



**UNISUL**

**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**CARLOS ROBERTO DE OLIVEIRA JUNIOR**

**ESTUDO DE MELHORIA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO A  
MODELAGEM HIDRÁULICA**

Palhoça

2021

**CARLOS ROBERTO DE OLIVEIRA JUNIOR**

**ESTUDO DE MELHORIA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO A  
MODELAGEM HIDRÁULICA**

Projeto de Pesquisa apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para aprovação na Unidade de Aprendizagem Projetos Ambientais.

Orientador: Prof. Carlos Roberto Bavaresco, Ms

Palhoça

2021

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes de Ligação de água. ....	19
Figura 2 – Janela de alternativas.....	21
Figura 3 - Modelo de um Sistema de Abastecimento de Água. ....	22
Figura 4 - Tipos de vazamentos na rede de distribuição. ....	25
Figura 5 - Cruz de Lambert para redução das perdas reais. ....	26
Figura 6 - Tipos de perdas aparentes. ....	27
Figura 7 - Controle a perdas aparentes. ....	28
Figura 8 - Mapa de localização. ....	30
Figura 9 - Principais elementos WaterGEMS. ....	33
Figura 10 – Assistente de importação <i>ModelBuilder</i> .....	34
Figura 11 - Janela de propriedades. ....	35
Figura 12 – Janela <i>FlexTable</i> .....	36
Figura 13 - Cadastro fora de referência .....	38
Figura 14 - Sistema de Abastecimento de Água com limites de bairros. ....	39
Figura 15 - Consumos georreferenciados. ....	40
Figura 16 - Localização das bombas. ....	41
Figura 17 - Comparação entre crescimento populacional pelo IBGE e curva polinomial. ....	44
Figura 18 - Curva de crescimento populacional. ....	45
Figura 19 - Localização dos bairros pesquisados. ....	48
Figura 20 – Área de abrangência bomba 8 com erros no cadastro. ....	50
Figura 21 – Área de abrangência bomba 8 após validação de cadastro. ....	51
Figura 22 - Modelo hidráulico cenário 2021 com demanda média. ....	52
Figura 23 - Modelo hidráulico cenário 2021 com a demanda máxima. ....	54
Figura 24 - Modelo hidráulico cenário 2022 com a vazão média. ....	57
Figura 25 – Modelo hidráulico cenário 2022 com a demanda máxima. ....	59
Figura 26 - Reservatório Trindade.....	63
Figura 27 - Extensão de rede reservatório Trindade.....	64
Figura 28 – Obra futura reservatório 4. ....	65
Figura 29 - Novo setor após finalização das obras. ....	66
Figura 30 - Área de abrangência futuro reservatório.....	67
Figura 31 - Perda de carga na tubulação. ....	67
Figura 32 - Ponto de operação da bomba. ....	68
Figura 33 - Bomba escolhida.....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SNIS – Sistema Nacional de informações sobre o Saneamento

PMSS – Programa de Modernização do setor Saneamento

SNS – Secretaria Nacional de Saúde

MDR. – Ministério do Desenvolvimento Regional

ONU – Organização Nacional das

IWA – *International Water Association*

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Índice de atendimento de água e esgoto no Brasil. ....	14
Quadro 2 - Extensão de rede por bairro.....	30
Quadro 3 - Dados de população atendida SNIS. ....	31
Quadro 4 - Dados históricos de perdas SNIS. ....	32
Quadro 5 - Endereço e informações das bombas .....	42
Quadro 6 - População histórica Schroeder. ....	43
Quadro 7 – Vazões do modelo hidráulico. ....	45
Quadro 8 – Histórico do volume de perdas. ....	46
Quadro 9 - Perdas aplicadas no modelo hidráulico. ....	49
Quadro 10 - Índice de perdas na distribuição nas regiões brasileiras.....	49
Quadro 11 - Nós por intervalo de pressão cenário 2021 com demanda máxima. ....	54
Quadro 12 - Pressão média por bairro cenário 2021. ....	55
Quadro 13 - Pressão média por bairro cenário 2022. ....	60
Quadro 14 - Diferença de pressão entre os cenários 2021 e 2022.....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Índice de perdas na distribuição.....	47
Gráfico 2 - Pressão média por bairro cenário 2021.....	56
Gráfico 3 - Comparação cenário 2021 e 2022 com a demanda média.....	58
Gráfico 4 - Pressão média por bairro cenário 2022.....	60
Gráfico 5 - Comparação cenário 2021 e 2022 com a demanda máxima.....	61

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
2.1	OBJETIVOS GERAIS .....	10
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>11</b>
3.1	PROBLEMA DA PESQUISA.....	11
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
4.1	RECURSO NATURAL ÁGUA .....	12
4.3	FONTES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	14
<b>4.4.2</b>	<b>Manancial.....</b>	<b>16</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Reservatório.....</b>	<b>16</b>
<b>4.4.6</b>	<b>Vazão .....</b>	<b>18</b>
<b>4.4.7</b>	<b>Traçado de rede.....</b>	<b>18</b>
4.5	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA .....	19
4.6	MODELOS HIDRÁULICOS .....	19
<b>4.6.1</b>	<b>WaterGEMS .....</b>	<b>20</b>
4.6.1.1	Criação de cenários e alternativas .....	20
4.6.1.2	Opções de Cálculo.....	21
4.7	PRESSÕES NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	22
4.8	SETORIZAÇÃO.....	23
4.10	PERDAS NO SISTEMA DE ABASTEDIMENTO DE ÁGUA .....	24
<b>4.10.1</b>	<b>Perdas reais.....</b>	<b>24</b>
<b>4.10.2</b>	<b>Perdas aparentes .....</b>	<b>26</b>
4.11	CADASTRO .....	28
4.12	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	28
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>29</b>
5.1	ESCOLHA DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	29
5.2	LOCAL DE ESTUDO .....	29
5.3	CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO COM WATERGEMS .....	32
5.4	ENTRADA DE INFORMAÇÕES .....	34
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>37</b>
6.1	LEVANTAMENTO DE DADOS CADASTRAIS .....	37

6.2	TRAÇADO DE REDE .....	38
6.3	CURVA DE NÍVEL .....	39
6.4	CADASTRO GEORREFERENCIADO.....	40
6.6	ESTIMATIVA DE DEMANDA .....	43
6.7	META PARA REDUÇÃO DE PERDAS 2022.....	46
6.9	MODELAGEM DE OBRAS PARA 2022 .....	62
6.10	DIMENSIONAMENTO DE BOMBA PARA RESERVATÓRIO .....	67
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>70</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os direitos ao acesso adequado à água de boa qualidade vêm sendo discutido através das décadas ao redor do mundo inteiro. Este assunto é de extrema importância para a humanidade, uma vez que está diretamente relacionado a saúde física e mental da população. Em 2002 a Organização das Nações Unidas (ONU) apud Shammas e Wang (2013 p.n), em decorrência do não cumprimento dos Estados com seus deveres de promover água de qualidade aos seus povos, discorreu o seguinte texto em seu Comentário Geral Nº 15:

O direito humano à água dá a todos o direito à água suficiente, potável, aceitável, física e financeiramente acessível para uso pessoal e doméstico. Uma quantidade adequada de água potável é necessária para evitar a morte por desidratação, reduzir o risco de doenças relacionadas com a água e atender os requisitos de consumo, preparo de alimentos e higiene pessoal e doméstica.

Além disso, outra problemática em relação ao consumo da água é a sua crescente escassez em todo o mundo. De acordo com um relatório desenvolvido pela ONU “40% das pessoas em todo o mundo estão sendo afetadas pela escassez de água. Se o problema não for solucionado, cerca de 700 milhões de pessoas poderiam ser deslocadas até 2030 em busca de água” (ONU, 2018).

Um sistema de abastecimento de água que seja capaz de transportar água de qualidade e em quantidade é uma das prioridades das populações, devido a sua importância no desenvolvimento humano e qualidade de vida. Tendo em vista a importância do sistema de abastecimento de água, muitos investimentos vêm sendo aplicados nos últimos anos, a fim de entregar água com qualidade para o maior número de pessoas possível (TSUTIYA, 2006).

Devido ao avanço dos modelos matemáticos e algoritmos e do desenvolvimento de novas tecnologias para manejo de redes de distribuição de água, é cada vez mais possível realizar a modelagem, com o intuito de conhecer melhor o SAA, obtendo assim soluções melhores e mais rápidas, além de promover suporte para a reabilitação e operação das redes (SALVINO, 2015).

A modelagem hidráulica pode ser entendida como uma expressão algébrica que retrata um evento que ocorre na natureza, independente da nossa vontade de entendê-lo. Um modelo hidráulico de um SAA, aplica as leis de conservação de massa e conservação de energia nos elementos do sistema (MANZI, 2020).

Neste trabalho será realizado um estudo de caso, envolvendo a modelagem hidráulica do SAA de Schroeder, município localizado no norte do estado de Santa Catarina.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GERAIS

Realizar a modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água no município de Schroeder, através do *software* WaterGEMS.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Criar o modelo hidráulico do Sistema de Abastecimento de Água de Schroeder;
- Estudar o Sistema de Abastecimento de Água de Schroeder para identificar possíveis falhas;
- Estudar as variações de pressões no Sistema de Abastecimento de Água.

### 3 JUSTIFICATIVA

O estudo de modelagem pode contribuir na melhoria de um sistema de abastecimento de água, aprimorando a efetividade da rede de distribuição de água, diminuindo os índices de perdas de água, melhorando a eficiência energética e facilitando a operação do sistema, sendo capaz de obter respostas mais rápidas e eficazes para os problemas encontrados.

Sobre uma visão ambiental, as perdas de água também são um desperdício de matéria prima e energia, que são utilizados principalmente na etapa de tratamento da água. Caso o SAA seja operado corretamente, evita desperdícios de matéria prima e uso desnecessário de energia para o tratamento e distribuição da água.

#### 3.1 PROBLEMA DA PESQUISA

O presente estudo vai de encontro ao seguinte problema de pesquisa: será possível realizar a construção do modelo hidráulico a partir dos dados disponibilizados pela Águas de Schroeder? Já que diversas informações encontradas no cadastro técnico estão desatualizadas, o que dificulta o processo de criação do modelo.

Posteriormente a construção do modelo hidráulico, surge um segundo problema: será possível realizar um estudo hidráulico do SAA de Schroeder a partir dos resultados obtidos pelo WaterGEMS?

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 RECURSO NATURAL ÁGUA

Independentemente das origens dos seres vivos, a água é fonte de vida e essencial para a sobrevivência de qualquer espécie do planeta, desde a vida humana até a fauna e flora. Além disso, este recurso natural está diretamente associado aos aspectos do desenvolvimento humano, seja na agricultura ou na indústria e, até mesmo, à valores culturais (HELLER; PÁDUA, 2016).

Evidentemente, a disponibilidade da água no meio ambiente tem se mostrado insuficiente para a demanda da população mundial, uma vez que da quantidade total presente na superfície do planeta, apenas uma pequena parcela é composta por água doce. Além de que, essa problemática tende a crescer cada vez mais, já que na sociedade moderna a procura pela qualidade de vida resulta, necessariamente, em um aumento do consumo de água (HELLER; PÁDUA, 2016; PASINI; DAMKER, 2020).

Como já citado, a água não só é de extrema importância para a vida humana como também é fundamental para o desenvolvimento das atividades econômica. Desta forma, a partir das últimas décadas do século XX os interesses em criar um adequado sistema de abastecimento começaram a crescer, com intuito de levar água com qualidade ao maior número de pessoas possíveis. Água de boa qualidade resulta na diminuição da circulação de doenças, tornando-se também uma questão de saúde pública. Segundo a Organização Mundial de Saúde (2014), a cada um real investido em saneamento 4 reais, que seriam investidos em saúde corretiva, são economizados (PASINI; DAMKER, 2020; TSUTIYA, 2006).

Entretanto, até hoje ainda há deficiências significativas no sistema de abastecimento de água, tanto estruturais quanto econômicas. Em países em desenvolvimento, como o Brasil, o maior problema estrutural é a degradação dos trajetos de rede mais antigos, nos quais frequentemente surgem rompimentos e vazamentos nas tubulações. Já economicamente, é um país traçado por desigualdades socioeconômicas, onde uma parcela populacional não tem acesso adequado ao consumo de água com boa qualidade (PASINI; DAMKER, 2020; TSUTIYA, 2006).

De acordo com SNIS (2016) apud Pasini e Damker (2020 p.n), “o país está longe de possuir uma saúde pública adequada o que causa a deterioração dos recursos ambientais, principalmente os hídricos, o que se torna o principal fator da falta de potabilidade da água”.

A poluição é outro fator degradante do sistema de abastecimento, enquanto algumas águas superficiais ou subterrâneas são naturalmente satisfatórias, outras apresentam componentes nocivos que precisam ser tratados de maneira adequada. As impurezas adquiridas pela água estão, em sua maioria, associadas às atividades humanas, principalmente pelo modo como a água consumida pela população retorna aos lençóis freáticos, rios e nascentes (SHAMMAS; WANG, 2013).

Outras formas de contaminação são, através da corrosão de tubulações metálicas e, também, por meio do refluxo nos sistemas de canalização. Desta forma, necessita-se que o tratamento da água para o abastecimento seja cada vez mais eficiente, o que demanda técnicas mais avançadas acarretando um maior custo operacional (SHAMMAS; WANG, 2013).

#### 4.2 PARAMETROS DO SANEAMENTO

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) foi criado em 1996 e desenvolvido pelo governo federal por intermédio do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS), fazendo parte da Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR).

Com abrangência nacional, o SNIS é o maior e mais importante sistema de informações do setor de saneamento no Brasil, contendo dados sobre informações e indicadores de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade da prestação de serviços de saneamento básico referentes aos serviços distribuição de água, coleta de esgoto, manejo de resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo de águas pluviais. (SNIS,2020).

Os dados recebidos pelo SNIS são enviados pelos municípios e prestadores de serviços vinculados ao saneamento

O SNIS recebe anualmente dados enviados pelos municípios e prestadores de serviços de saneamento, os quais são estruturados e disponibilizados ao público por meio dos Diagnósticos e da aplicação web SNIS Série Histórica. (SNIS, 2019)

Conforme o Quadro 1, o Diagnóstico do SNIS para o ano de 2019 mostra que o Brasil possui um atendimento para abastecimento de água de 83,7% da população total. Já nos serviços de coleta de esgotos, do total da população brasileira, 54,1% contêm o serviço de coleta de esgotos e 49,1% tratamento de esgotos, demonstrando deficiências na prestação dos serviços.

Quadro 1 - Índice de atendimento de água e esgoto no Brasil.

Macrorregião	Índice de atendimento (%)				
	Água		Coleta de esgotos		Tratamento de esgoto gerado
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	57,5	70,4	12,3	15,8	22
Nordeste	73,9	88,2	28,3	36,7	33,7
Sudeste	91,1	95,9	79,5	83,7	55,5
Sul	90,5	98,7	46,3	53,1	47
Centro-Oeste	89,7	97,6	57,7	63,6	56,8
Brasil	83,7	92,9	54,1	61,9	49,1

Fonte: Adaptado SNIS, 2020.

#### 4.3 FONTES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As fontes de água potável para o abastecimento de água podem ser distribuídas em: precipitação da chuva, águas subterrâneas e águas superficiais. A água precipitada da chuva pode ser armazenada tanto em cisternas, que servem para suprir necessidades básica, como limpeza de calçadas e descarga de dejetos, quanto armazenadas em reservatórios, destinada ao abastecimento comunitário (SHAMMAS; WANG, 2013).

As águas subterrâneas são provindas de nascentes naturais, poços e geleira e podem ser utilizadas para o abastecimento, porém nem sempre conseguem ter vazão o suficiente para atender as demandas necessárias para suprir o abastecimento comunitário ou industrial. Desse modo, das fontes de águas as mais utilizadas são as superficiais, provenientes de cursos d'água, lagos ou até mesmo água salobra vinda dos oceanos, devido a facilidade de acesso a elas. Contudo, para a captação da água salobra é necessário a realização da dessalinização, através de métodos caros quando comparados aos métodos de captação das demais fontes superficiais, dessa forma, devem ser estudadas a sua viabilidade econômica antes da sua aplicação (SHAMMAS, WANG, 2013).

O abastecimento de água poderá ser realizado através de mais de uma fonte de água, variando conforme as necessidades do consumo. A distribuição é feita de forma ampla, abrangendo o uso doméstico da água, o qual possui prioridade, abastecendo as residências da população; o uso comercial, consumo de água em estabelecimentos urbanos; uso público, no qual a água chega até praças, jardins e prédios públicos, além do uso industrial, abastecendo pequenas e grandes indústrias. Dessa maneira, a qualidade da água capitada também irá variar,

podendo ser de alta qualidade para o consumo doméstico, por exemplo, e águas coletadas de cisternas para utilizar em praças e jardins (HELLER; PÁDUA, 2016).

#### 4.4 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

##### 4.4.1 Captação da água

As áreas de captação são responsáveis por drenar a água para uma determinada represa, esta drenagem pode ser realizada através de bacias hídricas, lagos, rios, poços perfurados e até mesmo da chuva. O local para captação irá variar de acordo com a demanda populacional e industrial, a fim de suprir adequadamente cada região (SHAMMAS; WANG, 2013).

##### 4.4.1.1 Captação de águas superficiais

As residências que ficam localizadas próximas a cursos de água superficiais podem realizar o seu abastecimento de água através da coleta contínua de água, desde que o curso seja capaz de atender as necessidades de abastecimento durante o todo o ano. A maioria dos cursos de água superficiais se encontram poluídos, devido ao descarte incorreto de resíduos despejados pela própria população ou indústrias. Portanto, para captação de água superficial é indispensável o tratamento prévio da água para o consumo humano (SHAMMAS; WANG, 2013).

O maior volume de água coletada para abastecimento humano é provindo das águas superficiais, devido a sua maior abundância. A quantidade de água que é coletada varia com o tamanho da área de captação, vazão a montante do rio ou lago e a diferença da quantidade de água que precipita com a parcela de água que sofre evapotranspiração ou é infiltrada no solo (SHAMMAS; WANG, 2013).

Uma das principais desvantagens em relação ao uso de águas superficiais para abastecimento humano é que o sistema de abastecimento superficial está sujeito a alterações nas condições climáticas, como variação de temperatura e vento. As águas superficiais também podem ser afetadas diretamente por eventos catastróficos, como terremotos e tsunamis, afetando a quantidade disponível de água para abastecimento (HELLER; PÁDUA, 2016).

Geralmente as águas superficiais não se encontram próxima a sua região de abastecimento, portanto é necessário utilizar tubos e conexões para captar a água, transportar

para a estação de tratamento e então até as residências para consumo (HELLER; PÁDUA, 2016).

Uma das vantagens no uso de águas superficiais para abastecimento é a possibilidade do uso da gravidade para abastecimento através dos reservatórios, sem a necessidade da utilização de bombas hidráulicas, diferente de como é feito no abastecimento por águas subterrâneas, onde é necessário o uso de bombas para captação (HELLER; PÁDUA, 2016).

