Fonte: Autora, 2022.

Como a área de estudo é apenas uma parte de um sistema de abastecimento, é necessário utilizar um Reservatório de Nível Fixo (RNF) associado ao bombeamento para servir como fonte de água, para a correta modelagem hidráulica.

Segundo Rossman (2000), os RNF são nós especiais que servem para indicar ponto de abastecimento principal de uma rede, aplicados para representar a entrada de água na rede, por lagos, rios, poços, ETA ou mais frequentemente, ligações a outros sistemas, como é o caso deste estudo. Os RNF têm a capacidade de armazenamento de água ilimitada e carga

hidráulica constante. As informações a serem inseridas para representação de um RNF na concepção da modelagem do sistema em estudo, se encontram no Quadro 6.

Quadro 6 - Informações inseridas no Reservatório de Nível Fixo

Propriedade	Descrição
Identificação do RNF	Adotada pela autora
Nível de água	Corresponde a linha piezométrica do reservatório

Fonte: Autora, 2022.

➤ **Reservatório de Nível Variável (RNV)**

Também denominados como tanques, o RNV diferente do RNF, dispõem capacidade de armazenamento limitada e podem variar o volume de água ao longo da simulação em virtude do consumo ao longo do dia. No Quadro 7 estão indicadas as informações a serem inseridas no RNV na concepção da modelagem do sistema em estudo.

Quadro 7 - Informações inseridas no Reservatório de Nível Variável

Propriedade	Descrição
Identificação do RNV	Identificação conforme a adotada pela CORSAN
Cota do fundo	Cota do fundo do reservatório (cota terreno)
Altura inicial da água	Altura da água no momento da simulação
Altura mínima da água	Nível do reservatório seco
Altura máxima da água	Nível do reservatório cheio
Diâmetro	Diâmetro interno do fundo do reservatório

Fonte: Autora, 2022.

De acordo com os dados de projeto do "Reservatório R-19 Petituba" obtidos junto à CORSAN, a cota de fundo do mesmo é de 125,5 metros, a capacidade de armazenagem é de 50 m³, o diâmetro interno é de 3,20 metros e a altura de 6,20 metros.

Considerando, ainda, que a simulação do EPANET foi definida para iniciar exatamente no horário da meia noite, considerou-se a altura de água inicial igual a altura máxima do reservatório, pois a tendência é que, no período da madrugada, o reservatório esteja cheio, uma vez que não há consumo tão significativo neste período.

3.4 Proposição de melhorias

Após caracterizar o sistema e definir os parâmetros do modelo para aplicá-lo ao EPANET analisaram-se alternativas para operação de maneira mais adequada e eficiente. As melhorias foram simuladas e avaliadas em relação às velocidades da água nas tubulações e à estabilização das pressões do sistema abastecimento, a fim de garantir a operação dentro dos limites normatizados, o que se traduz na diminuição direta do volume de água perdido em fugas e vazamentos.

Esta etapa incluiu ações como: modificar as regras de bombeamento, substituir a bomba, substituir as tubulações, setorizar, alterar local do reservatório, inserir VRPs, entre outras para ajustar algum parâmetro ao desejado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentadas e analisadas as informações fornecidas pela CORSAN. Além disso são apresentados os resultados obtidos a partir da simulação do Sistema Petituba via *software* EPANET 2.0, a fim de compará-los com tais informações. Com base nessas análises são indicadas soluções para o melhor funcionamento do Sistema Petituba. Cabe reforçar que o estudo abordou esta zona em específico, em detrimento a tantas outras de Santa Cruz do Sul, pelo fato deste setor apresentar pressões elevadas, por conta do uso de elevatória, o que naturalmente ocasiona situações operacionais limítrofes, como pressões elevadas nas regiões mais baixas decorrentes da necessidade de a água atingir os pontos mais altos da rede.

4.1 Diagnóstico geral do Sistema Petituba

Na Tabela 2 está representada a pressão mensal média na saída do recalque, em mca. Destaca-se que esses valores foram obtidos a partir dos relatórios através do CCO da CORSAN no período de junho de 2022 a setembro de 2022.

Tabela 2 - Média mensal de pressão no recalque

Mês	Pressão recalque (mca)
jun/22	52,79
jul/22	52,02
ago/22	50,32
set/22	49,77
Média	51,23

Fonte: Autora, 2022.

Como já destacado no trabalho, a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 50 mca, e a pressão dinâmica mínima, de 10 mca. Os valores da pressão estática superiores à máxima e da pressão dinâmica inferiores à mínima podem ser aceitos, desde que justificados técnica e economicamente.

O controle de pressão na rede permite reduzir o volume perdido em vazamentos, promovendo ao consumidor um serviço com pressões mais estabilizadas. Ter altas pressões na rede acarreta no rompimento das tubulações e provoca vazamentos, sendo uma das principais causas dos altos índices de perdas na rede de distribuição. Já as pressões em níveis abaixo do

estabelecido pelas normas e legislações, leva à insatisfação dos clientes por não receberem água na pressão adequada para a sua utilização.

O modelo simulado deverá ser ajustado até que a pressão do nó associado à saída do bombeamento seja próxima a média que foi apresentada na Tabela 2, conforme os dados obtidos da CORSAN, ou seja, essa seria a pressão de referência para o nó de jusante da bomba.

A partir dos relatórios emitidos pela CORSAN, referente ao Reservatório R19, nó final da simulação, pode se analisar que, em média, o reservatório opera com 75,04% de sua capacidade de reservação, levando em conta a avaliação de um período de quatro meses, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Média mensal da reservação no R19

Mês	R19 (%)
jun/22	82,45
jul/22	74,80
ago/22	71,40
set/22	71,52
Média	75,04

Fonte: Autora, 2022.

Tal situação também é uma limitação física importante, pois evita transbordos, uma vez que não é capaz de se controlar com tamanha precisão o nível máximo ao ponto de utilizar 100% da capacidade do reservatório para este tipo de configuração.

Destaca-se que, para a modelagem do sistema em sua atual condição, considerou-se que o reservatório esteja no seu limite máximo de nível de água, pois a simulação do EPANET inicia exatamente no horário da meia noite e a tendencia é que, no período da madrugada não haja consumos relevantes, portanto, a bomba ficaria mantendo o reservatório cheio, em tese.

Desta forma, apresenta-se na Tabela 4 a capacidade e altura de água do R19, de acordo com informações disponibilizadas pela CORSAN.

Tabela 4 - Volume e altura de água do R19

Volume Nominal (m³)	Capacidade nominal (%)	Altura de água (m)
50	100	6,20

Fonte: Autora, 2022.

Como já mencionado no decorrer do trabalho, o Sistema Petituba conta recentemente com um equipamento novo, um macromedidor, que ainda não foi aferido, instalado em agosto de 2022. Conforme relatórios fornecidos pela CORSAN de setembro e outubro de 2022, se obteve a média mensal da vazão, apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Média mensal da vazão no Macromedidor

Mês	Vazão (l/s)
set/22	1,22
out/22	1,15
Média	1,18

Fonte: Autora, 2022.