#### **4.4.2 Manancial**

Ao realizar a escolha do manancial para a locação da captação de água deve-se levar em consideração alguns aspectos, como a realização de estudos com intuito de obter informações sobre a demanda regional, disponibilidade hídrica, características física, químicas e biológicas da água entre outras; analisar as condições gerais do manancial, a fim de escolher um local adequado que garanta a vazão necessária para o sistema de captação, verificar se atende as normas para o abastecimento, incluindo velocidade mínima de água e pressão (HELLER; PÁDUA, 2016).

#### **4.4.3 Reservatório**

Outro componente do sistema de abastecimento de água são os reservatórios, responsáveis por normalizar as variações da vazão da rede, armazenar água para emergências e atender as variações de consumo, que podem ocorrer devido a época do ano, ao clima e aos hábitos da população, portanto de suma importância em uma rede de abastecimento (MONTENEGRO, 2009).

Os reservatórios utilizados na rede de abastecimento podem trabalhar apenas com a gravidade para realizar o abastecimento de água, ou utilizam bombas d'água para auxiliar no transporte. O conjunto de bombas deve ser monitorado para atender a demanda de abastecimento conforme a sua variação. A pressão deve ser monitorada principalmente para que não haja grande pressão nos momentos de baixo consumo, pois pode gerar muitos vazamentos na rede de abastecimento. A utilização de sistemas automáticos para o controle de pressão está cada vez mais comum nas redes de abastecimento de água, já que tem uma fácil implantação e demonstra resultados positivos na redução de perdas de água e consumo de energia elétrica (MONTENEGRO, 2009, apud BEZERRA 2009).

#### **4.4.4 Estação Elevatória de Água**

As estações elevatórias são essenciais para operação de um sistema de abastecimento de água, sendo utilizadas desde a captação até a distribuição da água. (TSUTIYA, 2006)

O uso de estações elevatórias permite solucionar diversos problemas em um sistema de abastecimento de água, porém o seu uso intenso pode gerar em contas de energia elétrica elevadas, tornando-se um dos principais custos na operação dos sistemas de abastecimento de água. (TSUTIYA).

#### **4.4.5 Rede de abastecimento de água**

A rede de abastecimento de água (RAA) existe desde a antiguidade, onde a água era transportada por aquedutos. Com o avanço tecnológico o abastecimento de água foi aprimorado para o atual, onde a água é tratada e encaminhada para a população através do sistema de abastecimento de água pressurizados. Este sistema é constituído por um conjunto de tubulações e peças hidráulicas, que possuem a finalidade de conduzir a água até os postos de consumo, garantindo assistência aos consumidores através de uma quantidade contínua e pressões adequadas (GABRIEL, 2018).

Como já detalhado no item 2.4, o sistema de abastecimento costuma ser composto por um manancial, áreas de captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento, reservatório e rede de distribuição de água (GABRIEL, 2018).

A RAA é um componente de grande importância, pois é responsável por garantir que a água tratada chegue aos consumidores em período contínuo, sem perda de qualidade, com quantidade e pressão, estabelecidas por normas. Além de ser caracterizada como um componente de maior custo, chegando a mais de 50% do valor de implantação do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) (HELLER; PÁDUA, 2016).

Segundo a norma ABNT, NBR 12.218:2017, que estabelece os requisitos para elaborar um projeto de rede de abastecimento de água para abastecimento público estabelece algumas condições para elaboração do projeto. De acordo com a norma, a rede deve atender os limites de pressão dinâmica mínima de 100 KPa, pressão estática máxima de 400 KPa, velocidade mínima de 0,6 m/s e velocidade máxima de 3,5 m/s.

#### 4.4.6 Vazão

Um importante parâmetro para realizar o dimensionamento de uma rede de abastecimento é a vazão de distribuição, através deste parâmetro determina-se os diâmetros das tubulações. De acordo com Cavalcante (2019), a vazão irá variar diretamente proporcional a estimativa populacional, ao consumo doméstico/público/industrial, as perdas do sistema e às variações de demanda ao longo do dia e horário.

Segundo Tsutiya (2006) apud Cavalcante (2019), a vazão pode ser calculada através da equação abaixo:

$$Q = \frac{k1 \times k2 \times P \times q}{86.400}$$

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

k1 = coeficiente de maior consumo diário;

k2 = coeficiente de maior consumo horário;

P = população (hab);

q = consumo per capita (m<sup>3</sup>/hab.dia).

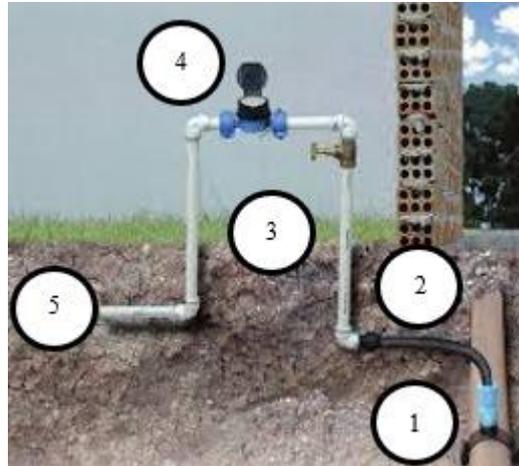
#### 4.4.7 Traçado de rede

A rede de abastecimento de água é composta por tubulações e peças hidráulicas, as quais conduzem a água tratada até o seu destino, com intuito de transportá-la com qualidade e com uma pressão adequada para o consumo. O traçado desta rede é dividido em dois tipos de condutos: os principais, que possuem maior diâmetro e são encarregados por abastecer a rede secundária, e os secundários, compostos por tubos menores e que transportam água diretamente aos consumidores (TSUTIYA, 2006 apud CAVALCANTE 2019).

Ao final do traçado da rede encontram-se componentes de ligação responsáveis pela entrega da água ao consumidor. Estes componentes, como ilustra a Figura 1, são respectivamente: o tubo principal (1), pertencente ao traçado da rede que se conecta ao ramal (2) através do colar de tomada, no qual é ligado a uma mangueira PEAD, por meio de um adaptador. Esta mangueira transporta a água até o cavalete (3), o qual serve de suporte para o hidrômetro (4), onde o consumo de água é mensurado. Por fim, ao passar pelo hidrômetro, a água chega à tubulação interna (5) do terreno do consumidor, passando a ser inteiramente

responsabilidade do mesmo a realização de manutenção e reparos, caso houver necessidade (SANEPAR, 2012).

Figura 1 - Componentes de Ligação de água.



Fonte: SANEPAR, 2012.

#### 4.5 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG), segundo Sarzedas (2009), pode ser definido como um sistema para captura, armazenamento, extração, análise e visualização de informações geográficas. Assim sendo, o SIG realiza a integração dos *softwares* de desenho com ferramentas de cartografia conectado a um banco de dados.

Para os Sistemas de Abastecimento de Água, o SIG pode ser utilizado para o gerenciamento de informações técnicas, como dados de localização da rede de distribuição de água, *boosters* e registros. No gerenciamento de informações administrativas o SIG pode ser utilizado para armazenar a localização dos consumidores e os dados econômicos e financeiros, assim como os dados de consumo (SARZEDAS, 2009)

Segundo Tsutiya (2006), a implantação de um SIG pode ser custosa para uma companhia de saneamento. Porém existem recursos, que através de mapas de pressão, de idade da tubulação, ocorrências de vazamentos e localização dos macromedidores, auxiliam no diagnóstico do sistema e controle na redução de perdas.

#### 4.6 MODELOS HIDRÁULICOS

Devido a necessidade de elevar os níveis de eficiência nas redes de distribuição de água, estão sendo desenvolvidas cada vez mais ferramentas e sistemas com algoritmos de simulação

que possibilitam uma melhor análise sobre sistemas de abastecimento de água e dessa maneira possibilitando uma melhor gestão e planejamento (Manual Bentley, 2014).

A modelagem hidráulica de SAA vem sendo cada vez mais utilizada, porém, ainda é mal-entendida, ou vista como algo complicado que depende de um cadastro extremamente completo, com diversos dados de medições. Entretanto, a confecção de modelos hidráulicos, mesmo com cadastros incompletos e dados duvidosos, pode ser vital para o entendimento de um SAA e auxiliar na localização de problemas na rede sem ser necessário realizar escavações ou algum trabalho de campo (MANZI, 2020).

#### 4.6.1 WaterGEMS

Um dos produtos de modelagem hidráulica da Bentley, também conhecida como Linha Haestad Methods, é o WaterGEMS, *software* exclusivo para modelagem hidráulica de redes de distribuição de água (Manual Bentley, 2014).

O WaterGEMS é um *software* de modelagem hidráulica aplicado a Sistemas de Abastecimento de Água. Suas ferramentas possibilitam interpolar informações de diversas fontes, como *shapefiles* e desenhos em *Computer-Aided Design (CAD)*. Dentro do *software* é possível analisar as vazões máximas da água, o consumo de energia e gerenciar os custos, além de permitir realizar a projeção e análise e otimização de redes de distribuição de água (Ebook virtuosity, 2021).

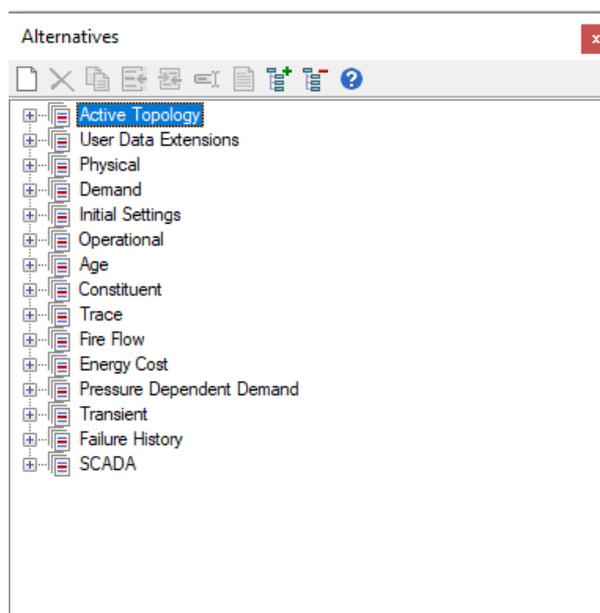
O WaterGEMS tem a capacidade de analisar sistemas de distribuição de água complexos, contendo diversos elementos. Em um projeto realizado no *software*, geralmente o objetivo é determinar as pressões no SAA e as vazões em período de demanda média e variada ao longo de um período (SHAMMAS; WANG, 2013).

##### 4.6.1.1 Criação de cenários e alternativas

Diante a aplicação da modelagem hidráulica, múltiplas soluções podem ser consideradas durante o período de análise, para isso, são criados os cenários e alternativas, que permitem modelar um número infinito de soluções dentro de um só modelo.

Dentro de cada cenário existem onze tipos de alternativas, conforme ilustrado na Figura 2, para cada tipo de alternativa, pode-se selecionar a informação a utilizar. É possível criar infinitas alternativas (MANUAL BENTLEY, 2014).

Figura 2 – Janela de alternativas.



Fonte: Acervo do autor, 2021.

#### 4.6.1.2 Opções de Cálculo

Posteriormente a construção do modelo hidráulico, é necessário configurar as opções de cálculo da modelagem para cada cenário. As opções de cálculo existentes são duas: Estado Estático ou Período Estendido.

As simulações em Estado Estático demonstram os resultados em um momento específico, permitindo analisar a capacidade hidráulica de um SAA em momentos específicos, como o período de vazão máxima diária e avaliar o comportamento da rede diante o fechamento de um registro.

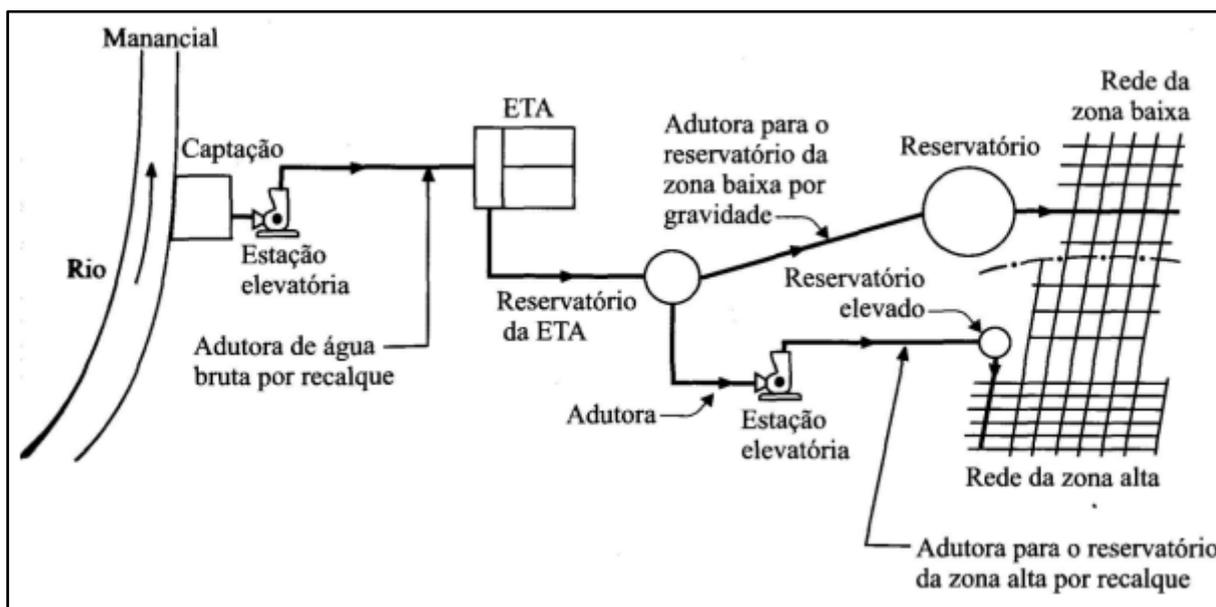
Já as simulações em Período Estendido demonstram os resultados em diferentes espaços de tempo durante um período específico. Dentro das simulações em Período Estendido é possível fazer análises de idade da água, avaliação da qualidade da água em função de elementos químicos na rede e acompanhamento do caminho da água entre diferentes reservatórios (MANUAL BENTLEY, 2014).

#### 4.7 PRESSÕES NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Durante o dimensionamento de um SAA, é de extrema importância a análise nas pressões mínimas e máximas na rede. As pressões mínimas são necessárias para que a água alcance os reservatórios das residências, sendo definida pela NBR 12218/2017 como 10 m.c.a. Já as pressões máximas na rede são definidas para o controle das perdas, o ideal para um SAA, é que as pressões máximas na rede sejam as menores possíveis (TSUTIYA, 2006).

Para facilitar o controle de pressão, a rede de distribuição deve ser dividida em zonas de pressão, sendo cada zona abastecida por um reservatório ou estação elevatória. Normalmente, para abastecer uma zona alta, é utilizado um reservatório elevado ou um *booster*, e para atender uma zona baixa utiliza-se, geralmente, um reservatório e caso necessário uma válvula redutora de pressão. Na Figura 3, é possível observar o modelo de um SAA com zona alta e baixa (TSUTIYA, 2006).

Figura 3 - Modelo de um Sistema de Abastecimento de Água.



Fonte: Tsutiya, 2006.

Segundo Tsutiya (2006), ainda há um entendimento incorreto sobre as pressões na rede de distribuição de que as pressões elevadas sejam um reflexo de um bom padrão de atendimento. As pressões elevadas na rede podem acarretar problemas para o cliente, como: aumento no número de vazamentos e o mau funcionamento dos dispositivos que controlam o nível de água no reservatório residencial, ocasionando um extravasamento.

#### 4.8 SETORIZAÇÃO

Na área do saneamento, setorização trata-se de um zoneamento, geralmente a partir de um reservatório, que pode abastecer uma parte alta do sistema, tanto quanto uma parte com cota menos elevada. Em alguns casos, quando a topografia não for favorável, é necessário realizar a setorização do sistema em mais zonas, podendo ser a partir de um reservatório, *booster* ou válvula redutora de pressão (TSUTIYA, 2006).

Segundo Tsutiya (2006), a setorização começa desde a fase de projeção do SAA, analisando áreas com um zoneamento adequado, que atendas as pressões mínimas e máximas estabelecias pela NBR 12218/2017.

#### 4.9 PROJEÇÃO POPULACIONAL

Segundo Tsutiya (2006), a projeção populacional para um sistema de abastecimento de água deve ser elaborada para um período de projeto variando de 20 a 30 anos, sendo frequente a utilização de 20 anos. A intenção da projeção populacional é poder dividir as obras do SAA de acordo com o crescimento da população, para que não haja ociosidade, as obras devem acontecer em etapas, para poder atender a demanda de água conforme a população cresce.

“As técnicas clássicas para projeções populacionais para pequenas áreas compreendem, em geral, modelos de extrapolação de uma função matemática de dados populacionais passados, de repartição de acréscimos populacionais de uma área maior ou de emprego de um modelo estatístico de regressão baseado em séries históricas de uma determinada variável, supostamente correlacionada ao crescimento populacional.” (JANUZZI, 2007 apud JARDIM, 2001; WALDVOGEL, 1998; SANTOS, 1989).

“As projeções populacionais são essenciais para orientação de políticas públicas e tornam-se instrumentos valiosos para todas as esferas de planejamento. Estas informações viabilizam análises das demandas por serviços públicos, além de serem fundamentais para o estudo de determinados segmentos populacionais para os quais são formuladas políticas específicas. Tais projeções entram ainda no cálculo de vários indicadores econômicos e sociais, como, por exemplo, o PIB per capita e o número de leitos hospitalares por mil habitantes.” (SEADE, 2020)

Na elaboração do estudo populacional, deve ser apresentada uma projeção para um período de 20 anos. Assim sendo, é de suma importância realizar uma projeção populacional para início, meio e fim do plano, a qual será aplicada as taxas de crescimento a partir do

crescimento observado com os dados do passado. Com a projeção de população definida, é possível definir as vazões de projeto (PMSB SCHROEDER, 2014).

#### 4.10 PERDAS NO SISTEMA DE ABASTEDIMENTO DE ÁGUA

Dentro de um SAA, é impossível a possibilidade de não haver perdas de água, portanto o planejamento e a gestão do sistema precisam buscar pela maior redução de perdas possível. O índice de perdas na distribuição do SNIS em 2019 foi de 39,2%, sendo que este apresenta crescimento contínuo após 2015, quando teve estabilidade (SNIS 2019).

Segundo Manzi (2020), as ações para o controle de perdas no sistema de abastecimento de água não são um luxo, mas sim uma necessidade e dependem de investimentos e tecnologias. Porém os problemas com as perdas de água estão mais atrelados a uma boa gestão.

Em diversas companhias de saneamento do Brasil, as despesas com perdas de água fazem parte dos custos mais elevados para a gestão do SAA, concorrendo com os custos de energia elétrica e folha salarial (MANZI, 2020).

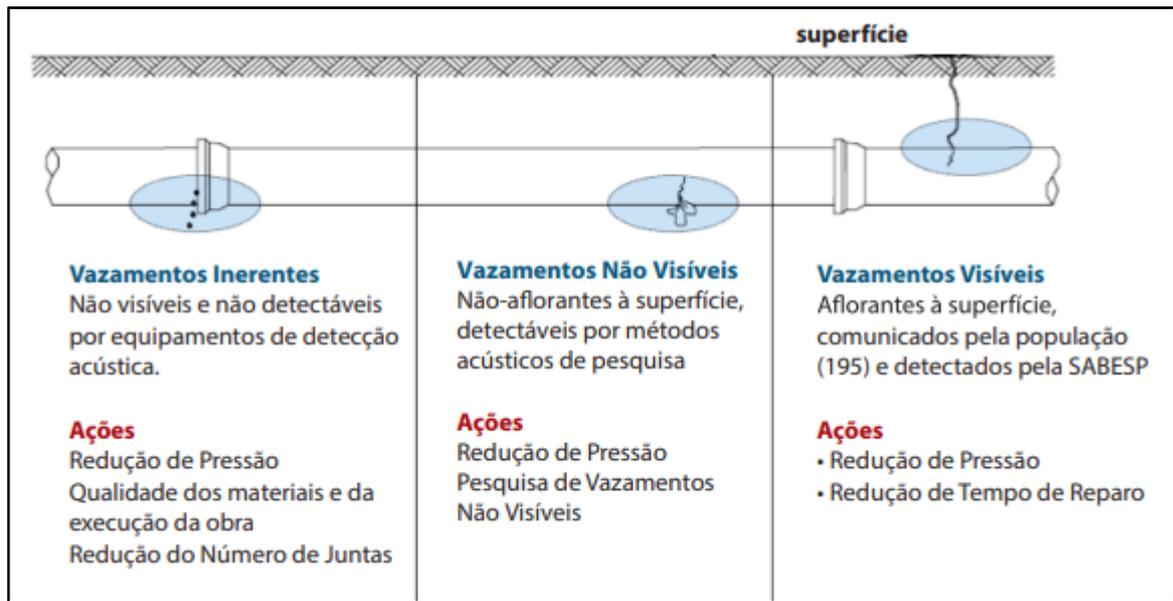
É possível separar as perdas de água em aparentes e reais, essa diferenciação é importante pois a escolha das ações para o combate de perdas depende diretamente do tipo de perda de água (SNIS 2019).

##### 4.10.1 Perdas reais

Também conhecidas como perdas físicas, são o volume de água perdida que não chega aos consumidores, por causa de vazamentos e todos os tipos de extravasamentos em reservatórios. Podem ocorrer em adutoras, redes, ramais, reservatórios e outras unidades operacionais do sistema. Os vazamentos estão associados a qualidade do material utilizado na rede de distribuição, assim como na qualidade da instalação da rede (SNIS 2019).

Os vazamentos podem ser divididos em inerentes, não visíveis e visíveis, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 - Tipos de vazamentos na rede de distribuição.

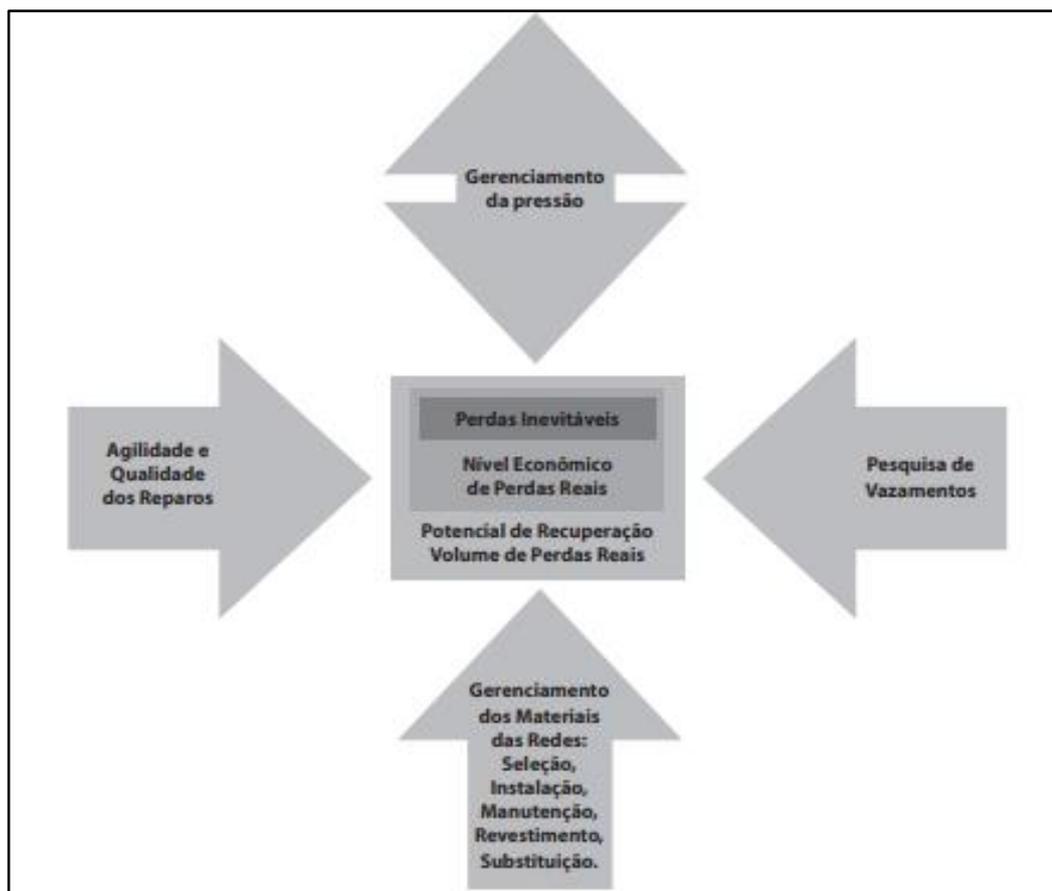


Fonte: FUNASA, 2014.

As ações contra perdas físicas compreendem a aplicação de ferramentas de gestão, com objetivo no controle de pressões na rede de distribuição, busca por vazamentos de forma proativa e diminuição no tempo do reparo na rede, com o intuito de reduzir o volume de água perdido durante a operação (MANZI, 2020).

A Figura 5 demonstra as ações no controle de perdas indicados pela *International Water Association* (IWA).

Figura 5 - Cruz de Lambert para redução das perdas reais.



Fonte: Modificado ABES, 2015.

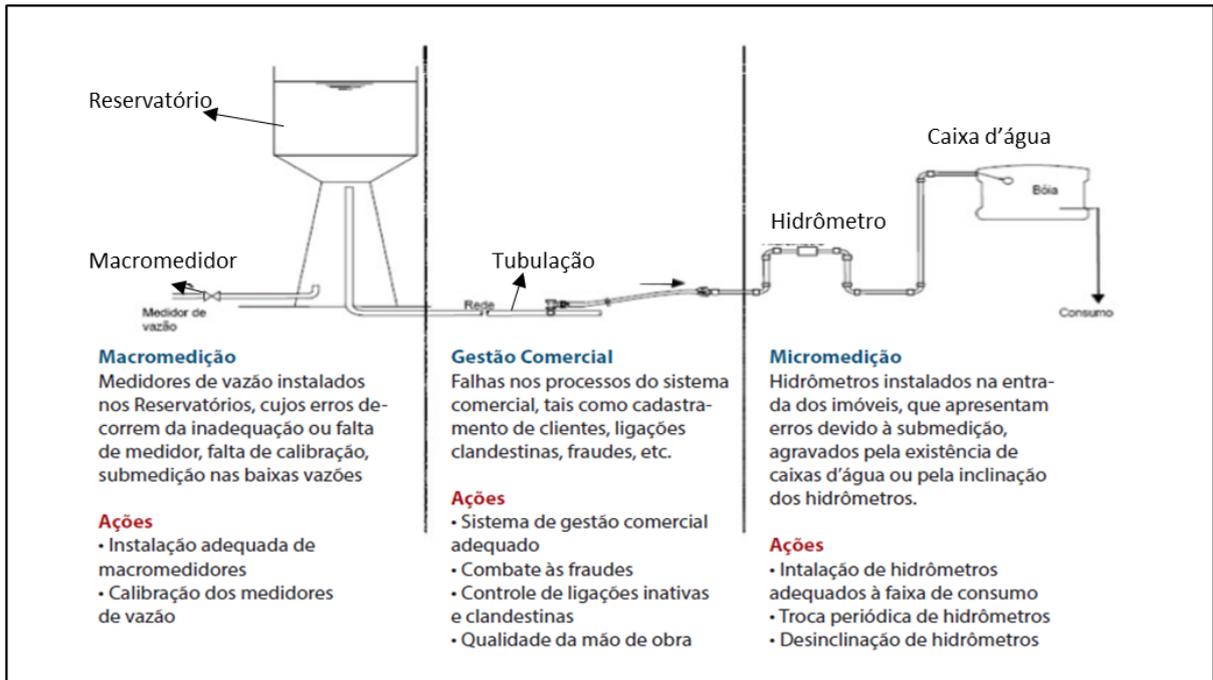
#### 4.10.2 Perdas aparentes

Segundo o SNIS (2019) as perdas aparentes ocorrem quando a água consumida não é faturada, ou seja, quando há situações como ligações clandestinas e a submedição em medidores, que é a parcela de água que passou pelo medidor, porém não foi contabilizada.

Qualquer medidor, seja ele de grande ou pequeno porte, pode apresentar valores imprecisos, que variam de acordo com o tipo de medidor. O medidor que foi instalado corretamente e está operando em boas condições apresenta uma variação de precisão entre 0,5 e 2%. A imprecisão nos medidores pode aumentar devido a problemas como: instalação incorreta, descalibração do medidor, dimensionamento inadequado, grande variação entre as vazões máximas e mínimas e problemas de entupimento ou até problemas na transmissão dos dados (TSUTIYA, 2006).

Na Figura 6, pode-se observar os elementos do SAA onde podem ocorrer perdas aparentes.

Figura 6 - Tipos de perdas aparentes.

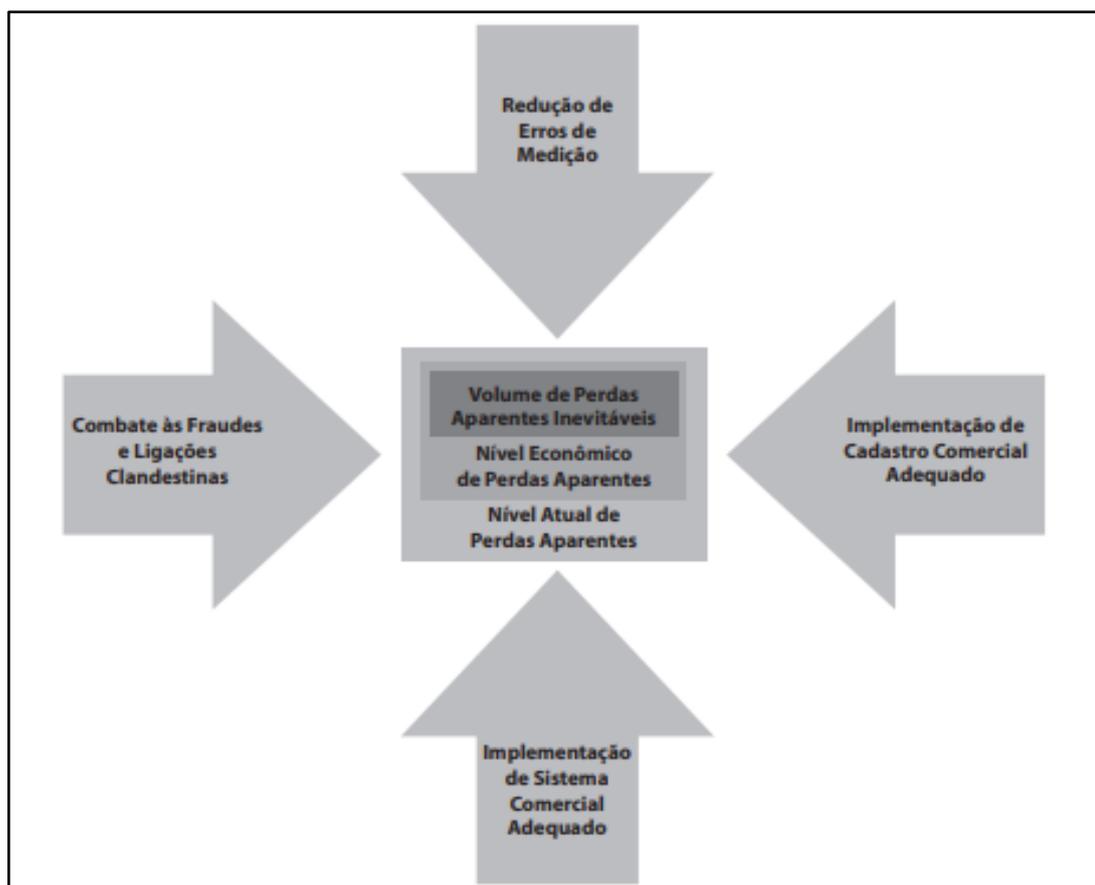


Fonte: Modificado FUNASA, 2014.

A IWA também disponibiliza uma cruz com as principais ações para a realização do controle de perdas aparentes, conforme Figura 7.

Segundo MANZI (2020) a comunidade técnica ainda não encontrou uma forma definitiva de cálculo para definição das perdas aparentes, seja em porcentagem ou volume. Os valores de perdas aparentes indicam 5% do volume micromedido, sendo 4% erros de medição dos hidrômetros, 0% para erros na macromedição e 1% para ligações clandestinas.

Figura 7 - Controle a perdas aparentes.



Fonte: FUNASA, 2014.

#### 4.11 CADASTRO

Segundo o manual de rotinas administrativas dos serviços municipais de saneamento da FUNASA (2006) as companhias de saneamento devem manter os cadastros existentes atualizados, para que não ocorram erros de duplicidade, classificação de classe dos usuários e casos de ligações clandestinas. O cadastro do SAA deve sempre estar atualizado, sendo que quando uma ligação nova for solicitada, a sequência dos números deve seguir a ordem já utilizada.

#### 4.12 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O Sistema de Abastecimento de água de Schroeder é de responsabilidade da Secretaria de Saneamento e Gestão Ambiental da Prefeitura Municipal de Schroeder, composta pelo setor “Águas de Schroeder”, responsável pela execução dos serviços, conforme Lei complementar nº 62/2008 e seus regulamentos pelo Decreto nº 1941/2009.

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 ESCOLHA DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

É indispensável a escolha de um SAA que forneça o mínimo de informações possíveis para realizar o trabalho da modelagem, contendo grande disponibilidade de dados da rede de distribuição e operação dela.

O cadastro de redes de água deve conter pelo menos o arruamento da cidade, contendo informações de diâmetro e material das tubulações, a localização dos reservatórios, bombas, registros e os limites de cada setor.

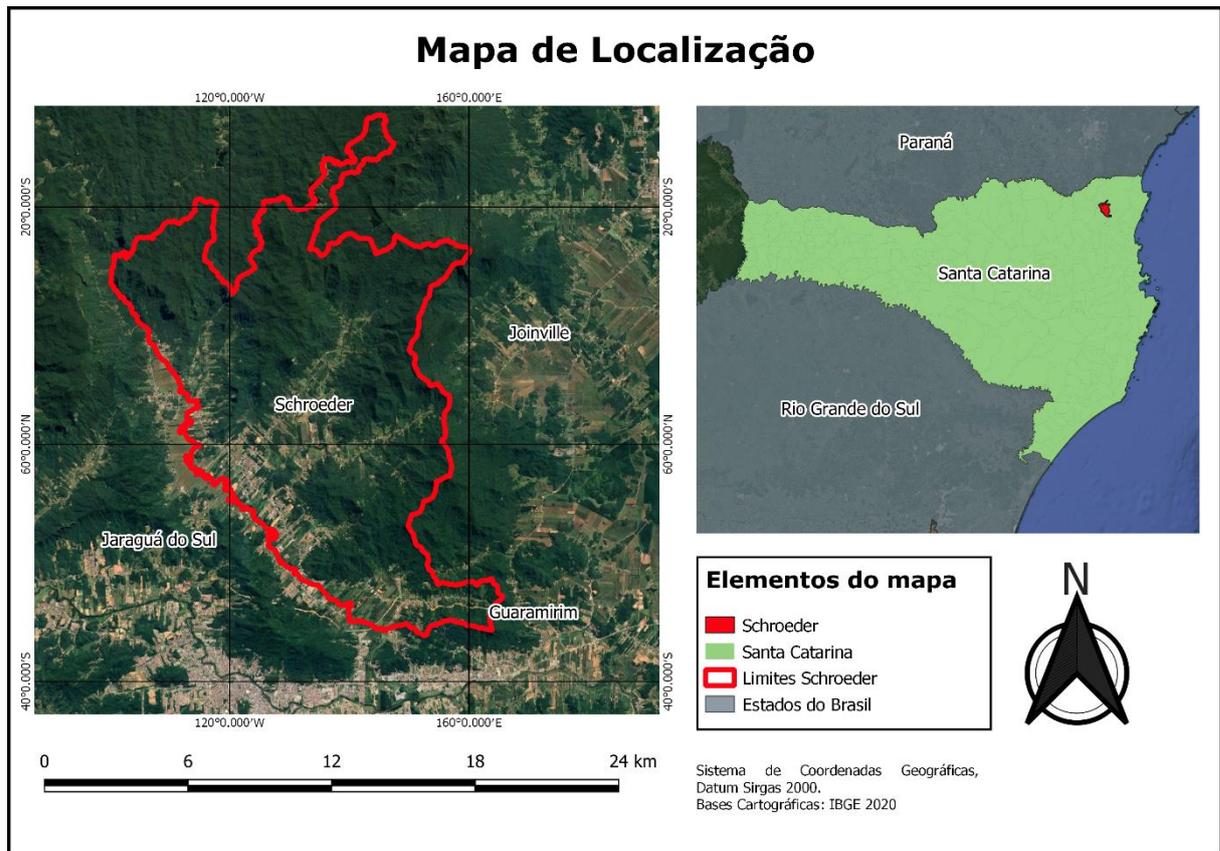
### 5.2 LOCAL DE ESTUDO

O município de Schroeder está localizado no norte estado de Santa Catarina e faz divisa com os municípios de Jaraguá do Sul, Joinville e Guaramirim, como pode ser observado na Figura 8. O município tem uma área estimada de 165,237 Km<sup>2</sup> e uma população estimada de 21.991 Habitantes (IBGE 2020).

Schroeder possui 13 bairros, e um total de 139,846 quilômetros de extensão de rede, conforme ilustrado no Quadro 2.

Schroeder é abastecida por apenas uma estação de tratamento de água convencional, que transporta a água por gravidade até as bombas, que auxiliam o abastecimento, transportando a água até os locais com cota mais elevada.

Figura 8 - Mapa de localização.



Fonte: Acervo do autor, 2021.

Quadro 2 - Extensão de rede por bairro.

Bairro	Extensão de rede (m)
Schroeder I	24.146
Centro-Sul	6.539
Rio Hern	8.507
Centro-Leste	7.257
Centro	15.565
Centro-Norte	23.720
Sossego	6.811
Tomaselli	3.817
Rancho Bom	2.270
Braço do Sul	7.330
Bracinho	20.216
Itoupava-Açu	7.178
Duas Mamas	6.490
<b>TOTAL</b>	<b>139.846</b>

Fonte: Acervo do autor, 2021.