Acredita-se que, apesar de ainda não ter sido devidamente aferido, o macromedidor esteja medindo corretamente, pois é do tipo eletromagnético, cuja calibração ocorre em bancada de laboratório. Ou seja, uma vez que não tenha ocorrido problemas durante o transporte, o equipamento deve estar íntegro. De antemão, os valores de vazão medidos para este equipamento serão as referências a alcançar para os valores simulados e obtidos para a saída do recalque (água disponibilizada pelo recalque ao sistema).

4.2 Resultados obtidos através do *software* EPANET 2.0

Nos próximos itens serão apresentados e analisados os resultados da simulação através do *software* EPANET 2.0.

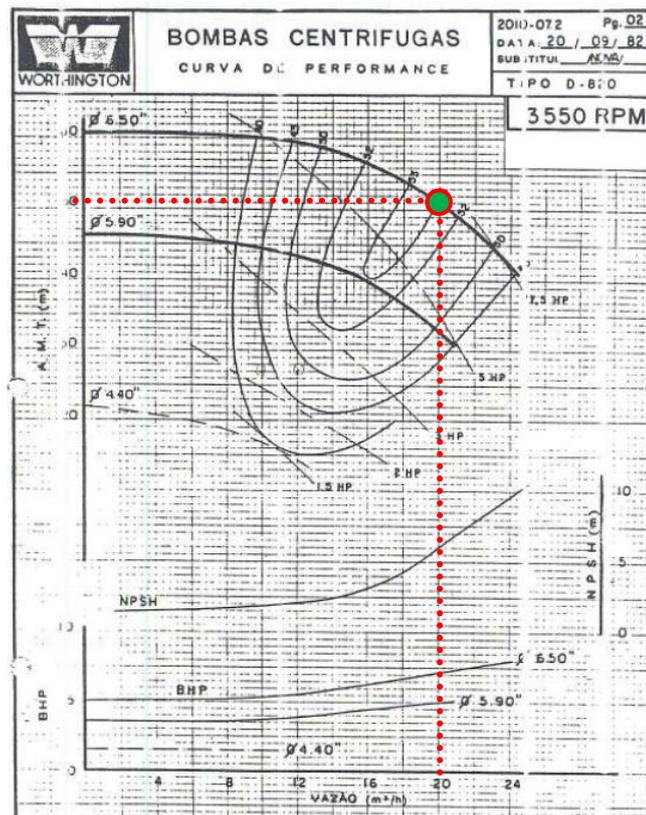
4.2.1 Simulação Sistema Petituba situação atual

A simulação do sistema atual contou com um RNF, estação de bombeamento, um macromedidor e um RNV, conforme já apresentados e detalhados no decorrer do trabalho. Parametrizou-se o modelo no *software* EPANET, seguindo o passo a passo da metodologia apresentada, conforme consta no manual do aplicativo. Destaca-se que inicialmente foi analisada a simulação estática do sistema apenas para conferência dos parâmetros para, posteriormente realizar a simulação dinâmica pelo período de 24 horas.

Inicialmente considerou-se a bomba íntegra, operando em suas condições nominais, conforme curva característica apresentada no ANEXO B, com rotor máximo de 6,5" e pressão de saída de 50 mca, de acordo com as informações do cadastro técnico da CORSAN.

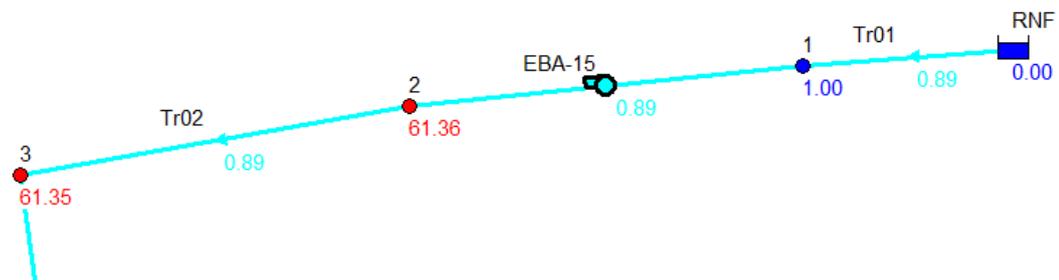
Neste caso, se verificarmos a curva da bomba para a pressão mencionada, encontraremos o valor de 20,5 m³/h ou 5,69 l/s (Figura 20). Conforme a simulação feita no EPANET a vazão encontrada foi bem inferior à prevista, e a pressão bem superior, como pode ser analisado na Figura 21.

Figura 20 – Curva da bomba e ponto operacional informado



Fonte: Adaptado pela autora com base , 2022.

Figura 21 – Vazão e pressão no recalque



Fonte: Autora, 2022.

Entretanto, em conferência com os valores do relatório do macromedidor (gerado pelo CCO da CORSAN), observou-se que a vazão simulada foi muito próxima. Na Tabela 6 pode-se observar o comparativo entre o valor médio CORSAN e o resultado da simulação.

Tabela 6 - Comparação entre a vazão no ponto monitorado pela CORSAN e resultado obtido no EPANET 2.0

Ponto	EPANET	CORSAN	Diferença
Macromedidor (saída do recalque)	0,89 l/s	1,18 l/s	0,29 l/s

Fonte: Autora, 2022.

Conforme informações da CORSAN, o Sistema Petituba opera realmente com uma vazão de ordem inferior a 2 l/s, o que confirmaria as medições registradas no CCO, muito embora o macromedidor ainda não tenha sido devidamente aferido.

Isto ocorre porque a instalação conta com um inversor operando de forma automática e variando a rotação da bomba de acordo com a pressão de saída pré-definida. Esta configuração é a recomendada para este tipo de sistema.

Em comparação com as informações disponibilizadas pela CORSAN também se observou que a pressão simulada foi muito superior. Na tabela 7 está representado o comparativo entre o valor médio CORSAN e o resultado da simulação.

Tabela 7 - Comparação entre a pressão no ponto monitorado pela CORSAN e resultado obtido no EPANET 2.0

Ponto	EPANET	CORSAN	Diferença
Recalque	61,36 mca	51,23 mca	10,13 mca

Fonte: Autora, 2022.

O Sistema Petituba opera com inversor, conforme já mencionado, parametrizado para limitar a pressão de saída a 52 mca, o que confirma as medições registradas no CCO.