No Quadro 3, pode ser observado os valores população atendida pelo SAA de Schroeder de 2002 até 2019, conforme os dados disponibilizados pelo SNIS.

Observa-se que a população total atendida pelo SAA de Schroeder aumentou com o passar dos anos, chegando a 19.228 habitantes em 2019, esse dado também representa conseqüentemente um aumento na demanda de água no sistema, sendo necessário a realização de estudos sobre o SAA, para realizar o planejamento de investimentos no sistema durante os anos, com finalidade de manter o sistema operando com maior eficiência, sem faltar água para a população.

Os anos em branco estão dessa forma devido à falta de dados para realizar os cálculos.

Quadro 3 - Dados de população atendida SNIS.

<b>Ano</b>	<b>População total atendida</b>	<b>Ligações ativas de água</b>	<b>Habitantes / Ligação</b>	<b>Consumo médio per capita (l/lig.dia)</b>
2002	6.606	1.884	3,51	95,90
2003	6.981	1.990	3,51	97,00
2004	7.242	2.067	3,50	95,70
2005	7.562	2.145	3,53	101,30
2006	7.860	2.229	3,53	105,20
2007				
2008				
2009	13.800	3.209	4,30	85,20
2010	14.856	3.470	4,28	82,80
2011	15.266	3.659	4,17	94,00
2012	15.273	3.913	3,90	101,30
2013	14.977	4.146	3,61	107,30
2014	16.185	4.311	3,75	115,00
2015	17.132	4.444	3,86	106,50
2016	18.295	4.589	3,99	100,40
2017	18.451	4.722	3,91	101,50
2018	18.655	4.851	3,85	102,30
2019	19.228	4.955	3,88	103,30

Fonte: Modificado SNIS, 2019.

No Quadro 4, observa-se os dados de volume de água macromedido, micromedido, assim como os valores de perda de 2002 a 2019, conforme os dados disponibilizados pelo SNIS.

Pode-se observar que o índice de perdas na distribuição teve um grande aumento de 2002 a 2015, chegando a 65,76 %, e nos anos seguintes teve um decréscimo, porém o SAA ainda tem valores de perdas muito elevados quando comparado com o resto do país, que segundo o SNIS (2019) as perdas no país estão em 39,2 %.

Os anos em branco estão dessa forma devido à falta de dados para realizar os cálculos.

Quadro 4 - Dados históricos de perdas SNIS.

<b>Ano</b>	<b>Volume macromedido 1000(m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Volume micromedido 1000(m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Perda 1000(m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Perda por ligação (l.lig/dia)</b>	<b>Perdas na distribuição (%)</b>
2002	374	216	158	207,37	38,15
2003	372	204	168	185,43	35,28
2004	373	195	178	168,02	33,38
2005	374	229	145	130,61	26,84
2006	414	259	155	147,95	28,52
2007					
2008					
2009	631	428	203	223,69	37,92
2010	757	433	324	274,83	43,62
2011	778	517	261	200,65	33,57
2012	1.226	565	661	478,50	53,93
2013	1.347	592	755	513,43	56,04
2014	1.600	654	946	612,76	59,11
2015	1.892	648	1244	778,80	65,76
2016	1.204	649	555	336,79	46,10
2017	1.457	680	776	456,93	53,30
2018	1.402	692	710	406,14	50,61
2019	1.464	714	750	418,97	51,21

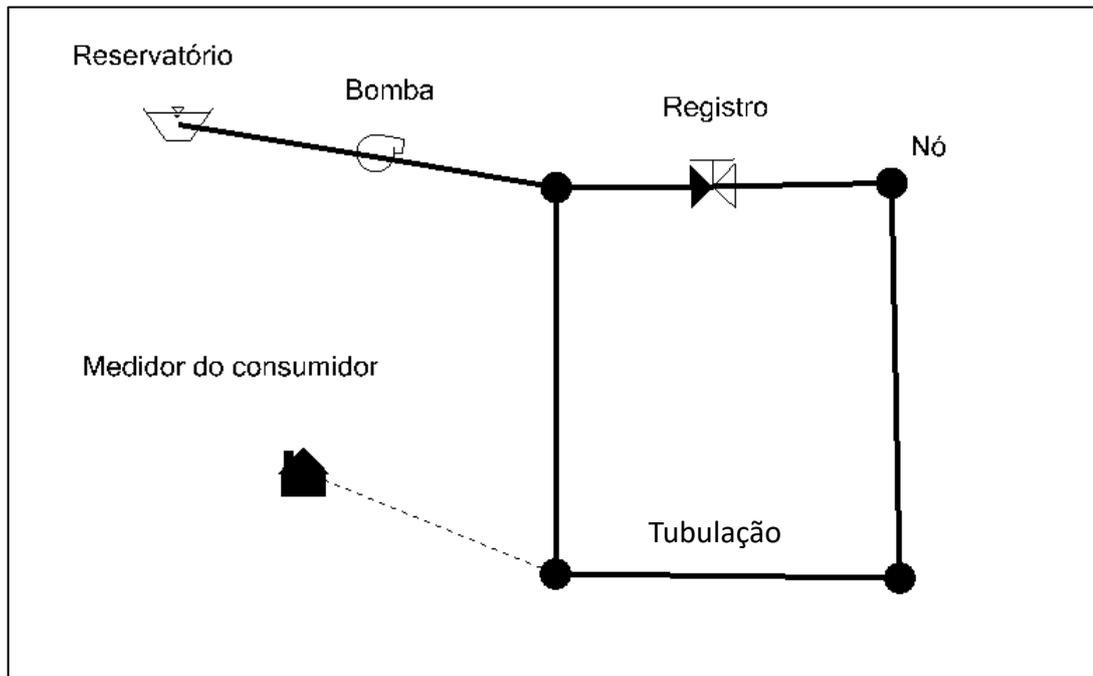
Fonte: Modificado SNIS, 2019.

### 5.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO HIDRÁULICO COM WATERGEMS

Não existe uma forma única de criar um modelo de simulação hidráulica pelo *software* WaterGEMS, dependendo da qualidade e quantidade e qualidade dos dados obtidos para a construção do modelo.

O WaterGEMS permite obter os dados de vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó e da altura de água em cada reservatório. A Figura 9 ilustra os principais elementos físicos do WaterGEMS.

Figura 9 - Principais elementos WaterGEMS.



Fonte: Acervo do autor, 2021.

O WaterGEMS realiza a modelagem de sistemas de abastecimento de água através de elementos físicos que formam um conjunto de trechos conectados por nós. Os trechos representam os tubos que transportam a água, entre os trechos podem existir bombas, reservatórios ou registros de controle. A Figura 9 ilustra os principais elementos do *software* e como eles podem ser conectados entre si.

**Reservatório:** Podendo ser de nível fixo ou variado, representam um volume água armazenada. São utilizados para simular a produção de água;

**Bomba:** São utilizadas para transferir energia para o escoamento, aumentando a altura manométrica, até um certo ponto com cota mais elevada;

**Registro:** São utilizados para trancar a passagem de água pelo tubo onde foi inserida;

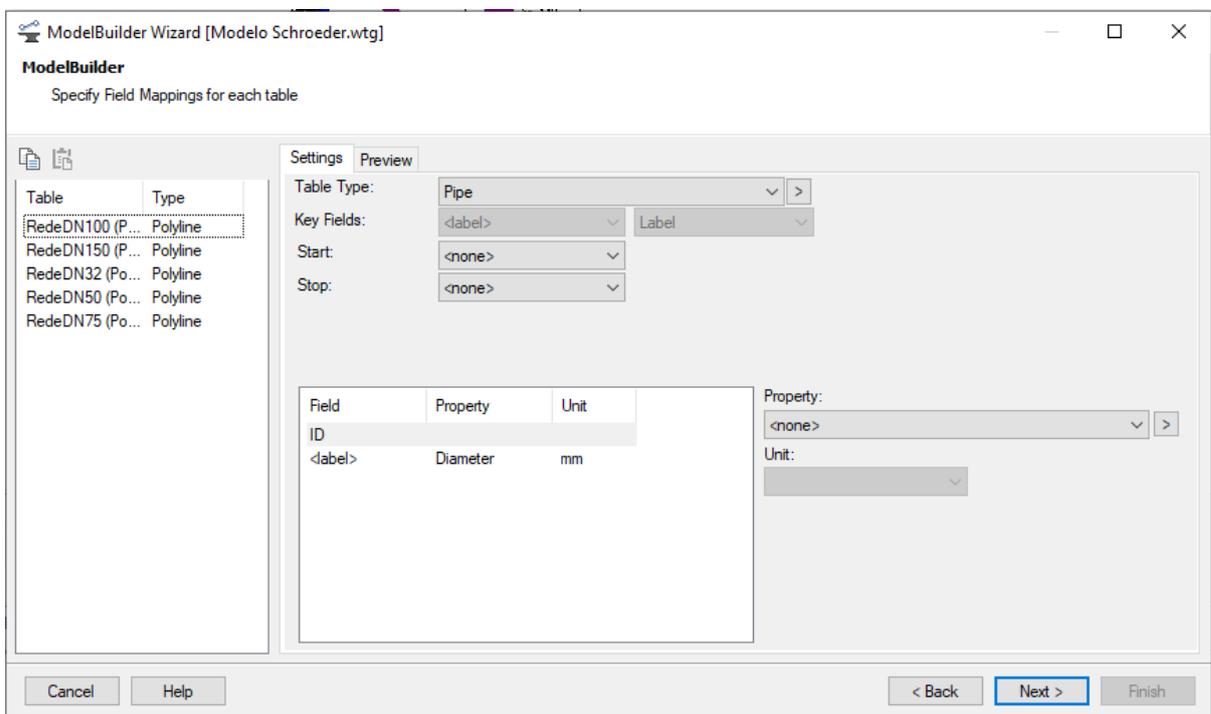
**Nós:** São os pontos da rede onde as tubulações se conectam entre si. São utilizados para fazer as análises da rede e podem ser utilizados para representar o consumo de água;

**Medidor do consumidor:** Utilizado para atribuir o consumo micromedido do cliente.

**Tubulação:** é o trecho que faz o transporte da água durante a simulação.

Caso o sistema de abastecimento de água possua o cadastro digital, o WaterGEMS possibilita a construção do modelo através da ferramenta *ModelBuilder*. Essa é uma ferramenta que permite construir o modelo do WaterGEMS a partir de desenhos em formato CAD, arquivos Shape da ESRI, bases de dados de Access, planilhas do Excel, HTML, OLEDB, Oracle. (manual Bentley). A Figura 10 ilustra uma das telas de utilização do *ModelBuilder*.

Figura 10 – Assistente de importação *ModelBuilder*



Fonte: Acervo do autor, 2021.

#### 5.4 ENTRADA DE INFORMAÇÕES

Após o modelo construído, a próxima etapa é alimentar os elementos do modelo com as informações requeridas para realizar a simulação. Existem três formas diferentes de alimentar o modelo com os dados de entrada, cada um com benefícios distintos, dependendo da forma como o usuário prefere trabalhar (Manual Bentley, 2014).

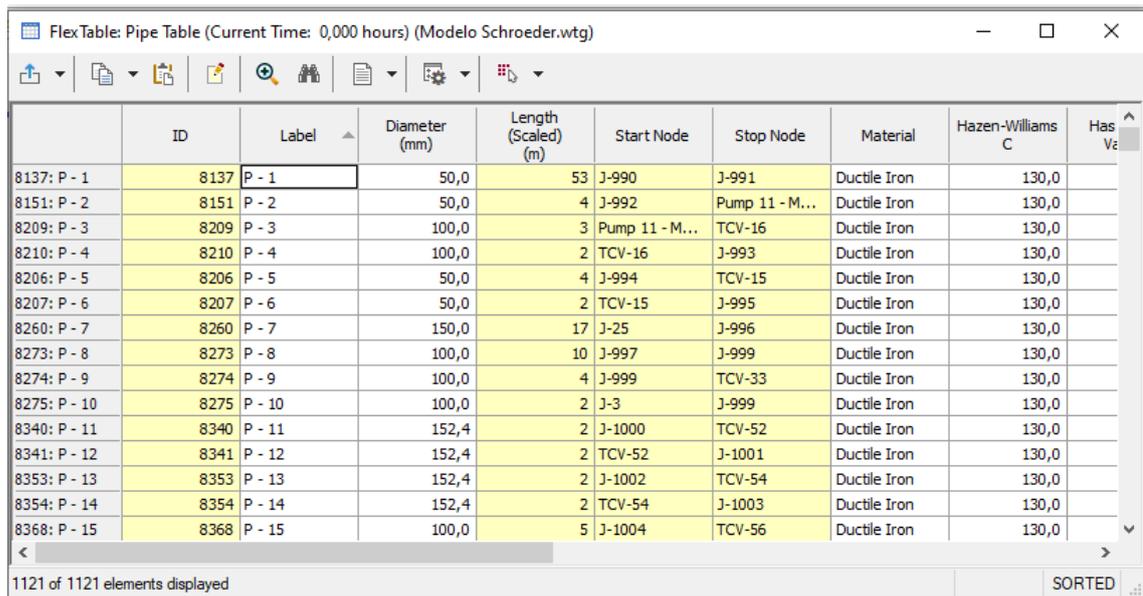
**Janela de propriedades individuais:** Clicando duas vezes sobre um elemento a janela será aberta, conforme ilustrada na Figura 11. Com a janela aberta é possível adicionar os dados de entrada e verificar os resultados obtidos pela simulação.

Figura 11 - Janela de propriedades.

Properties - Pump - Pump 3 - Bertholdo Kanzler (733)	
Pump 3 - Bertholdo Kanzler	
<Show All>	
Property Search	
<General>	
ID	733
Label	Pump 3 - Bertholdo Kanzler
Notes	
GIS-IDs	<Collection: 0 items>
Hyperlinks	<Collection: 0 items>
Downstream Pipe	Tube DN 32-4(2)
<Geometry>	
X (m)	689.290,62
Y (m)	7.080.009,52
<Active Topology>	
Is Active?	True
<Initial Settings>	
Relative Speed Factor (Initial)	1,000
Status (Initial)	On
<Operational>	
Controls	<Collection>
<Physical>	
Elevation (m)	53,00
Installation Year	0
Zone	<None>
DMA Status	Boundary Candidate
Pump Definition	3 - Bertoldo Kanzler
Pump Station	<None>
Is Variable Speed Pump?	False
<Pump Data>	
Head (Shutoff) (m)	26,67
Head (Design) (m)	20,00
Flow (Design) (L/s)	5,00
Head (Maximum Operating) (m)	0,00
Flow (Maximum Operating) (L/s)	10,00
Flow (Maximum Extended) (L/s)	(N/A)
<Transient (Operational)>	
Pump Type (Transient)	Constant Speed - Four-Quadrant Charac
<Water Quality>	
Age (Initial) (hours)	0,000
Concentration (Initial) (mg/L)	0,0
Trace (Initial) (%)	0,0
<Results>	
Relative Speed Factor (Calculate)	1,000
Hydraulic Grade (Suction) (m)	-122.554,43
Hydraulic Grade (Discharge) (m)	-122.528,29
Flow (Total) (L/s)	1,40
<b>ID</b>	
Unique identifier assigned to this element.	

Fonte: Acervo do autor, 2021.

**FlexTables:** Utilizada para criar tabelas personalizadas com as informações específicas que se deseja visualizar e/ou editar. Através das *FlexTables* é possível organizar os dados e filtrá-los, além do mais, é possível importar os dados de planilhas Excel e exportar para Shapefiles. A Figura 12 ilustra uma das *FlexTables* dentro do *Software*.

Figura 12 – Janela *FlexTable*.


FlexTable: Pipe Table (Current Time: 0,000 hours) (Modelo Schroeder.wtg)

	ID	Label	Diameter (mm)	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Material	Hazen-Williams C	Has Valves
8137: P - 1	8137	P - 1	50,0	53	J-990	J-991	Ductile Iron	130,0	
8151: P - 2	8151	P - 2	50,0	4	J-992	Pump 11 - M...	Ductile Iron	130,0	
8209: P - 3	8209	P - 3	100,0	3	Pump 11 - M...	TCV-16	Ductile Iron	130,0	
8210: P - 4	8210	P - 4	100,0	2	TCV-16	J-993	Ductile Iron	130,0	
8206: P - 5	8206	P - 5	50,0	4	J-994	TCV-15	Ductile Iron	130,0	
8207: P - 6	8207	P - 6	50,0	2	TCV-15	J-995	Ductile Iron	130,0	
8260: P - 7	8260	P - 7	150,0	17	J-25	J-996	Ductile Iron	130,0	
8273: P - 8	8273	P - 8	100,0	10	J-997	J-999	Ductile Iron	130,0	
8274: P - 9	8274	P - 9	100,0	4	J-999	TCV-33	Ductile Iron	130,0	
8275: P - 10	8275	P - 10	100,0	2	J-3	J-999	Ductile Iron	130,0	
8340: P - 11	8340	P - 11	152,4	2	J-1000	TCV-52	Ductile Iron	130,0	
8341: P - 12	8341	P - 12	152,4	2	TCV-52	J-1001	Ductile Iron	130,0	
8353: P - 13	8353	P - 13	152,4	2	J-1002	TCV-54	Ductile Iron	130,0	
8354: P - 14	8354	P - 14	152,4	2	TCV-54	J-1003	Ductile Iron	130,0	
8368: P - 15	8368	P - 15	100,0	5	J-1004	TCV-56	Ductile Iron	130,0	

1121 of 1121 elements displayed

SORTED

Fonte: Acervo do autor, 2021.

**ModelBuilder:** Da mesma forma como é possível construir o modelo com o *ModelBuilder*, também pode-se carregar informações se estiver em algum tipo de fonte digital. Tanto que os dados possam ser linkados através de um direcionamento via GIS:ID ou *Label*.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 LEVANTAMENTO DE DADOS CADASTRAIS

Se faz necessário levantar diversos dados do sistema, como: fontes de reservação de água, perfil de consumo diário, traçado de rede contendo comprimento, diâmetro e material das tubulações, estações elevatórias, registros de operação, válvulas de retenção, topografia e dados de macro e micromedição.

Quanto maior for a quantidade e qualidade dos dados cadastrais, melhores e mais precisos serão os resultados obtidos através da modelagem hidráulica.

Os dados utilizados para fazer a modelagem hidráulica de Schroeder foram solicitados para a companhia de Águas de Schroeder, que forneceu o cadastro atualizado da rede de distribuição de água, dados de consumo micro medidos e a localização georreferenciada dos consumidores.

Devido ao cadastro técnico de redes disponibilizado estar fora de escala e referência, conforme visto na Figura 13, foi necessário redesenhar o cadastro em *shapefile* pelo *software* QGIS, de acordo com o cadastro de redes mais atualizado, para facilitar a importação dos dados no modelo hidráulico.

Para obter as curvas de nível do município, foi necessário fazer o download de um Modelo Digital de Elevação (MDE), imagem de satélite em alta qualidade pelo site: *Alos Palsar – ASF – Alaska Satellite Facility*. Através do MDE, foram geradas as curvas de nível pelo *software* ArcGIS pela ferramenta “*Contour*”.

Figura 13 - Cadastro fora de referência

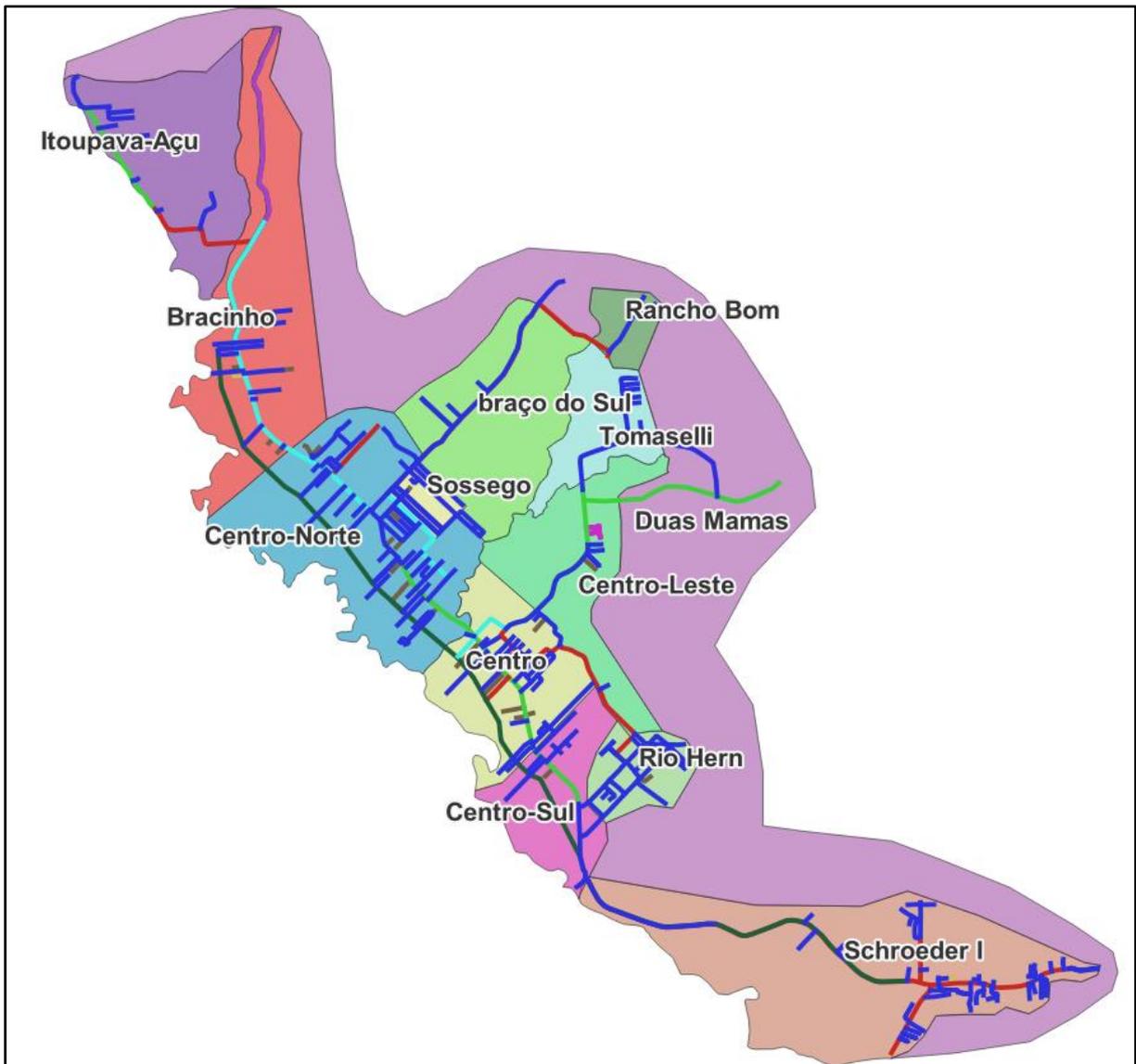


Fonte: Acervo do autor, 2021.

## 6.2 TRAÇADO DE REDE

O traçado de rede disponibilizado estava fora de referencial e escala, portanto foi necessário refazer o cadastro de acordo com os dados disponibilizados, na Figura 14, pode-se observar o município de Schroeder com os limites de bairros e as redes de distribuição de água.

Figura 14 - Sistema de Abastecimento de Água com limites de bairros.



Fonte: Acervo do autor, 2021.

### 6.3 CURVA DE NÍVEL

As curvas de nível foram obtidas no site <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/>.

Foi baixado um Modelo de Elevação Digital (MDE), contendo a região de Schroeder, essa imagem foi transformada em curvas de nível através do Software ArcGIS.

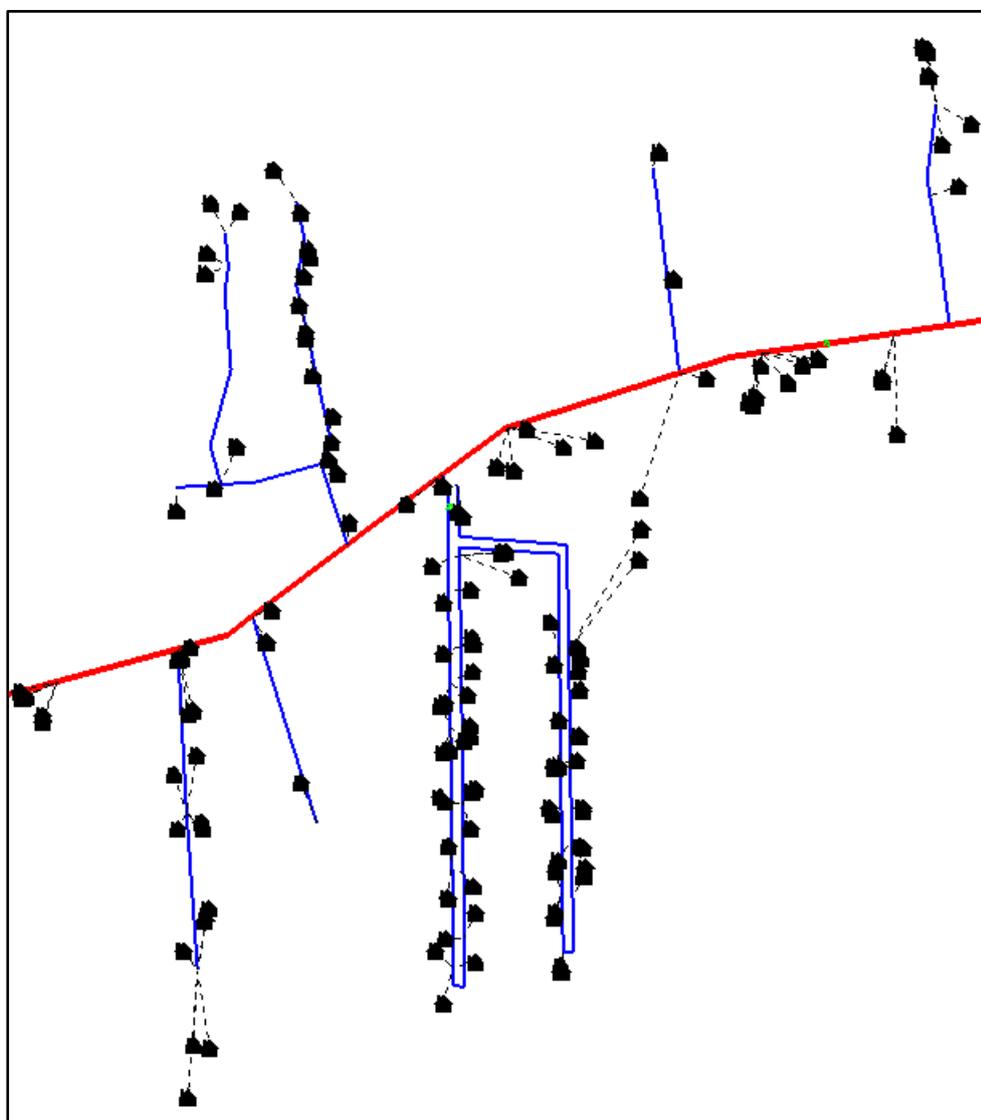
Depois, para que o arquivo não ficasse tão grande, baixou-se o shape com a delimitação do município de Schroeder, disponibilizado pelo IBGE para que as curvas de nível fossem aplicadas apenas o para município de Schroeder.

#### 6.4 CADASTRO GEORREFERENCIADO

Para obter o cadastro georreferenciado, foi solicitado para que durante o período de leitura do parque de hidrômetros de Schroeder, o leitorista ativasse o GPS quando fizesse a leitura do hidrômetro e capture as Coordenadas X, Y.

Assim, foi possível extrair as informações de captura de coordenada em um arquivo do Excel, e vincular os dados das matrículas com os consumos lidos, para importar os dados no *Software* WaterGEMS, tendo os dados de vazão muito mais precisos, como pode ser visto na Figura 15.

Figura 15 - Consumos georreferenciados.



Fonte: acervo do autor, 2021.

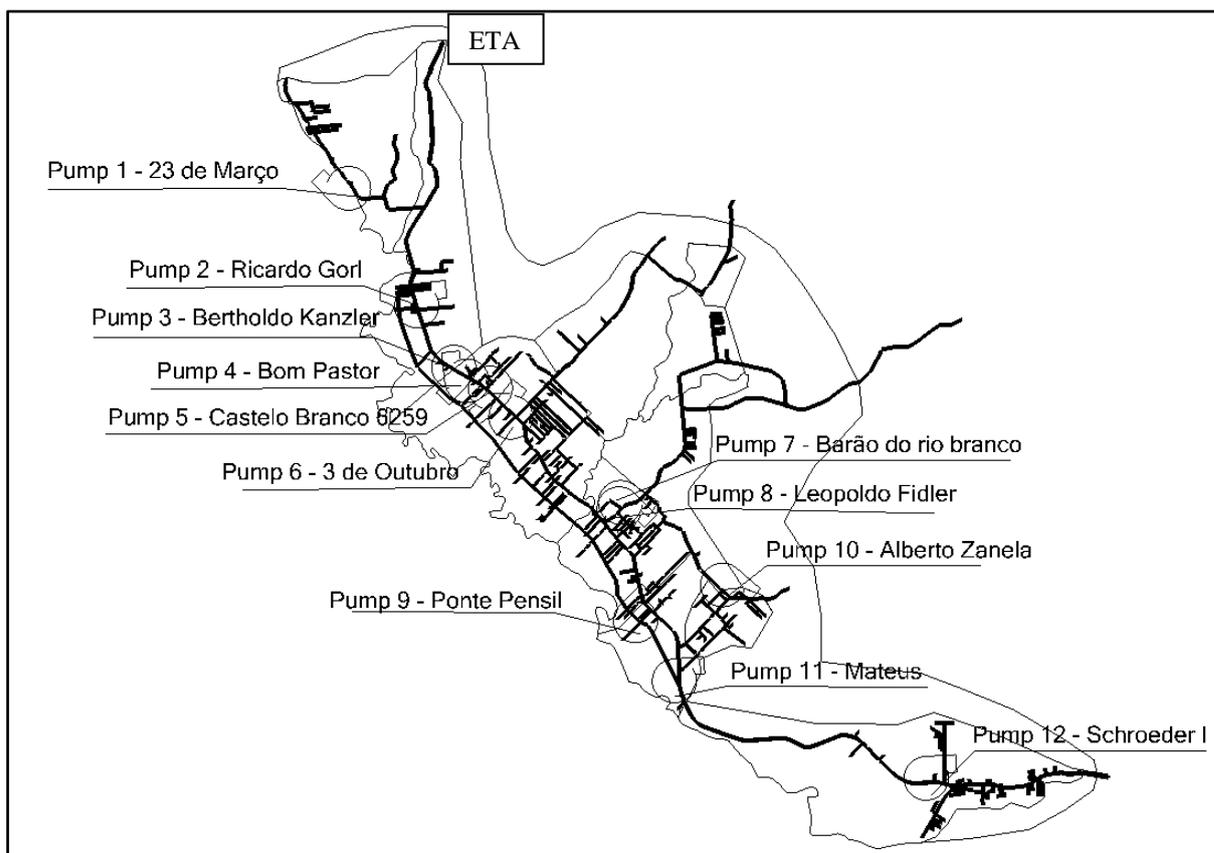
## 6.5 CURVAS DE BOMBAS

Como pode ser visto na Figura 16, atualmente em Schroeder operam 12 bombas, sendo que o cadastro de Schroeder não tem conhecimento da curva de operação de todas as bombas, nem a vazão e altura manométrica com qual elas trabalham.

Pode ser observado que na saída da ETA não possuem bombas para pressurizar a água, fato este que se deve pelo reservatório da ETA estar com 92 metros de cota, e o começo do bairro Itoupava-Açu, que é o primeiro bairro a ser abastecido pela ETA está na cota 40 m, portanto a pressão com que a água chega no bairro está em torno de 40 m.ca.

O SAA de Schroeder possui 12 bombas ao total, porém nem todas possuem a curva de operação disponível, o Quadro 5 apresenta o endereço das bombas e quais tiveram a curva de operação disponibilizada.

Figura 16 - Localização das bombas.



Fonte: acervo do autor, 2021

O SAA de Schroeder possui 12 bombas ao total, porém nem todas as bombas possuem a curva de operação com vazão e altura manométrica. O Quadro 5 apresenta o endereço de cada bomba e se foi disponibilizado a curva dela.

A equipe técnica de Águas de Schroeder foi a campo para localizar a placa da bomba, uma a uma, a qual contém informações de operação. Porém, apenas 6 das 12 bombas distribuídas pelo município possuem placas legíveis que demonstram a vazão e altura manométrica, as demais sofreram danificações devido a ação do tempo tornando legível apenas a potência de cada bomba.

Quadro 5 - Endereço e informações das bombas

<b>Booster</b>	<b>Endereço</b>	<b>Foi disponibilizado a curva da bomba?</b>
1	Rua 23 de Março	Sim
2	Rua Ricardo Gorl	Não
3	Rua Bertoldo Kanzler	Não
4	Rua Bom Pastor	Não
5	Rua Marechal Castelo Branco 6259	Sim
6	Rua 3 de Outubro	Sim
7	Rua Barão do Rio Branco	Não
8	Rua Leopoldo Fiedler	Sim
9	Rua Ponte Pensil	Não
10	Rua Alberto Zanella	Não
11	Rua Marechal Castelo Branco 661	Sim
12	Rua Erich Froehner 3997	Sim

Fonte: acervo do autor, 2021

Para estas bombas que não possuem a curva de operação definidas, foi coletado o valor da potência do motor e estimou-se a altura manométrica e a vazão com que a bomba deve operar no local. A definição da altura manométrica foi realizada somando a diferença de cotas, entre o ponto mais distante e a bomba, com a perda de carga gerada em cada tubo.

Após definir a altura manométrica, utilizou-se a fórmula da potência para chegar ao parâmetro de vazão, conforme a seguinte fórmula:

$$P = \frac{\gamma * Q * Hm}{75n}$$

Onde:

P = Potência (CV);

$\gamma$  = Peso específico da água (kgf/m<sup>3</sup>);

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

Hm = Altura manométrica (m);

n = Rendimento global (%).

## 6.6 ESTIMATIVA DE DEMANDA

Existem diversos métodos de projeção populacional. Segundo o PMSB de Schroeder, para definir a projeção populacional do município foram aplicados os seguintes métodos: aritmético, o método da previsão e o método geométrico. Para aplicar os métodos, foram utilizados os dados de população do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) dos anos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - População histórica Schroeder.

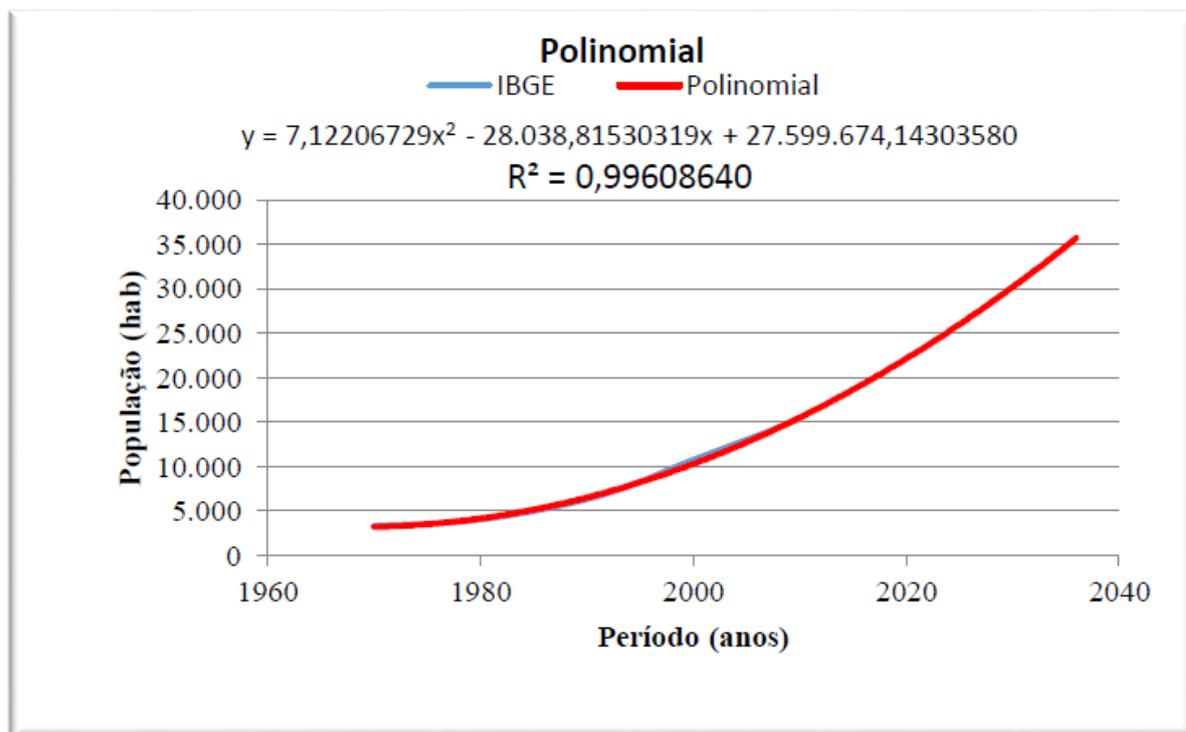
População residente em Schroeder					
Situação do domicílio	Ano				
	1970	1980	1991	2000	2010
Total	3.364	3.990	6.607	10.811	15.316
Urbana	665	1.961	3.526	9.402	13.703
Rural	2.699	2.029	3.081	1.409	1.613

Fonte: IBGE, 2010.

Com o intuito de definir qual dos métodos de projeção populacional é o mais adequado para a realidade de Schroeder, foram utilizados quatro tipos de curvas distintas: logarítmica, linear, polinomial e exponencial.

Através das curvas será definido a taxa de crescimento populacional por ano. Conforme o PMSB de Schroeder, os dados de população do IBGE foram aplicados nas curvas para definir qual se ajusta melhor a realidade de Schroeder. Conforme a Figura 17 a curva que melhor se ajustou aos dados foi a polinomial.

Figura 17 - Comparação entre crescimento populacional pelo IBGE e curva polinomial.