4.2.2 Simulação Sistema Petituba com ajustes

A partir da primeira simulação constatou-se a necessidade de fazer alguns ajustes para aprimorar os resultados da simulação do setor Petituba, visando adequar os parâmetros para condições mais próximas da realidade. A partir daí, optou-se por trabalhar a simulação dinâmica no *software* EPANET. Assim, adotou-se um perfil de consumo, pois as economias

residenciais (praticamente a totalidade) não consomem água a uma vazão constante, mas obedecendo a certo padrão em que há consumo maior em determinados horários, como próximo ao meio dia (preparo do almoço) e início da noite (banho).

Este perfil de consumo foi fornecido pelo corpo técnico da CORSAN, adotando um padrão similar ao da vazão do macromedidor do Petituba. Sendo, portanto, um padrão adequado e mais próximo do real.

Considerou-se também, nesta nova rodada de simulação, uma vazão média diferente para o setor. Sabendo-se que a vazão média associada ao consumo micromedido (medido nos hidrômetros residenciais) para este setor é de $5,8 \times 10^{-1}$ l/s, conforme cálculo resultante da extração e tratamento dos dados do relatório de consumo mensal para os 12 últimos meses do setor, foram aplicados fatores para compensação do erro de submedição e das perdas reais.

Ou seja, primeiramente foi estimado o efeito da parcela de vazão desconhecida associada ao erro de submedição dos hidrômetros, visando adequar o modelo para não sofrer tal influência de maneira tão significativa, considerando-se um erro de submedição de 15% (parâmetro também informado pelo corpo técnico da CORSAN), o que implicou em uma vazão de referência de $6,8 \times 10^{-1}$ l/s. Também foram consideradas perdas reais de água no setor de 50%, o que resultou em uma vazão de referência final de $1,36 \times 10^0$ l/s. Finalmente, dividindo-se a vazão de referência pelo número total de ligações do setor (94 ligações ou economias) obteve-se o fator de consumo de $1,45 \times 10^{-2}$ l/s/lig, parâmetro que foi adotado nesta rodada ajustada de simulação no EPANET.

Também foi feita uma reparametrização da bomba, uma vez que é sabido que ela opera com inversor mantendo sua pressão de saída no limite de 52 mca. Inseriu-se uma regulação de velocidade no valor de 0.915 (método empírico), obtendo-se vazão e pressão próximas ao real para a bomba.

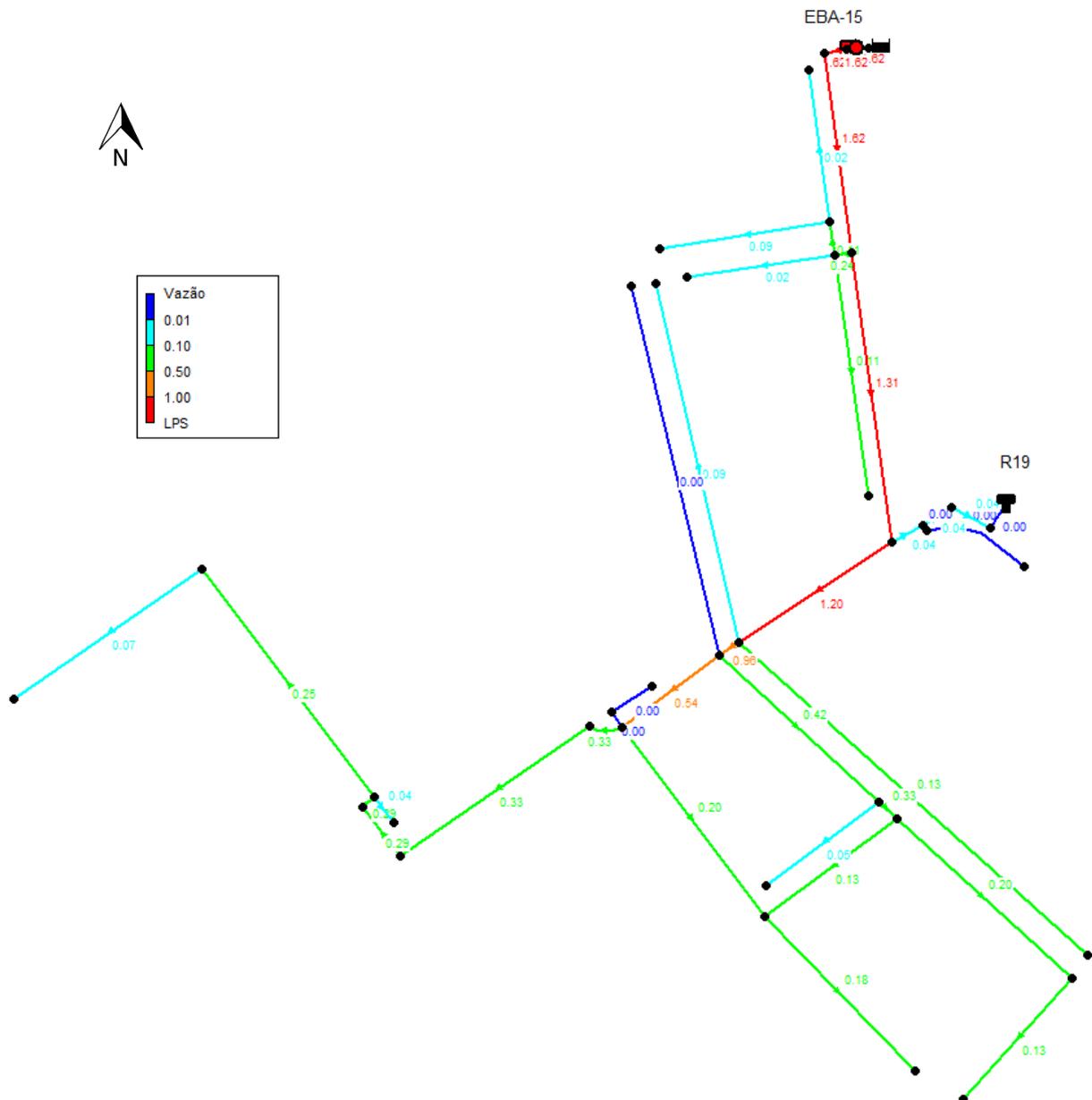
A partir destes ajustes e desta nova rodada de simulação, obtiveram-se resultados para as vazões, velocidades e pressões, a fim de compará-los com os dados fornecidos pela companhia.

4.2.2.1 Vazões e velocidades

A ligação entre os nós é feita pelos trechos e, a partir das informações inseridas no *software*, obtém-se os resultados de vazão e velocidade a cada 1h no decorrer de um dia, conforme simulação dinâmica.

Na Figura 22 observa-se o mapa da visão geral das vazões nos trechos da rede do Petitiba. O cenário de máxima vazão ocorreu as 19:00 horas. O que se mostra coerente, pois é um horário tradicionalmente de maior consumo, devido ser relativo ao horário de banho.

Figura 22 – Visão geral das vazões máximas nos trechos do Sistema Petitiba



Fonte: Autora, 2022.