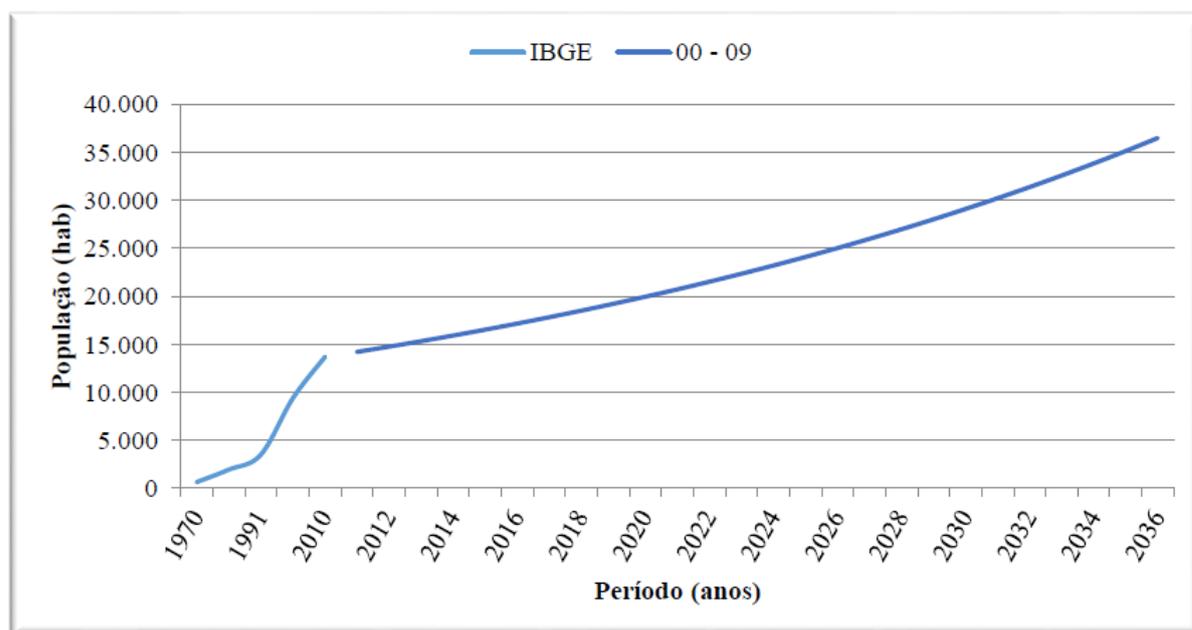


Fonte: Alto Uruguai Soluções Ambientais, 2015.

Após definida a curva de crescimento, foram comparados os valores obtidos em cada método, então foi indicado o método geométrico como o mais adequado em relação ao comportamento do município. A taxa de crescimento indicada pelo método foi de 1,03% ao ano.

A Figura 18 apresenta a curva de crescimento populacional de Schroeder de acordo com os dados de IBGE de 1970 a 2010 junto com a projeção populacional realizada pelo PMSB de Schroeder para o período de 2015 a 2035.

Figura 18 - Curva de crescimento populacional.



Fonte: Alto Uruguai Soluções Ambientais, 2015.

Para atender o período do estudo (2021 – 2041), foi necessário realizar a extrapolação da curva de projeção populacional de Schroeder de acordo com os dados obtidos do PMSB de Schroeder.

Com o intuito de obter valores mais precisos, optou-se por usar os valores de população total atendida e ligações ativas de água do SNIS e aplicar a taxa de crescimento populacional definida pelo PMSB, para então calcular os dados de vazão.

A demanda utilizada para a construção do modelo hidráulico foi a média de consumo dos últimos 12 meses, sendo o último mês Outubro de 2021.

Para o cenário de 2022, a demanda foi aumentada de acordo com o crescimento populacional de 1,03% definido pelo PMSB de Schroeder.

Nos cenários de vazão máxima horário a vazão de demanda foi multiplicada por 1,8, conforme visto no Quadro 7, os valores de vazão de perdas e consumo em todos os cenários do modelo.

Quadro 7 – Vazões do modelo hidráulico.

Cenário	Q perdas (l/s)	Q consumo (l/s)	Q consumo + perdas (l/s)
2021	21,97	25,15	47,12
2021 máx horária	21,97	45,27	67,24
2022	16,63	25,41	42,04
2022 máx horária	16,63	45,74	62,36

Fonte: acervo do autor, 2021

## 6.7 META PARA REDUÇÃO DE PERDAS 2022

Para a construção do modelo hidráulico foi utilizado o valor de perdas médio dos últimos 12 meses disponibilizados pela companhia de Águas de Schroeder, conforme visto no Quadro 8.

Pode-se observar que há uma diferença grande entre os dados de volume de água produzido em abril de 2020 e abril de 2021. Diferença essa de 30.881 m<sup>3</sup> de água produzidos em um mês, o que gera dúvida sobre a precisão dos valores macro medidos, já que os valores medidos no mesmo mês, em anos diferentes, deveriam apresentar valores mais próximos.

Observa-se também que o índice de perdas calculado em abril de 2021 está muito abaixo do índice calculado para os outros meses, acarretando mais dúvidas sobre a precisão do macro medidor instalado na saída da ETA.

Os meses em branco estão dessa forma devido à falta de dados para a realização dos cálculos.

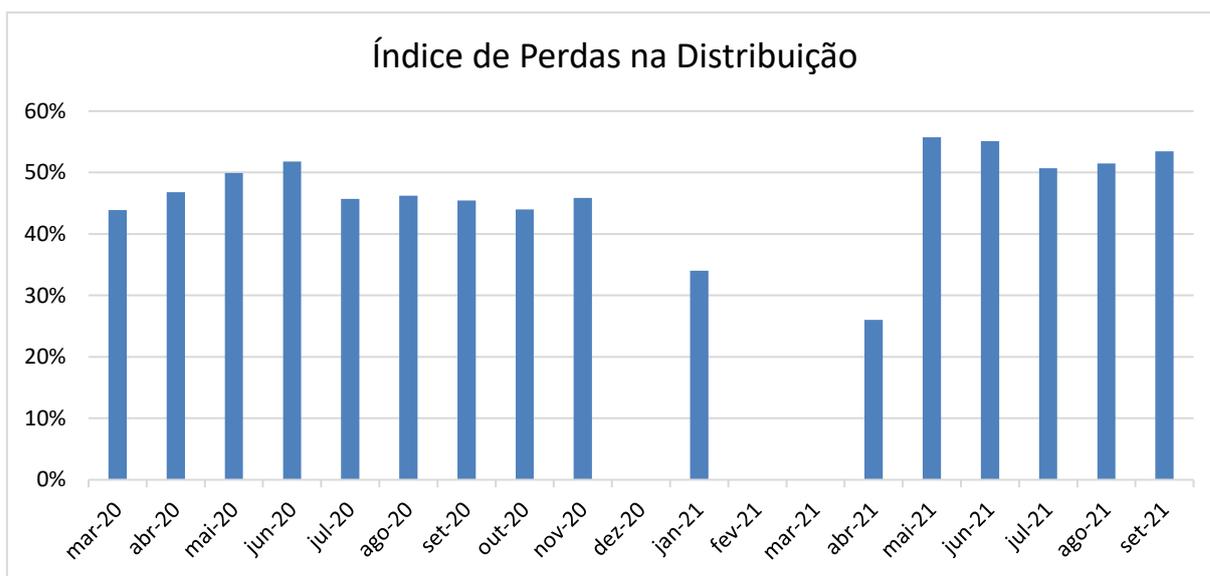
Quadro 8 – Histórico do volume de perdas.

Data	Índice de Perdas na Distribuição (%)	Índice de perdas por ligação (l/lig.dia)	Volume de água produzido (m <sup>3</sup> /mês)	Quantidade de ligações ativas de água
mar-20	44%	323,71	114.019	4.990
abr-20	47%	384,84	123.250	4.998
mai-20	50%	392,00	122.303	5.023
jun-20	52%	411,93	120.499	5.050
jul-20	46%	342,59	117.547	5.060
ago-20	46%	345,35	117.677	5.083
set-20	45%	349,28	117.606	5.102
out-20	44%	330,76	119.635	5.135
nov-20	46%	342,03	115.222	5.151
dez-20				5.177
jan-21	34%	252,91	108.101	5.190
fev-21				5.213
mar-21				5.233
abr-21	26%	153,04	92.369	5.237
mai-21	56%	508,32	148.190	5.244
jun-21	55%	459,42	131.256	5.248
jul-21	51%	411,70	132.645	5.268
ago-21	51%	428,80	136.188	5.272
set-21	53%	454,48	134.784	5.285
<b>média</b>	<b>47%</b>	<b>368,20</b>	<b>121.956</b>	<b>5.156</b>

Fonte: acervo do autor, 2021

Conforme ilustrado no Gráfico 1, em dezembro de 2020, fevereiro e março de 2021, os valores do índice de perdas não foram calculados, portanto utilizou-se de dados dos meses anteriores para fazer a média de perdas e aplicar no modelo hidráulico.

Gráfico 1 - Índice de perdas na distribuição.

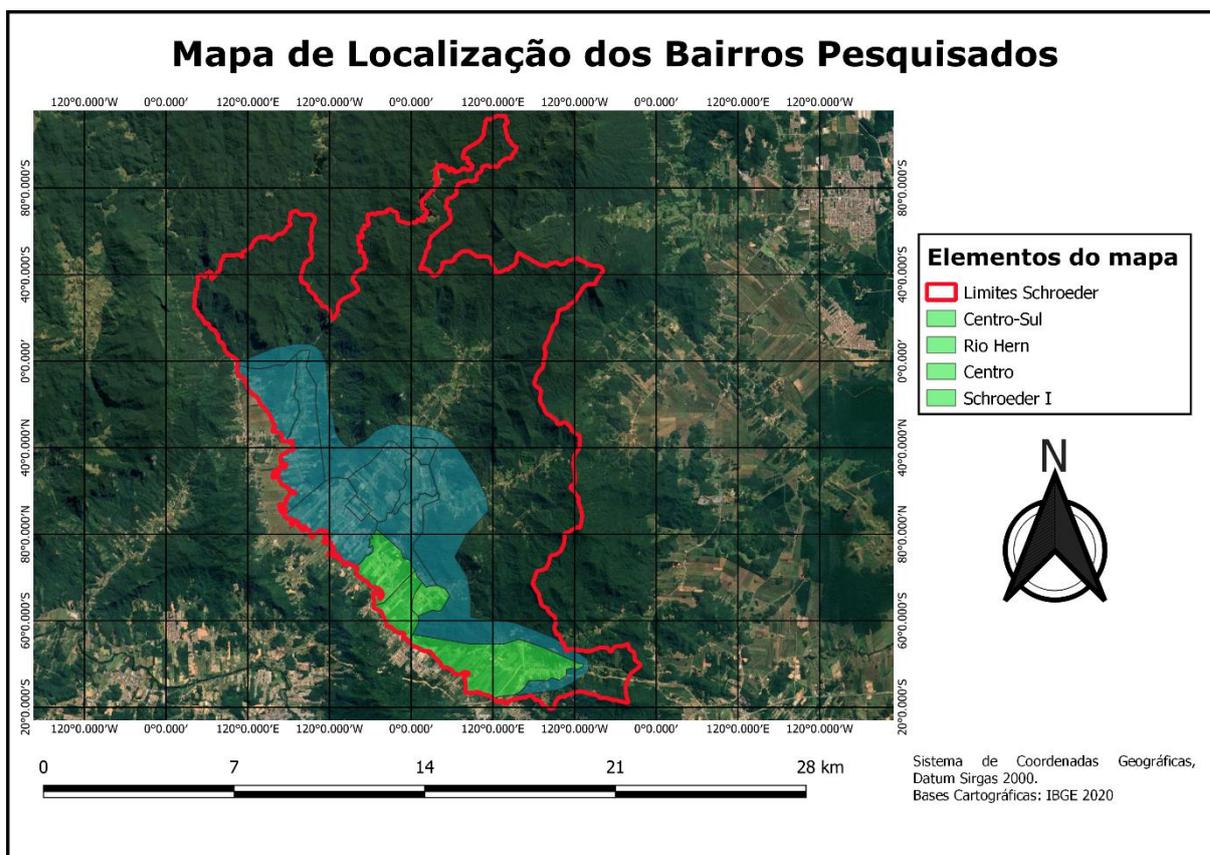


Fonte: acervo do autor, 2021

De acordo com a Águas de Schroeder, no segundo semestre de 2021 está sendo realizado uma varredura com geofone na cidade com intuito de encontrar vazamentos inerentes da rede de distribuição, repará-los, e por consequência reduzir o índice de perdas na distribuição.

Na Figura 19, pode-se observar o mapa de localização dos bairros em Schroeder onde foi feita a pesquisa de vazamentos e fraudes até o momento. Os bairros foram: Centro, Centro-Sul, Rio Hern e Schroeder I.

Figura 19 - Localização dos bairros pesquisados.



Fonte: acervo do autor, 2021

Ao total foram localizados 44 vazamentos e fraudes nos 4 bairros, contemplando 54,757 km de extensão de rede, sendo um índice de 0,8 vazamentos ou fraudes localizados por quilometro de rede.

Como já exposto neste trabalho, os vazamentos na rede de distribuição aumentam o volume de água perdida, conseqüentemente elevando o índice de perdas na distribuição. Todo o volume de água consumido pelas ligações clandestinas, não é contabilizado pela concessionária de água, pois a água consumida não é medida por um hidrômetro, sendo assim, a água consumida por ligações clandestinas é considerada como perda para o SAA.

De acordo com a Águas de Schroeder, os vazamentos localizados já estão sendo reparados pela equipe de encanadores de Schroeder e as fraudes localizadas também estão sendo resolvidas da melhor forma possível.

Portanto, entende-se que com as ações de reparo aos vazamentos e eliminação das fraudes encontradas, o índice de perdas de Schroeder terá uma redução para o ano de 2022.

O Quadro 9, ilustra o volume de perdas calculado para o cenário de 2022, incluindo o índice de perdas e crescimento no número de ligações.

Quadro 9 - Perdas aplicadas no modelo hidráulico.

Ano	V.produzido (m³/mês)	Ligações ativas de água	Índice de Perdas (litros/ligação.dia)	V. Perdas de Água (m³/mês)	Perdas Percentuais	Q perda (l/s)
2021	121.956	5.156	368	56.953	47	21,97
2022	123.212	5.209	315	49.257	40	19,00

Fonte: acervo do autor, 2021

Posto que a tendencia é que o índice de perdas de Schroeder diminua após a busca por vazamentos com o geofone, optou-se por reduzir o índice de perdas utilizado na modelagem hidráulica no cenário de 2022 de 47% para 40%.

Segundo o SNIS (2019), o índice de perdas de água no Brasil está em 39,2 %, sendo que em Schroeder, de acordo com os dados dos últimos doze meses até outubro de 2021, o índice de perdas médio está em 47 %, valor esse que está muito elevado para o padrão brasileiro, conforme visto no Quadro 10.

Quadro 10 - Índice de perdas na distribuição nas regiões brasileiras.

Região	IN 049 - Índice de perdas na distribuição
Sul	37,46%
Sudeste	36,06%
Centro-Oeste	34,38%
Norte	55,21%
Nordeste	45,67%

Fonte: Modificado SNIS, 2021

Observa-se também que no Sul do país, região onde se encontra Schroeder, o índice de perdas na distribuição é ainda menor em relação ao parâmetro nacional, o que realça a necessidade de diminuição no índice de perdas do município.

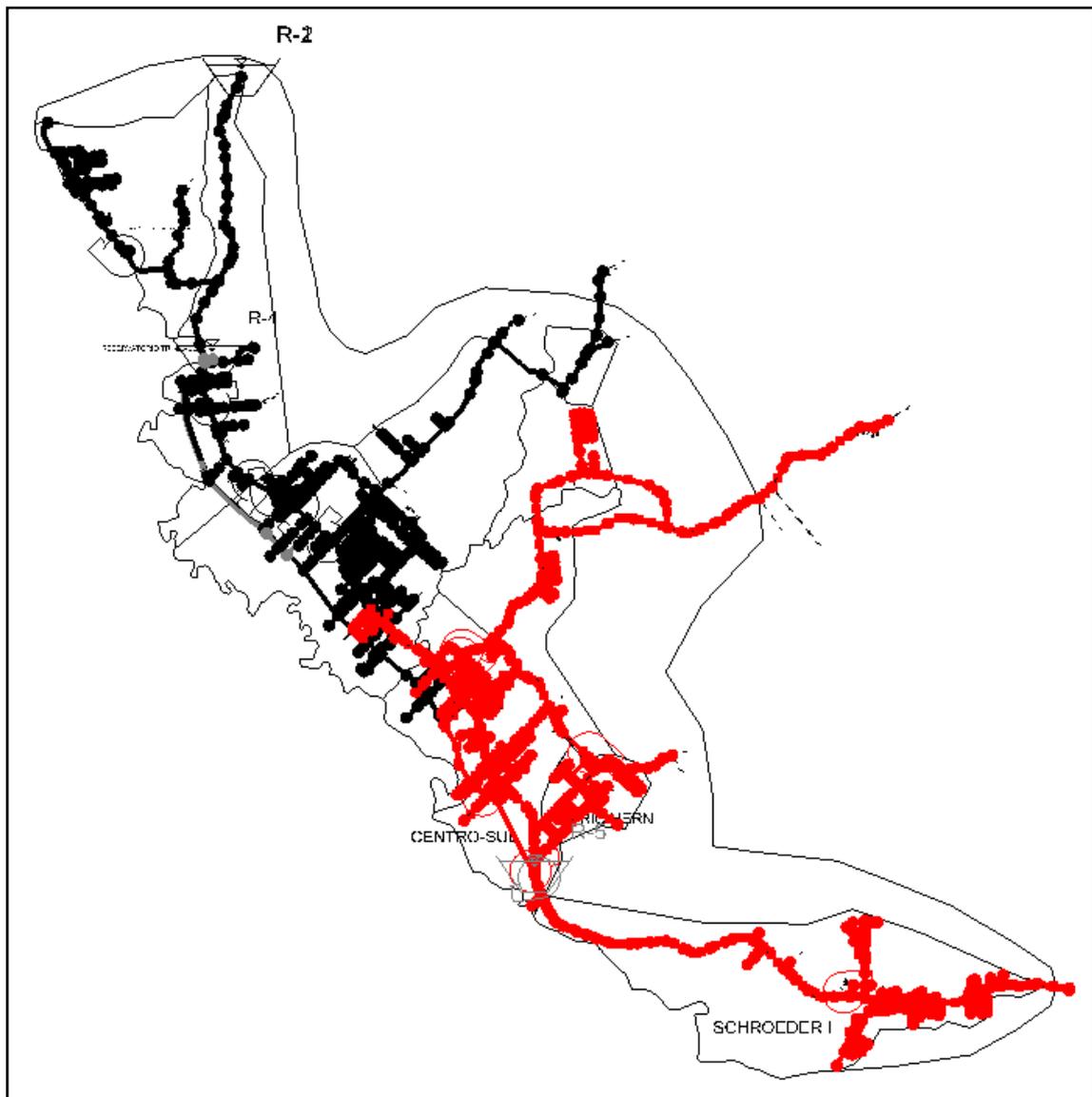
Visto que os índices de perdas de Schroeder estão elevados em relação ao padrão brasileiro, principalmente em relação a região sul, compreende-se que Schroeder deve reduzir os seus índices de perdas para alcançar os padrões nacionais.