Na legenda do mapa, percebe-se que em maioria, as menores vazões ocorrem nos trechos de final de rede, onde na maior parte das vezes existe um menor consumo. As vazões do sistema variam de 0,00 l/s a 1,62 l/s, de acordo com a vazão máxima diária. Sendo que, a maior parte do sistema com vazões menores que 0,30 l/s.

A vazão média resultante encontrada na simulação hidráulica no início do sistema é de 1,30 l/s, bem próximo ao valor macromedido e registrado nos sistemas da CORSAN, como é possível observar na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultado obtido no EPANET 2.0 e comparação da vazão média da bomba (modelo simulado x monitoramento da CORSAN)

EBA-15	
Horário	Vazão (l/s)
00:00	1,24
01:00	1,22
02:00	1,10
03:00	1,06
04:00	0,96
05:00	0,92
06:00	0,96
07:00	1,09
08:00	1,19
09:00	1,24
10:00	1,41
11:00	1,41
12:00	1,41
13:00	1,36
14:00	1,38
15:00	1,49
16:00	1,51
17:00	1,36
18:00	1,51
19:00	1,62
20:00	1,49
21:00	1,46
22:00	1,36
23:00	1,36
00:00	1,24
MÉDIA EPANET	1,30
MÉDIA CORSAN	1,18
Diferença	0,12 (~10%)

Fonte: Autora, 2022.

Essa diferença entre a vazão obtida por meio de simulação e a vazão monitorada (e registrada) pela CORSAN, pode estar relacionada aos seguintes fatores, entre outros:

- possibilidade de erro do macromedidor, uma vez que ainda não foi aferido;
- rotação média da bomba diferente do que foi simulado;

As velocidades, cujos valores resultaram nulos (0,00 m/s), se dão pelo fato de não haver circulação de água nos respectivos trechos, especialmente em decorrência de o reservatório ficar sempre cheio durante a simulação. As velocidades entre 0,01 m/s e 0,06 m/s ocorrem pelo fato de haver poucos consumidores nos trechos e também se encontrarem na extremidade da rede. As demais velocidades variam de 0,09 m/s até 0,37 m/s.

De acordo com a NBR 12218 (ABNT, 2017), a velocidade mínima recomendada é de 0,60 m/s e a máxima de 3,50 m/s, limites estes que se referem às demandas máximas diárias.

Velocidades inferiores às recomendadas na norma técnica prejudicam a qualidade da água tratada que é transportada ao consumidor.

De acordo com as especificações de diâmetros utilizados em SAA, temos um limite máximo de velocidade para cada bitola da rede e sua vazão associada, conforme se pode observar na Tabela 9.

Tabela 9 – Especificação de diâmetro utilizados em SAA

Diâmetro (mm)	Velocidade máxima (m/s)	Vazão (l/s)
50	0,5	1
75	0,5	2,2
100	0,6	4,7
150	0,8	14,1
200	0,9	28,3
250	1,1	53,9
300	1,2	84,8
350	1,3	125
400	1,4	176
450	1,5	238
500	1,6	314
550	1,7	403
600	1,8	509

Fonte: Adaptado pela autora com base na NBR 12218, ABNT (1994).

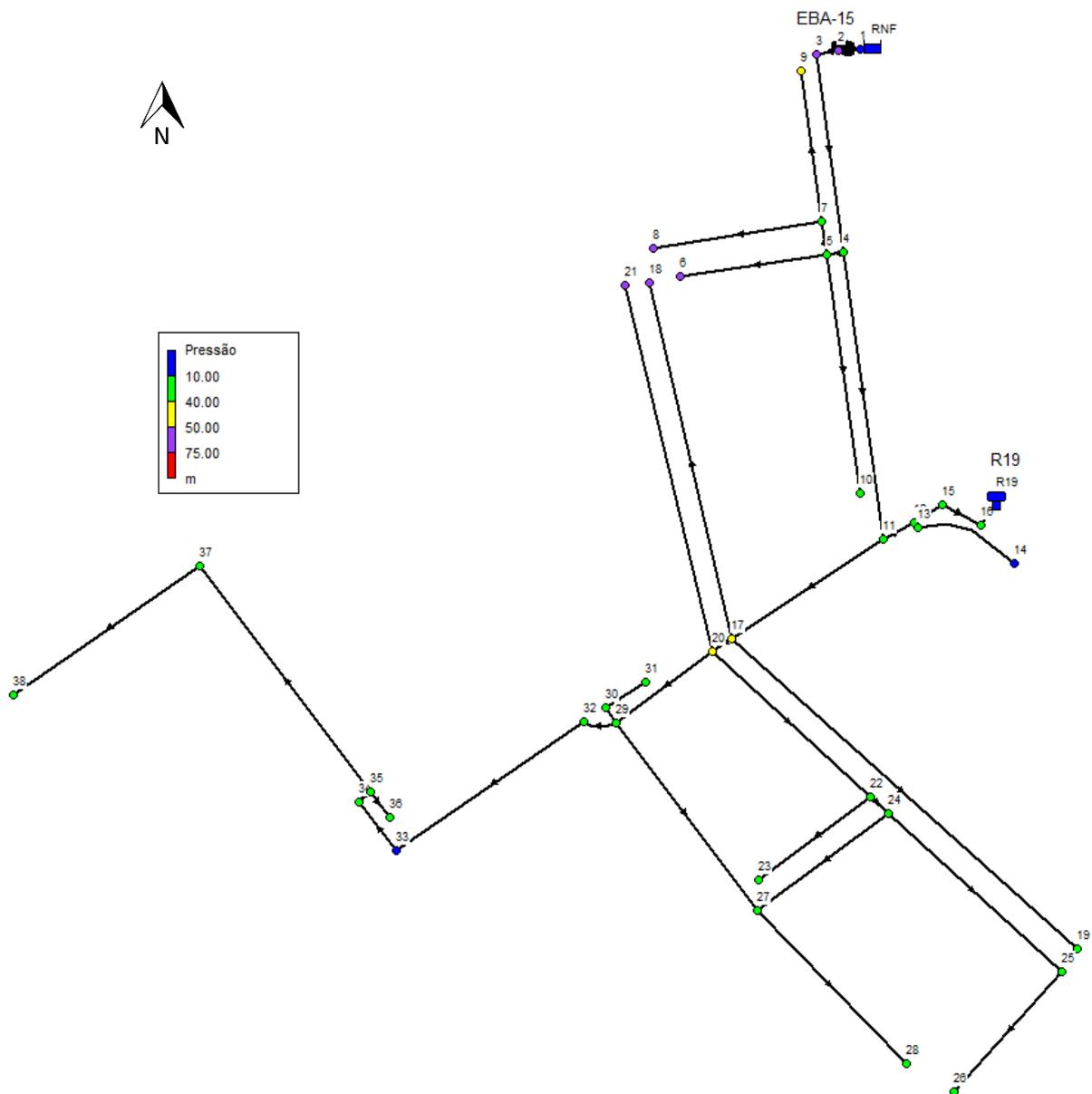
Neste caso, verificando-se os valores de velocidades e vazões máximas obtidas para cada trecho do sistema na simulação, e comparando-se às especificações normativas, definidas para cada diâmetro dos trechos existentes, caberia a necessidade de substituição de algumas tubulações de DN75 por DN50 para a velocidade ficar dentro dos limites adequados. esta proposição seria a primeira melhoria constatada.

No entanto, tal melhoria não é considerada razoável (reduzir a bitola de uma rede existente). Além disso, a norma NBR 12218 prevê tal exceção em situações onde haja justificativa técnica.

4.2.2.2 Pressões

Na Figura 24 está representado o mapa geral das pressões, obtidas através da simulação.

Figura 24 – Mapa de pressões simuladas: situação atual



Fonte: Autora, 2022.

Conforme se observa na Figura 23, nota-se a predominâncias de nós verdes, que indicam pressões adequadas, ou seja, superiores a 10 mca e inferiores a 40 mca. No entanto, em alguns pontos, a pressão ultrapassa os 50 mca estabelecidos pela norma técnica.

Valores muito elevados prejudicam o desempenho das tubulações e a qualidade do serviço fornecido aos consumidores, pois favorecem rupturas, ocasionando vazamentos, que são perdas físicas de água tratada.

Do contrário, quando a pressão é menor que a recomendada, ela pode ser insuficiente para atender a demanda do consumidor. Na simulação ajustada o sistema apresentou dois pontos de pressão menor do que a mínima de 10 mca estabelecida pela norma, mas como os valores estão bem próximos ao limite inferior, tecnicamente não haveria prejuízo no atendimento ao consumidor, mesmo considerando as variações de consumo ao longo do dia.

A CORSAN faz o monitoramento da pressão de saída do recalque através do CCO. Como já mencionado no decorrer desse trabalho, a partir dos relatórios fornecidos obteve-se a média de pressão, que foi utilizado como parâmetros de controle para a simulação no *software*. Na tabela 10 pode-se observar o comparativo entre o valor médio da CORSAN e a média do EPANET.

Tabela 10 – Resultado obtido no EPANET 2.0 e comparação da pressão média da bomba (modelo simulado x monitoramento da CORSAN)

EBA-15	
Horário	Pressão (mca)
00:00	51,24
01:00	51,26
02:00	51,34
03:00	51,37
04:00	51,44
05:00	51,46
06:00	51,44
07:00	51,35
08:00	51,28
09:00	51,24
10:00	51,13
11:00	51,13
12:00	51,13
13:00	51,17
14:00	51,15
15:00	51,08
16:00	51,06
17:00	51,17

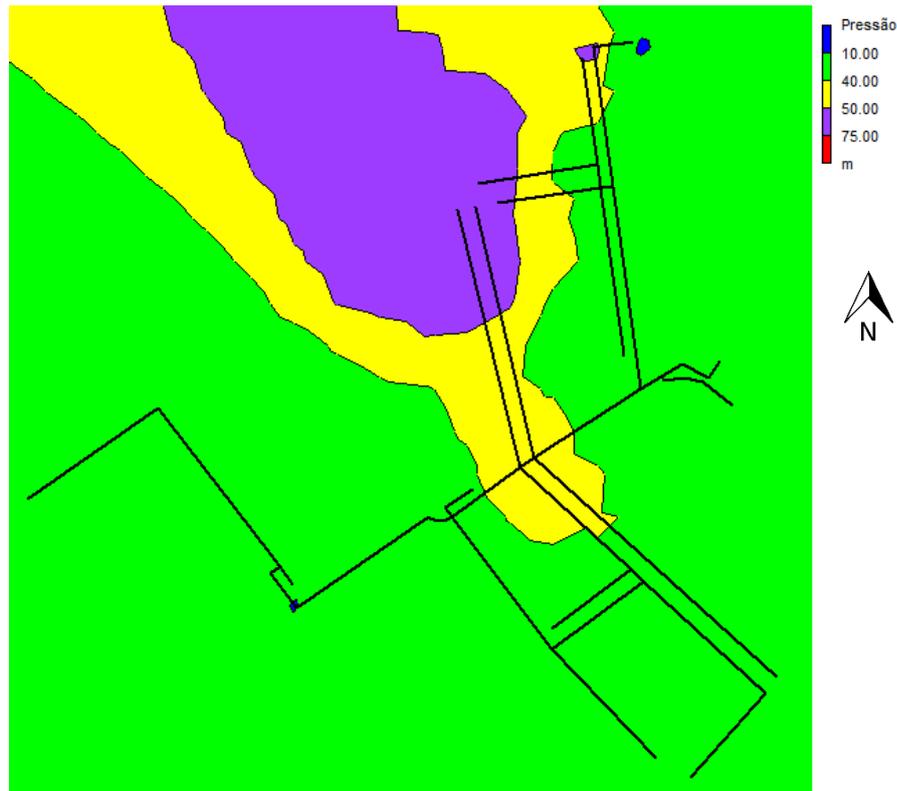
18:00	51,06
19:00	50,99
20:00	51,08
21:00	51,10
22:00	51,17
23:00	51,17
00:00	51,24
MÉDIA EPANET	51,21
MÉDIA CORSAN	51,23
Diferença	0,02

Fonte: Autora, 2022.

Como se pode verificar na Tabela 10, a pressão de saída da bomba na simulação é praticamente igual à média da CORSAN. Isso ocorreu por que, conforme já mencionado, a bomba simulada foi parametrizada com um fator de regulação para aproximar a simulação da situação real na qual o sistema utiliza um inversor para manter a pressão de saída próxima a 52 mca.

Voltando a analisar os resultados das pressões, de forma geral, temos que o sistema inicia com pressão de 51,21 mca na saída do recalque e segue com mesma pressão no nó seguinte, no entanto, nesses pontos não há consumo, o que não acarreta problemas. Contudo nos demais nós, em que há predominância das cores amarela e roxa fica evidente a sobrepresurização do sistema, indicando pontos com pressões entre 40 mca e 75 mca valores superiores às recomendações normativas da NBR (limite máximo: 50 mca) e das normativas da CORSAN (limite máximo: 40 mca). Por meio do gráfico de isolinhas (Figura 25) gerado no *software*, observam-se as regiões que ficaram com pressões acima de 40 mca (amarela e roxa).

Figura 25 – Gráfico de isolinhas das pressões simuladas: situação atual



Fonte: Autora, 2022.

Assim, a partir da análise detalhada do Sistema Petituba, torna-se necessária a correção das pressões elevadas, o que pode ser implementado por meio do uso de VRP e ações complementares de setorização.