Porém, como já foi citado anteriormente, entende-se que a partir da quantidade de vazamentos e fraudes encontrados até o momento no sistema localizados através de ações proativas, admite-se que no ano de 2022 o índice de perdas de Schroeder irá diminuir.

## 6.8 ANÁLISE DO MODELO HIDRÁULICO

Após a importação de todos os elementos para o modelo hidráulico, foram realizadas as primeiras análises de acordo com os resultados obtidos, e foi visto que a área de abrangência de alguns elementos do modelo estava englobando áreas muito grandes, conforme visto na Figura 20, a área de abrangência da bomba 8 – Leopoldo Fiedler.

Figura 20 – Área de abrangência bomba 8 com erros no cadastro.



Fonte: acervo do autor, 2021

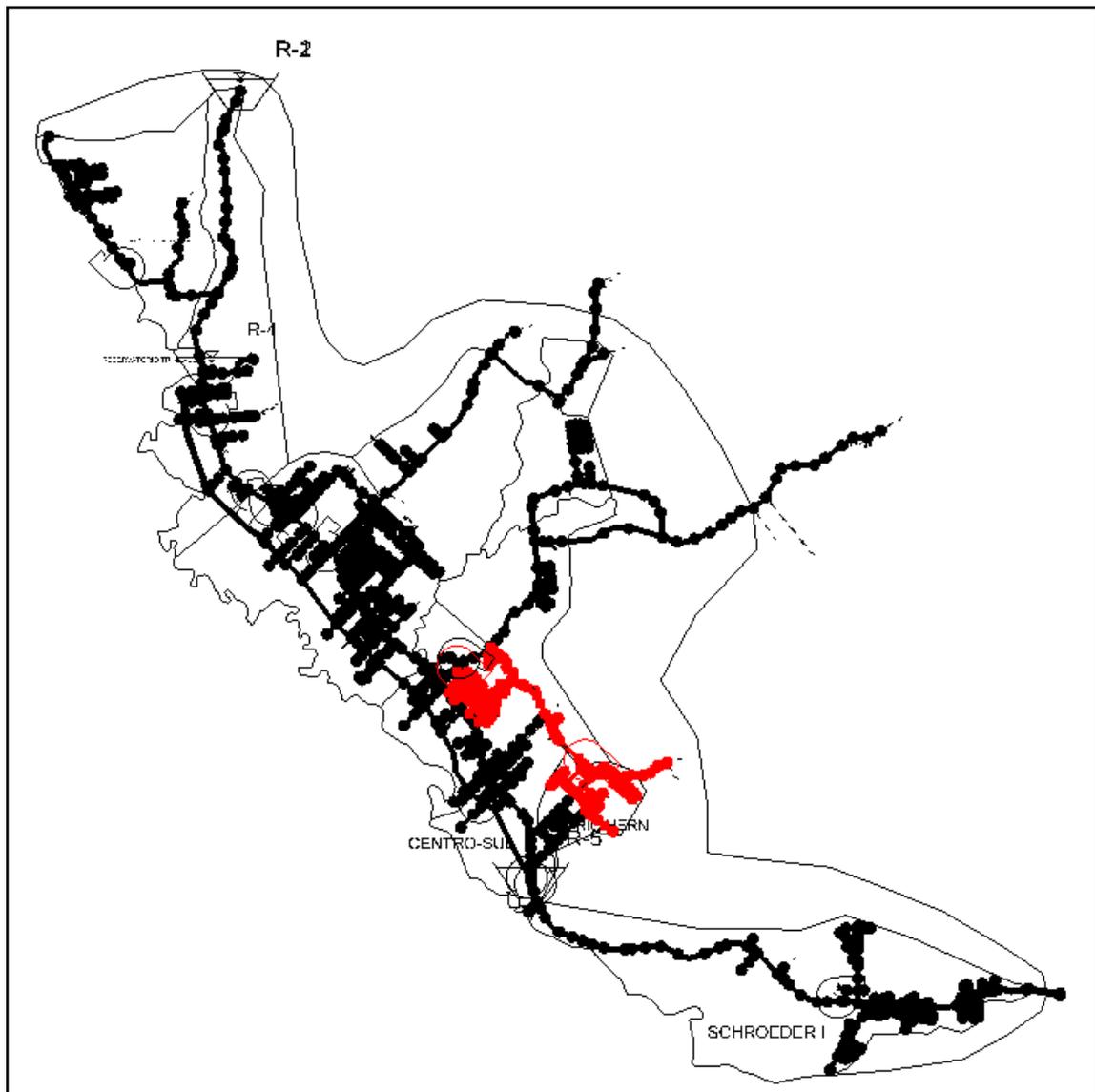
Nota-se que o erro nas áreas de abrangência é devido ao cadastro desatualizado que não apresentava a localização dos registros de controle na rede de distribuição de água.

Um cadastro técnico atualizado sempre irá facilitar na montagem do modelo hidráulico de um SAA, visto que um modelo hidráulico retrata a realidade em um *software*, é de extrema importância saber a localização e como estão operando todos os registros na rede.

Para validar as áreas de abrangência e setores do SAA, foram realizadas reuniões com o pessoal da Águas de Schroeder. Durante as reuniões foram avaliadas as áreas de abrangência de todos os reservatórios e bombas do sistema através da ferramenta “*trace downstream*” pelo WaterGEMS.

Na Figura 21, pode-se observar a área de abrangência da bomba 8 – Leopoldo Fiedler após a validação do setor com os responsáveis pelo cadastro técnico de Schroeder. Foram inseridos novos registros fechados no modelo hidráulico para delimitar as áreas de abrangência.

Figura 21 – Área de abrangência bomba 8 após validação de cadastro.



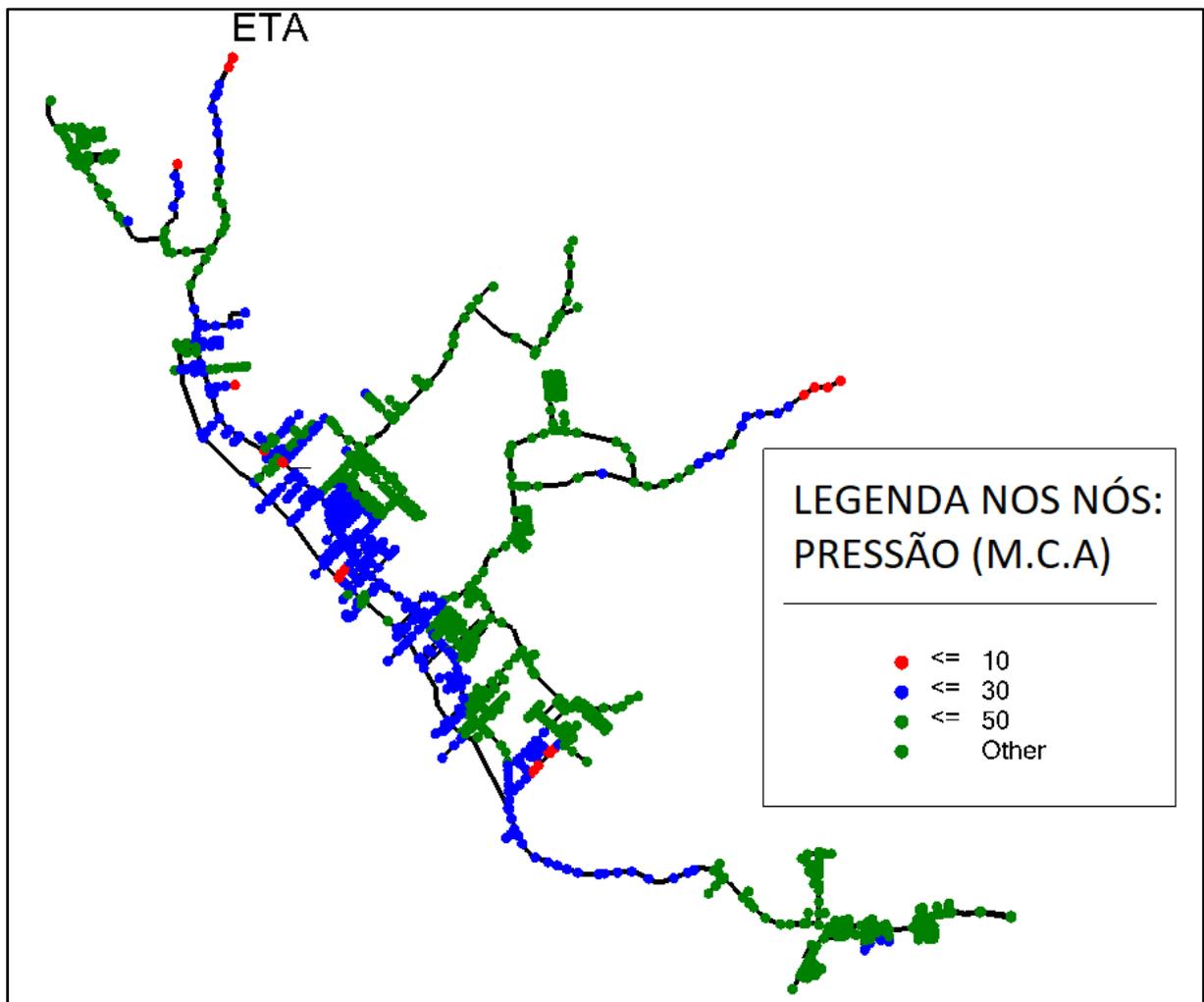
Fonte: acervo do autor, 2021

Pode-se observar que após a delimitação da área de abrangência da bomba 8, o setor ficou menor, o que facilita a análise de vazão de pressão dentro do setor.

Na Figura 22, pode-se observar os dados do modelo hidráulico no cenário de 2021 com vazão média. Os pontos indicam a pressão calculada pelo WaterGEMS e a legenda por cor nos nós está dividida em três categorias, sendo que o vermelho indica as pressões baixas até 10 m.c.a, o azul indica as pressões de 10 a 30 m.c.a e o verde indicando as pressões entre 30 e 50 m.c.a. Dado que de acordo com a NBR 12.218, a pressão mínima na rede de distribuição deve ser de 10 m.c.a.

Observa-se que no cenário de 2021 com a demanda média a maioria dos nós apresenta pressão igual ou maior que 30 m.c.a, todavia verifica-se que em alguns pontos mais distantes, onde as cotas são mais elevadas, foram apresentados valores de pressão abaixo de 10 m.c.a.

Figura 22 - Modelo hidráulico cenário 2021 com demanda média.



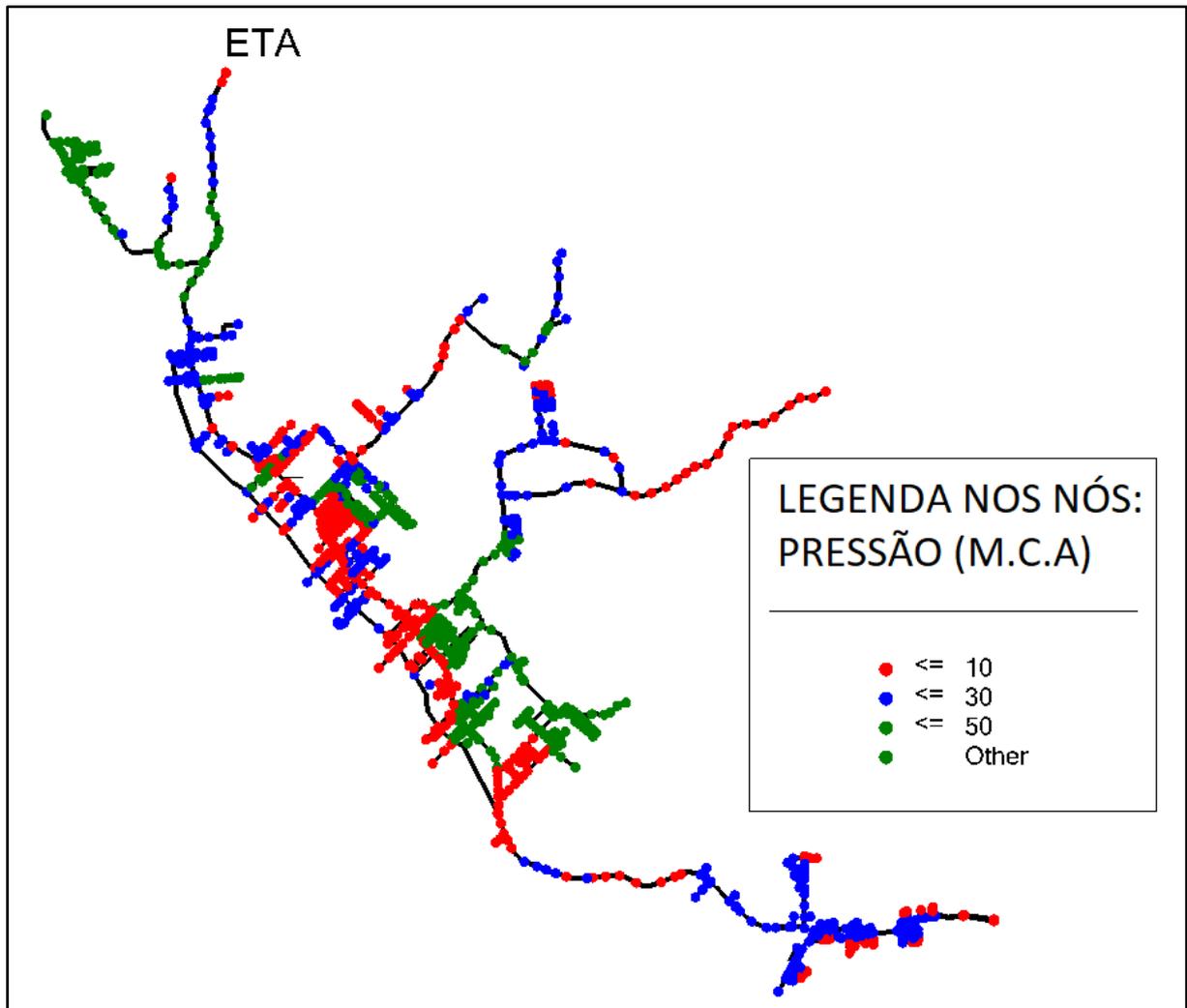
Fonte: acervo do autor, 2021

Na Figura 23, pode-se observar o modelo hidráulico no cenário de 2021 com a vazão máxima horária, os pontos estão com legenda de cor conforme na Figura 22, e como previsível, quando as demandas estiverem na máxima a pressão na rede estará na mínima, por isso, identifica-se que o modelo está apresentando pressões mais baixas em toda a rede.

Conforme dito, a pressão mínima na rede deve ser de 10 m.c.a, todavia pode-se observar que em muitos pontos da rede a pressão apresentada é igual ou menor do que a mínima exigida pela norma, indicando que a rede pode apresentar gargalos e falta d'água em diversos pontos nos horários em que a demanda está na máxima.

Os pontos que indicam pressão baixa no horário de maior consumo não necessariamente ficarão sem água durante todo o dia, mas sim no período em que a demanda em todo o sistema estiver na máxima, isso é, geralmente nos finais de semana, onde a população passa mais tempo em casa.

Figura 23 - Modelo hidráulico cenário 2021 com a demanda máxima.



Fonte: acervo do autor, 2021

Pode-se observar no Quadro 11, a quantidade de nós por intervalo de pressão e a porcentagem em relação a quantidade total de nós, conforme visto na Figura 23.

Observa-se que a quantidade de nós com pressão menor ou igual a 10 m.c.a é quase a mesma dos nós entre os outros intervalos, representando 33,9% do total de nós no cenário de 2021 com a demanda máxima.

Quadro 11 - Nós por intervalo de pressão cenário 2021 com demanda máxima.

Valor de pressão (m.c.a)	Quantidade de nós	Porcentagem
<= 10	360	33,9%
10 < x <= 30	366	34,5%
> 30	336	31,6%
<b>TOTAL</b>	<b>1062</b>	<b>100%</b>

Fonte: acervo do autor, 2021

No Quadro 12, pode-se observar a pressão média por bairro no cenário de 2021 com a demanda média e máxima horária por bairro.

Mesmo sendo observado que em diversos pontos do sistema as pressões ficam baixas no horário de demanda máxima, observa-se que a média de pressão por bairro ainda está acima dos 10 m.c.a em quase todos os bairros, isso se deve, por conseguinte de em diversos pontos da rede apresentarem pressões altas, acima de 30 m.c.a.

Quadro 12 - Pressão média por bairro cenário 2021.

Bairro	Pressão demanda média (m.c.a)	Pressão demanda máxima (m.c.a)
Schroeder I	49	14
Centro-Sul	44	22
Rio Hern	83	55
Centro-Leste	63	39
Centro	55	35
Centro-Norte	28	12
Sossego	51	31
Tomaselli	42	11
Rancho Bom	48	28
Braço do Sul	46	14
Bracinho	27	24
Itoupava-Açu	94	89
Duas Mamas	29	2
<b>Média</b>	<b>48</b>	<b>27</b>

Fonte: acervo do autor, 2021

Pode-se observar no Gráfico 2 que todos os bairros, exceto o Duas Mamas estão com a pressão média acima do exigido pela norma, tendo mais de 10 m.c.a de pressão, valor de pressão dinâmica mínima exigido pela NBR 12.218/2017.

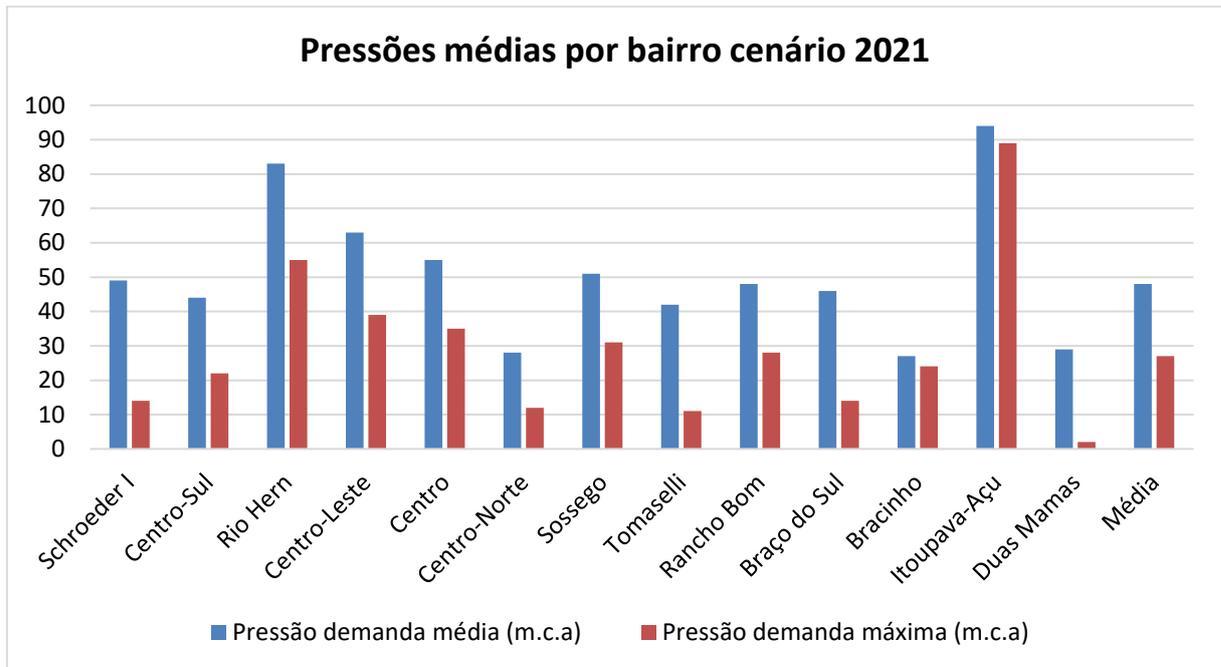
O bairro Duas Mamas, apesar de apresentar pressões abaixo da norma no período de maior consumo, ainda apresenta uma pressão média de 29 m.c.a no período de consumo médio. As pressões baixas ocorrem principalmente devido as cotas altas no bairro Duas Mamas, sendo que a diferença de cota da bomba que pressuriza água para o bairro e ponto mais alto do bairro é de aproximadamente 50 metros.