4.2.3 Simulação Sistema Petituba com proposta de melhoria

Diante do contexto em que o Sistema Petituba apresenta pontos com pressões que excedem as recomendações, tendo como premissa a necessidade de adequação para atender aos requisitos da CORSAN, com pressões superiores a 10 mca e inferiores a 40 mca, projetou-se a segunda melhoria.

Sabe-se que existem diferentes alternativas para corrigir as elevadas pressões em um sistema de distribuição. Porém, muitas técnicas acabam sendo inviabilizadas em decorrência das dificuldades para sua implementação. Como exemplo, uma solução possível a considerar seria instalar um reservatório de "quebra de pressão" para regularizar as regiões sobrepresurizadas. Porém, seria necessário dispor de um imóvel, localizado em posição específica e operacionalmente estratégica para o alcance do objetivo. Por óbvio, tal solução é impraticável em uma área urbana.

Assim, a solução convencional é a aplicação de VRP que se mostra eficiente para o controle das pressões em situações como a que se apresentada no Sistema Petituba.

Não serão discorridos, neste trabalho, os aspectos relacionados ao dimensionamento de uma VRP, mas apenas admitiremos que o equipamento apropriado para este caso é uma VRP do tipo Proporcional, cuja bitola deve ser DN25 (25mm/1"). A válvula é conforme demonstra a Figura 26.

Figura 26 – VRP do tipo Proporcional



Fonte: Comercial Guigo, 2022.

A aplicação do dispositivo deve ser localizada em um ponto da rede de distribuição de tal forma que os trechos submetidos a altas pressões sejam abrangidos pela área de controle da VRP. Porém deve-se observar que os pontos mais altos contidos nesta área de controle não sejam prejudicados pela redução da pressão.

Também devem ser previstas ações de setorização, caso necessário, para que todos os trechos sejam contemplados com parâmetros operacionais adequados.

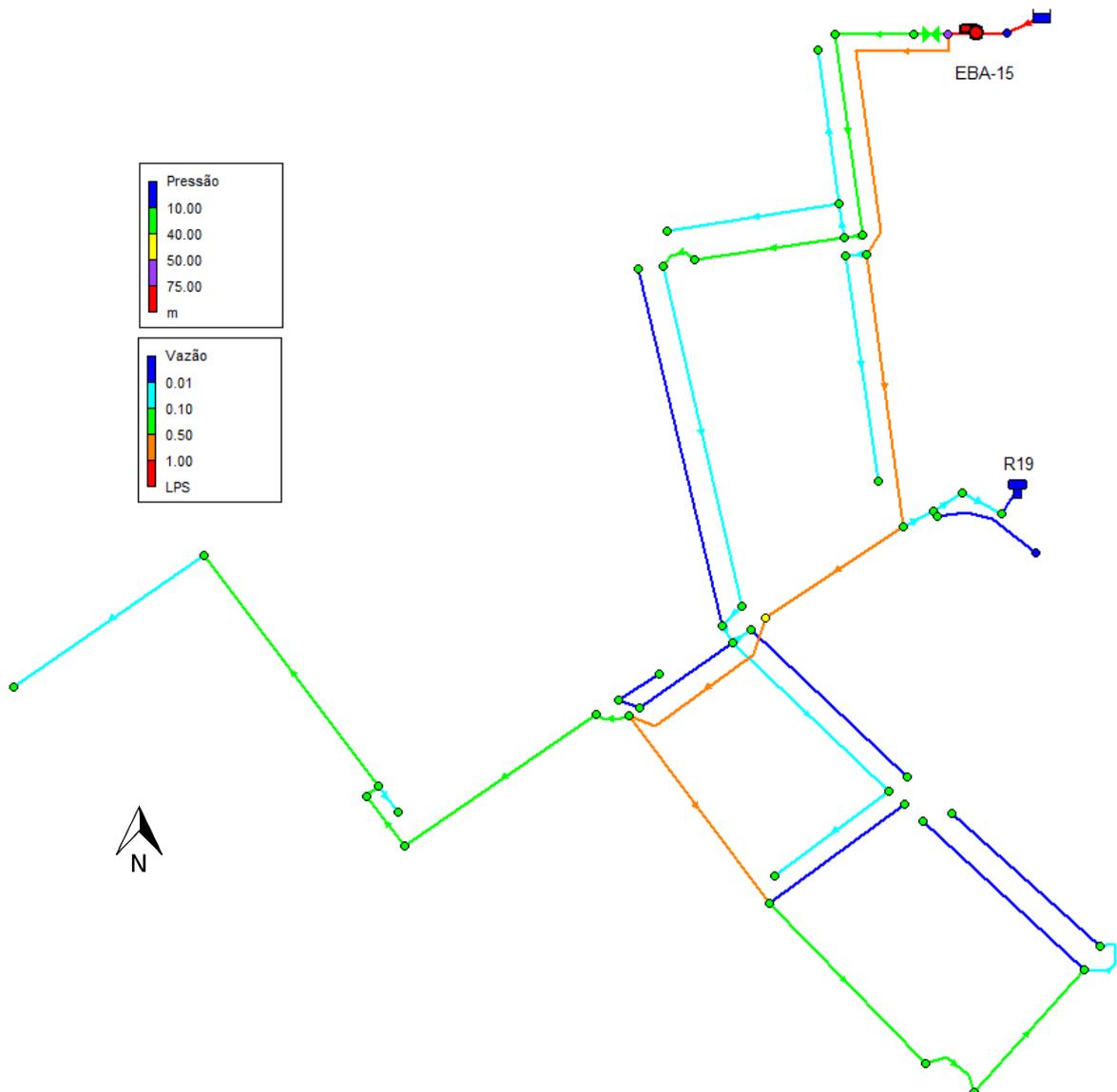
Em visto disso, em relação as melhorias, a ideia básica foi colocar uma VRP na saída do bombeamento para regular toda a pressão da rede. Porém, se deixasse apenas a VRP geral a água não chegaria no reservatório e nem em alguns locais mais altos.

Então foram adicionados trechos de redes para interligar as partes mais altas entre si, utilizando ao máximo as redes existentes e evitando interligar regiões baixas.

Também foi feita uma rede derivando a montante da VRP (com a pressão direta do bombeamento, não regulada) para alimentar este anel formado pelas regiões mais altas, inclusive o reservatório. Ou seja, o sistema foi setorizado em 02 zonas de pressão: Zona baixa (controlada pela VRP) e Zona Alta (anel de interligação entre as regiões altas) com pressão maior, direta do bombeamento.

Pode se observar na Figura 27, o mapa de pressões conforme a proposta de melhoria.

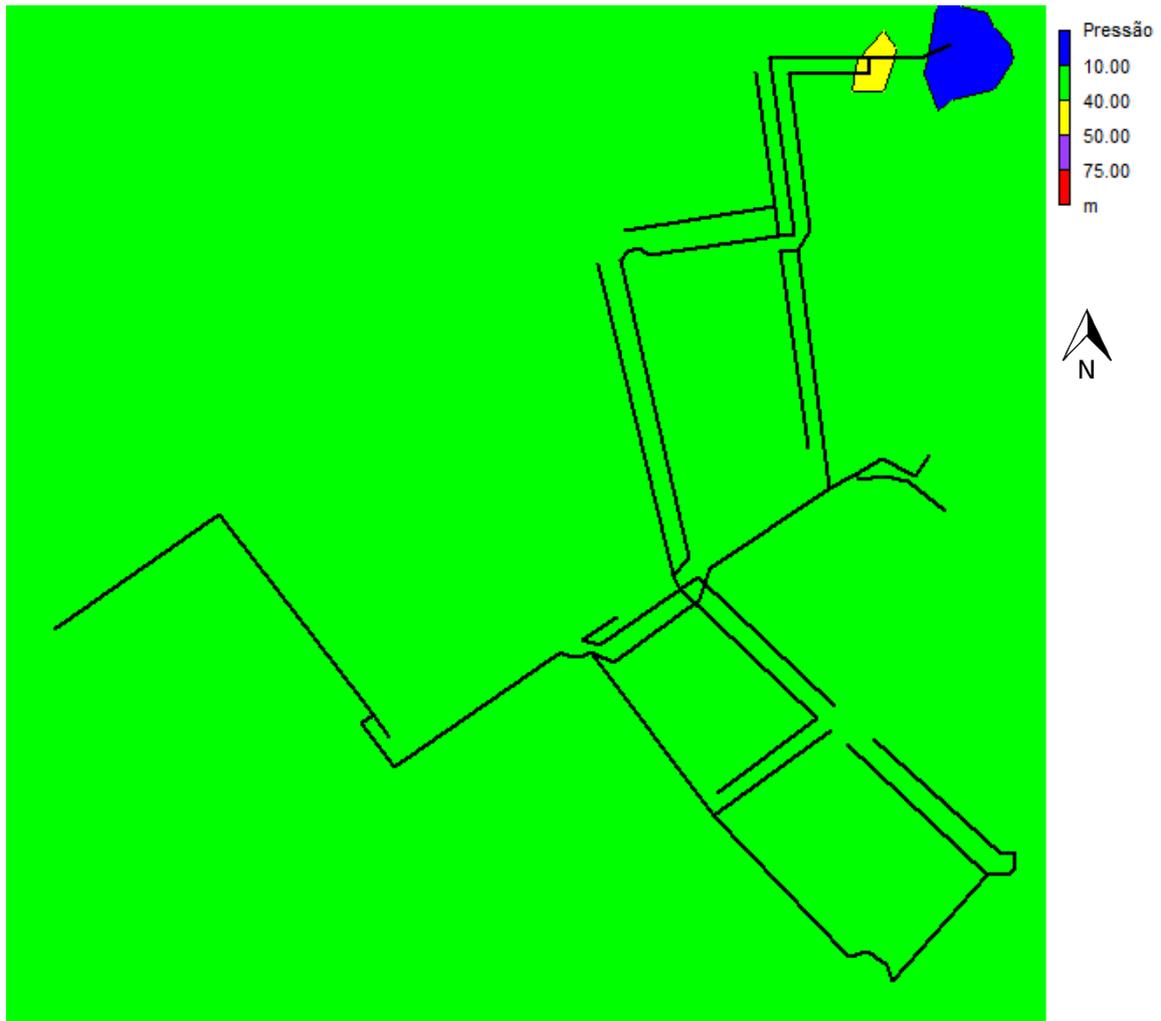
Figura 27 – Mapa de pressões simuladas: proposta de melhoria



Fonte: Autora, 2022.

Por meio do gráfico de isolinhas (Figura 28) gerado no *software*, observam-se melhor o sistema, que ficou com pressões dentro dos parâmetros operacionais adequados, acima de 10 mca e inferiores a 40 mca (verde).

Figura 28 – Gráfico de isolinhas das pressões simuladas: proposta de melhoria



Fonte: Autora, 2022.

A partir do relatório das pressões gerado nas simulações, foi possível calcular a média entre as pressões de todos os nós, tanto da situação atual, quanto da proposta de melhoria. Como se pode verificar na Tabela 11, a pressão média do sistema reduziu bastante, em aproximadamente 29%.

Tabela 11 – Comparação da pressão média do sistema (situação atual x proposta de melhoria)

Situação atual	Proposta de melhoria	Diferença
32,38 mca	25,06 mca	7,32 mca (~29%)

Fonte: Autora, 2022.

Ou seja, sabendo que existe uma relação entre a pressão e a vazão dos vazamentos, pode-se estimar a redução das perdas.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi realizado o estudo hidráulico da rede de distribuição de água do Sistema Petituba, um dos setores do sistema de abastecimento de água da cidade de Santa Cruz do Sul/RS, usando uma metodologia prática de gerações de redes no *software* EPANET 2.0, e propondo análises para o modelo de rede atual a fim de identificar seus problemas e propor melhorias, visando atender especificações hidráulicas segundo a norma, assim como, suprir toda a demanda necessária de forma eficiente.

A partir do estudo do Sistema Petituba, constatou-se a relevância de uma rede de distribuição bem planejada, para garantir o adequado funcionamento do sistema, dado que após consolidado fica mais difícil realizar adequações. Um dos maiores desafios está relacionado à topografia do terreno, pois para atingir os pontos mais elevados necessitam-se maiores pressões, contudo, nas regiões mais baixas esse valor acaba sendo excessivo, causando problemas operacionais. A região estudada apresenta uma diferença de nível de 35,5 metros, o que resulta, como consequência, em uma grande variação das pressões dos nós simulados e na vazão dos trechos. Esses desequilíbrios geram dificuldades para que o sistema abasteça a todos os consumidores adequadamente, visto que a redução das pressões almejada e que promove a redução das perdas, no caso dos pontos mais elevados, muitas vezes, pode ser insuficiente para atender a demanda de consumo.

No que se refere à simulação inicial, para se alcançar resultados coerentes com a real situação do sistema, foi necessário fazer alguns ajustes de contorno e assim obter resultados de pressão de acordo com o disponibilizado pela concessionária. Assim pode-se aprender que a criatividade também é um componente importante no processo de simulação, pois a modelagem pode ser desenvolvida de diversas maneiras a fim de obter os resultados esperados.

Enfim, após analisar o contexto da atual situação operacional do Sistema Petituba, desenvolveram-se proposições de melhoria, o que envolveu aplicação de Válvula Reguladora de Pressão e ações de setorização.

Para trabalhos futuros, oportuniza-se que novas simulações sejam feitas, inserindo perdas no sistema e verificando os efeitos das melhorias na redução de vazão prevista.

Este trabalho foi valoroso e gratificante, que contribuirá muito para minha formação profissional, em termos de conhecimentos técnicos e práticos relacionados ao saneamento. É uma área no qual me identifico e necessita cada vez mais de pessoas qualificadas, que se engajem com as causas.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). **Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água: posicionamento e contribuições técnicas da ABES**. 2015.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de Água: tecnologias de controle**. João Pessoa: Ufpb, 2013. 220 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgotos Gestão Técnica de Água: ano de referência 2020**. Brasília: SNS/MDR, 2022. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **DO SNIS ao SINIS Informações para planejar o Abastecimento de Água: Diagnóstico SNIS-AE 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/cadernos/2019/DO_SNIS_AO_SINISA_AGUA_SNIS_2019.pdf. Acesso em: 04 jun. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água**. 2. ed. Brasília: Funasa, 2014. 172 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 5. Ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.

_____. **SNIS - Série Histórica**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília. 2020. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 02 jul. 2022.

COM+ÁGUA.2. **Caderno Temático 2: Perdas Reais**. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/interaguas/commaisagua/at2-perdas_reais.pdf. Acesso em: 16 jun. 2022.

COMERCIAL GUIGO. **Válvula Redutora de Pressão**. Disponível em: <https://www.comercialguigo.com.br/produto/683/V%C3%A1lvula+reduzora+de+press%C3%A3o+com+rosca+modelo+42H>

EMBASA *et al.* **Perdas Aparentes: Ações de assistência técnica em redução e controle de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica**. Ministério das Cidades, 2018.

ESCOLA DA VIDA. **CCB - Curva Característica da Bomba**. Disponível em: <http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/aulasfei/ccb.htm>. Acesso em: 12 dez. 2022.

GERMANO, Carlos. **Bombas centrífugas: Curva característica x Funcionamento**. LinkedIn, 2021. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/bombas-centr%C3%ADfugas-curva-caracter%C3%ADstica-x-carlos-germano>. Acesso em: 12 dez. 2022.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em: 02 jul. 2022.

GOVERNO DO BRASIL. **A ANA e o Saneamento**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/a-ana-e-o-saneamento>. Acesso em: 16 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Cidades e Estados. Santa Cruz do Sul código: 4316808. Disponível em: Santa Cruz do Sul (RS) | Cidades e Estados | IBGE. Acesso em: 17 jun. 2022.

IWA – International Water Association. Disponível em: <https://iwa-network.org/>. Acesso em: 22 mai. 2022.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Ed. Guanabara Dois, 1980.

TRATA BRASIL (org.). **Após 12 Anos, Regulação Do Saneamento Básico no Brasil passa por transformações com o Novo Marco Legal**. Disponível em: [Release_OFICIAL_do_estudo_de_Regulação_-_ITB_e_KPMG.pdf](#) (tratabrasil.org.br). Acesso em: 22 mai. 2022.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola da Universidade de São Paulo, 2014. 643 p.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2010. 21-417 p.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2010. 441-871 p.

HYDROBRASIL SANEAMENTOS. **Diagnóstico Do Sistema De Abastecimento De Água E Esgoto**. Contrato N° 222/17 – Degec/Sulic. Cidade De Santa Cruz Do Sul. 2018.

LABORATÓRIO DE CALOR E FLUIDOS II. **Obtenção da curva característica de uma bomba centrífuga**. Disponível em: http://www.fem.unicamp.br/~franklin/EM886/Exp6_bomba_centrif.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

LAMBERT, A. et al. *A review of performance indicators for real losses from water supply systems*. AQUA/IWA, 2000.

LENHS. **EPANET**. Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento - LENHS/UFPB. 2020.

ROSSMAN, Lewis. A. **EPANET 2 Users Manual**. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000. Tradução e Adaptação pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento Universidade Federal da Paraíba, UFPB, BRASIL, 2009.

SANTA CRUZ DO SUL, Prefeitura Municipal. **Sistema de abastecimento de água: Etapa III – Etapa Final do Plano Municipal de Saneamento Básico de Santa Cruz do Sul**. Santa Cruz do Sul: UNISC, 2018.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**. In: TSUTIYA, MILTON T. ET al. Abastecimento de Água. 3a ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 457-525 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Informações dos nós

Nó	Cota (m)	Consumo base (Economias)
1	83,00	0
2	83,00	0
3	83,00	0
4	101,00	4
5	98,00	0
6	84,00	1
7	96,00	0
8	80,00	5
9	85,00	1
10	113,00	6
11	109,00	4
12	115,00	0
13	115,00	0
14	124,00	0
15	118,00	0
16	121,00	2
17	86,00	1
18	81,00	5
19	104,00	7
20	88,00	0
21	79,00	0
22	95,00	2
23	101,00	3
24	95,00	0
25	105,00	4
26	111,00	7
27	104,00	8
28	106,00	10
29	100,00	1
30	99,00	0
31	96,00	0
32	99,00	0
33	125,00	2
34	114,00	0
35	109,00	0
36	113,00	2
37	104,00	10
38	112,00	4

APÊNDICE B – Informações dos trechos

Trecho	Comprimento (m)	Material	D interno (mm)	Fator C
Tr.01	6,00	PVC	75	140
Tr.02	11,73	PVC	75	140
Tr.03	107,50	PVC	75	140
Tr.04	8,83	PVC	50	140
Tr.05	79,40	PVC	50	140
Tr.06	18,07	PVC	50	140
Tr.07	91,45	PVC	50	140
Tr.08	81,87	PVC	50	140
Tr.09	129,50	PVC	50	140
Tr.10	155,70	PVC	75	140
Tr.11	18,90	PVC	75	140
Tr.12	3,41	PVC	75	140
Tr.13	55,80	PVC	50	140
Tr.14	17,78	PVC	75	140
Tr.15	23,25	PVC	75	140
Tr.16	14,83	PVC	75	140
Tr.17	97,31	PVC	75	140
Tr.18	199,85	PVC	50	140
Tr.19	248,50	PVC	50	140
Tr.20	12,66	PVC	50	140
Tr.21	203,50	PVC	50	140
Tr.22	114,49	PVC	50	140
Tr.23	74,91	PVC	50	140
Tr.24	13,05	PVC	50	140
Tr.25	126,11	PVC	50	140
Tr.26	86,35	PVC	50	140
Tr.27	87,32	PVC	50	140
Tr.28	114,72	PVC	50	140
Tr.29	126,30	PVC	50	140
Tr.30	64,34	PVC	50	140
Tr.31	9,55	PVC	50	140
Tr.32	25,38	PVC	50	140
Tr.33	15,90	PVC	50	140
Tr.34	121,80	PVC	50	140
Tr.35	32,96	PVC	50	140
Tr.36	8,32	PVC	50	140
Tr.37	17,04	PVC	50	140
Tr.38	152,26	PVC	50	140
Tr.39	121,20	PVC	50	140

ANEXO B – Curva característica da bomba