O ponto mais alto do bairro apresenta pressões baixas mesmo no cenário de demanda média, sinalizando um possível gargalo na rede de distribuição.

Como dito anteriormente, as curvas de nível utilizadas para realizar a modelagem hidráulica foram obtidas por imagem de satélite em alta qualidade, resultando em uma curva de

nível com intervalo de 5 metros entre cada curva. Para que a modelagem seja mais precisa, o ideal é utilizar curvas de nível com o menor intervalo possível, portanto a curva utilizada para realizar a modelagem pode apresentar valores de elevação imprecisos em alguns pontos.

Gráfico 2 - Pressão média por bairro cenário 2021.



Fonte: acervo do autor, 2021

Na Figura 24, observa-se o modelo hidráulico no cenário de 2022 com a demanda média após a implantação das novas obras. Os pontos estão com legenda de cor conforme as figuras anteriores.

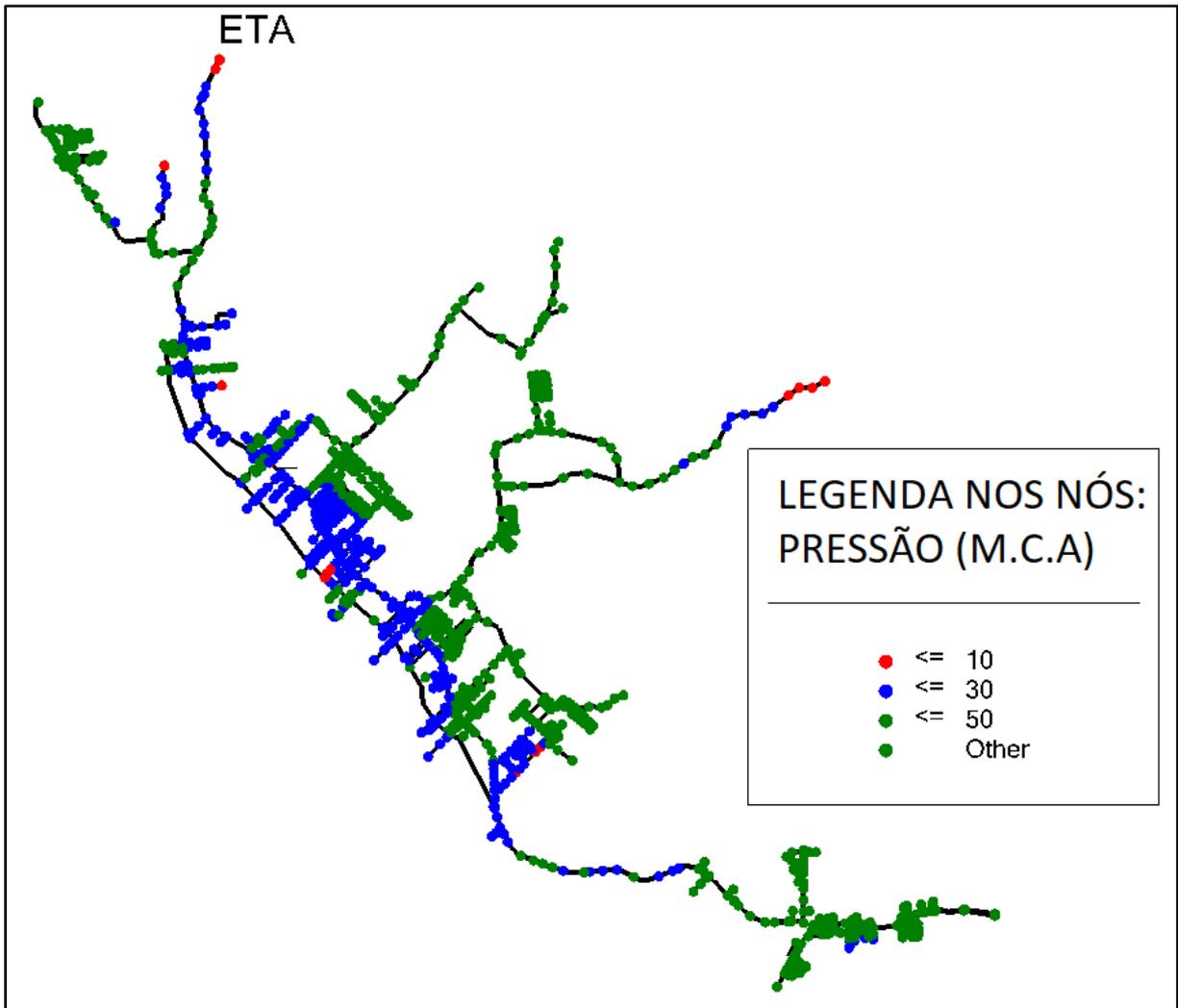
Pode-se observar que as pressões médias na rede estão mais elevadas em relação ao cenário de 2021 com a demanda média, mesmo que as demanda de água tenham aumentado devido ao crescimento populacional, isso se deve pela redução no índice de perdas, que tem um impacto direto na demanda do sistema e em razão as novas obras, que auxiliam no abastecimento de água, principalmente no horário em que a demanda está em pico.

Observa-se que no cenário de 2022 com a demanda média são localizados apenas três pontos, além dos pontos de saída da ETA, que apresentam pressões iguais ou inferiores a 10 m.c.a.

O bairro Itoupava-Açu apresenta apenas um ponto com pressão baixa, devido ao ponto estar localizado em uma cota muito elevada, em 87,28 metros de altitude e o Reservatório da ETA, que é o responsável por abastecer a região está na cota 92 metros, portanto a pressão que chega até o nó está em torno dos 4 m.c.a.

O bairro Bracinho apresenta pressões abaixo de 10 m.c.a em apenas dois pontos na mesma rua onde demonstram cotas muito elevadas. O Reservatório Trindade, que é o responsável por abastecer a região está na cota 70 metros e os pontos que apresentam pressões abaixo de 10 m.c.a estão nas cotas 60 e 65 metros.

Figura 24 - Modelo hidráulico cenário 2022 com a vazão média.



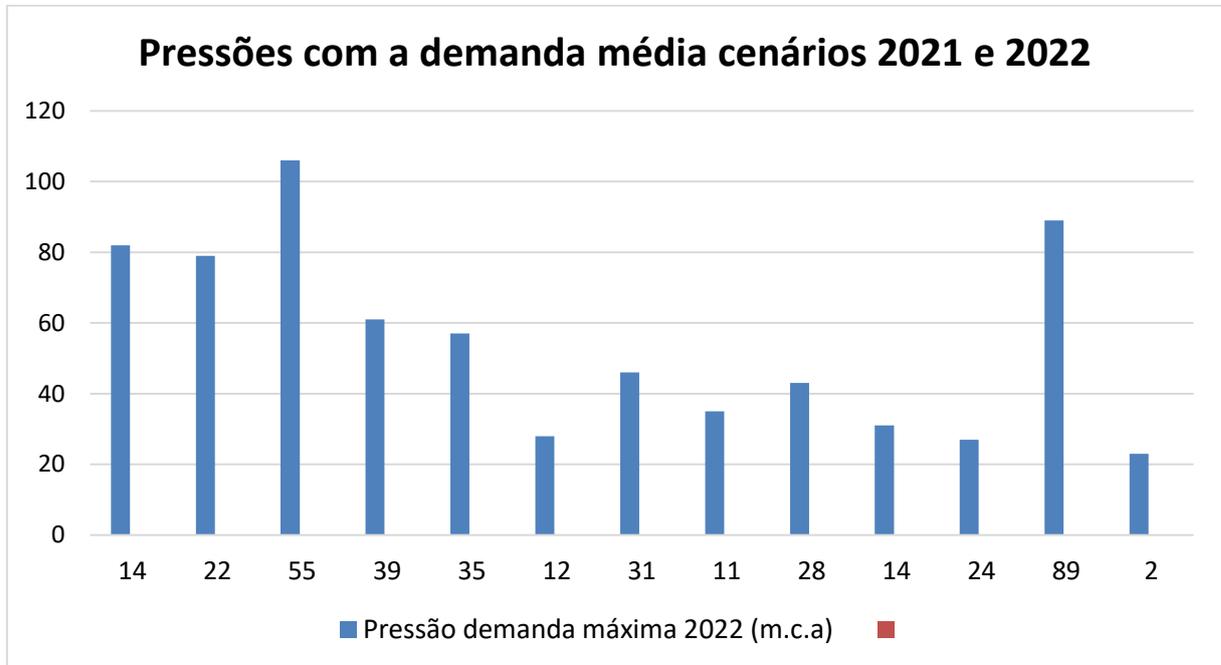
Fonte: acervo do autor, 2021

No Gráfico 3, pode-se observar as pressões médias nos cenários de 2021 e 2022 com a demanda média.

Conforme já visto a tendência para o ano de 2022 é que as pressões médias na rede aumentem devido à redução no índice de perdas e a implantação das novas obras, contudo, alguns bairros tiveram um aumento de pressão mais considerável, como o bairro Schroeder I e Centro-Sul que tiveram um aumento de 72 e 53 m.c.a, respectivamente. Já os bairros como o

Bracinho e o Centro-Norte não tiveram um aumento de pressão considerável, mantendo as pressões em torno dos 30 m.c.a.

Gráfico 3 - Comparação cenário 2021 e 2022 com a demanda média.

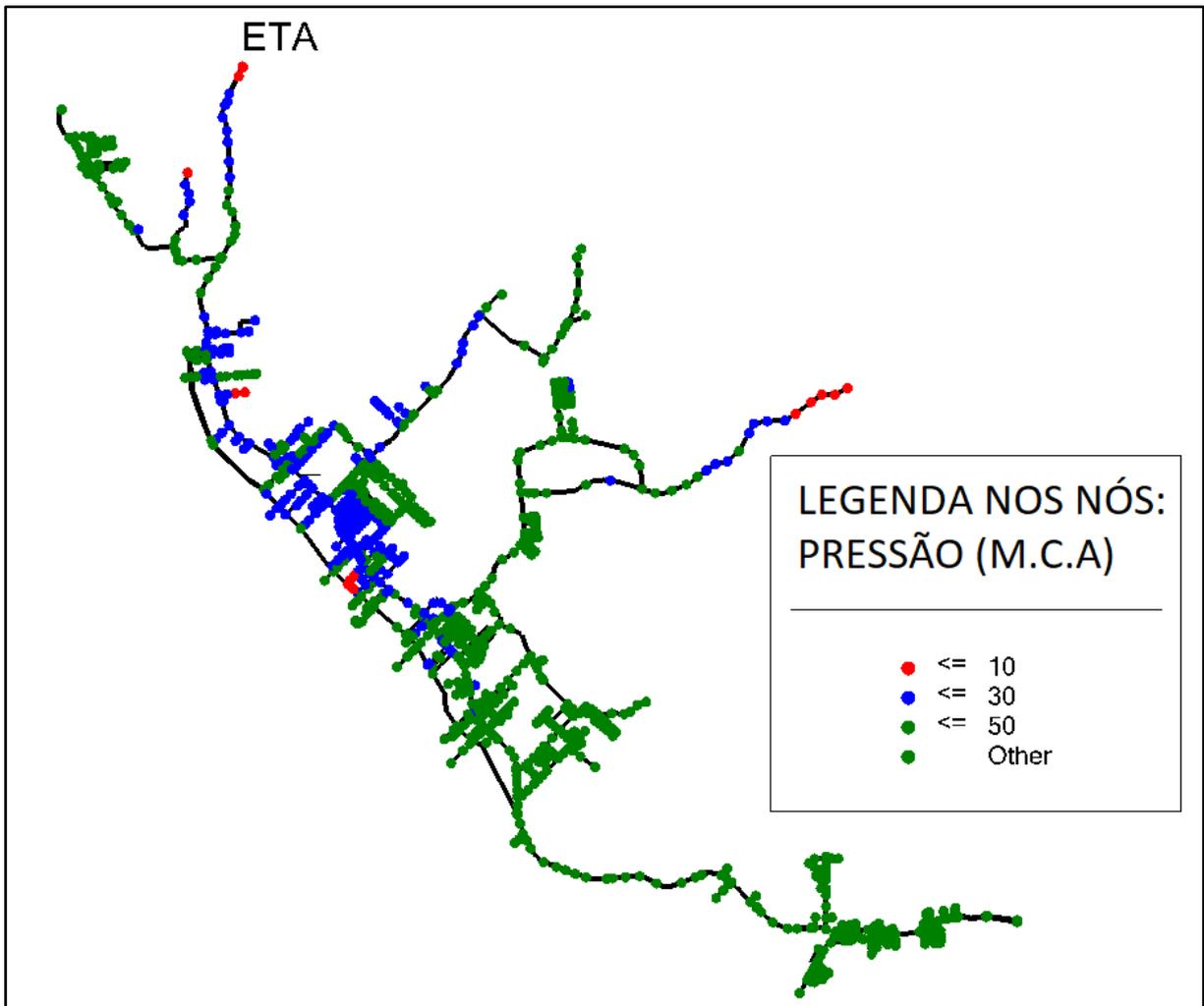


Fonte: acervo do autor, 2021

Na Figura 25, pode-se observar as pressões no modelo hidráulico no cenário de 2022 com a demanda máxima, onde as pressões estão na maioria dos pontos dentro do limite estabelecido pela NBR 12.218/2017 de 10 m.c.a.

Percebe-se que após a implantação das obras, o cenário de 2022 com a vazão máxima teve uma grande diferença de cores em relação a máxima horária em 2021, isso se deve pela utilização de dois reservatórios, que disponibilizam um total de 750m<sup>3</sup> de água, permitindo com que a água proveniente da ETA seja transportada até os bairros mais distantes, como Schroeder I, com mais facilidade.

Figura 25 – Modelo hidráulico cenário 2022 com a demanda máxima.



Fonte: acervo do autor, 2021

No Quadro 13, pode-se observar a pressão média por bairro no cenário de 2022 após a implantação das obras, com a demanda média e máxima horária por bairro.

Observa-se que as pressões no SAA após a implantação das obras se mantem muito mais estáveis durante o horário com a demanda máxima em relação a 2021. A diferença de pressão média no cenário de 2022 entre a demanda média e máxima é de 12 m.c.a. No cenário de 2021 essa diferença é de 21 m.c.a.

No cenário de 2021, o bairro Duas Mamas apresentou o menor valor de pressão média na demanda máxima, já no cenário de 2022, a pressão apresentada é de 19 m.c.a, tendo um aumento de 17 m.c.a.

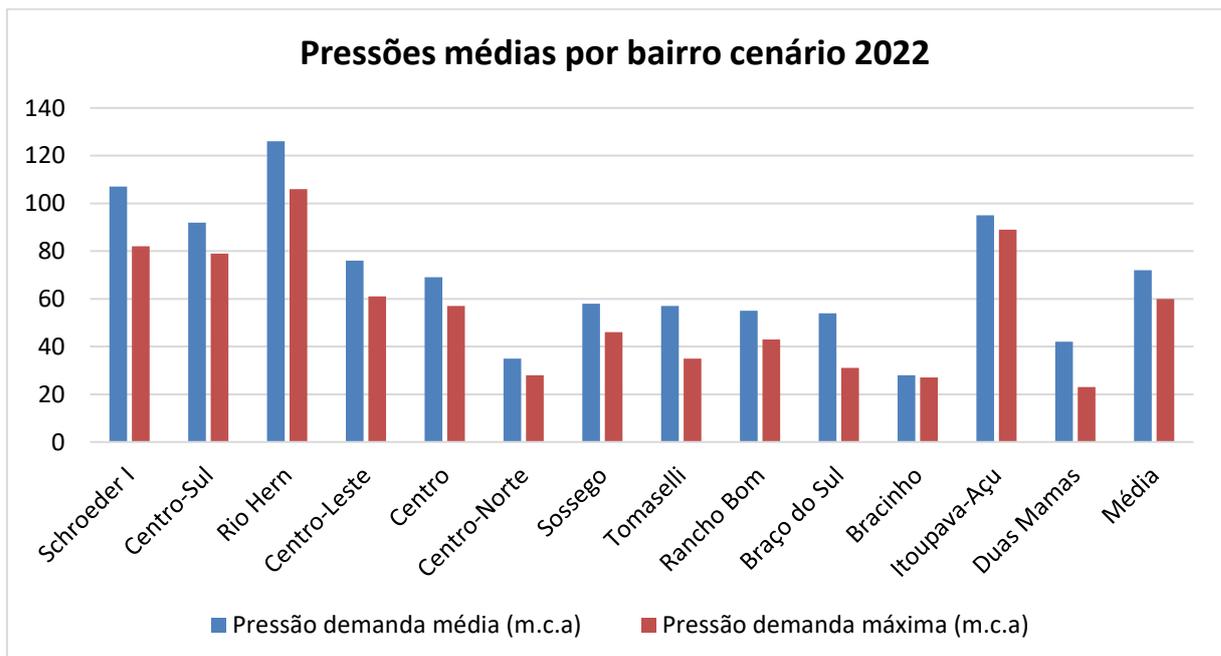
Quadro 13 - Pressão média por bairro cenário 2022.

Bairro	Pressão demanda média (m.c.a)	Pressão demanda máxima (m.c.a)
Schroeder I	107	82
Centro-Sul	92	79
Rio Hern	126	106
Centro-Leste	76	61
Centro	69	57
Centro-Norte	35	28
Sossego	58	46
Tomaselli	57	35
Rancho Bom	55	43
Braço do Sul	54	31
Bracinho	28	27
Itoupava-Açu	95	89
Duas Mamas	42	23
<b>Média</b>	<b>72</b>	<b>60</b>

Fonte: acervo do autor, 2021

O Gráfico 4 apresenta os valores de pressão média no cenário de 2022 com a demanda média e máxima. Pode-se observar que as pressões médias nos dois cenários não apresentam valores abaixo de 10 m.c.a, valor mínimo exigido pela NBR 12.218.

Gráfico 4 - Pressão média por bairro cenário 2022

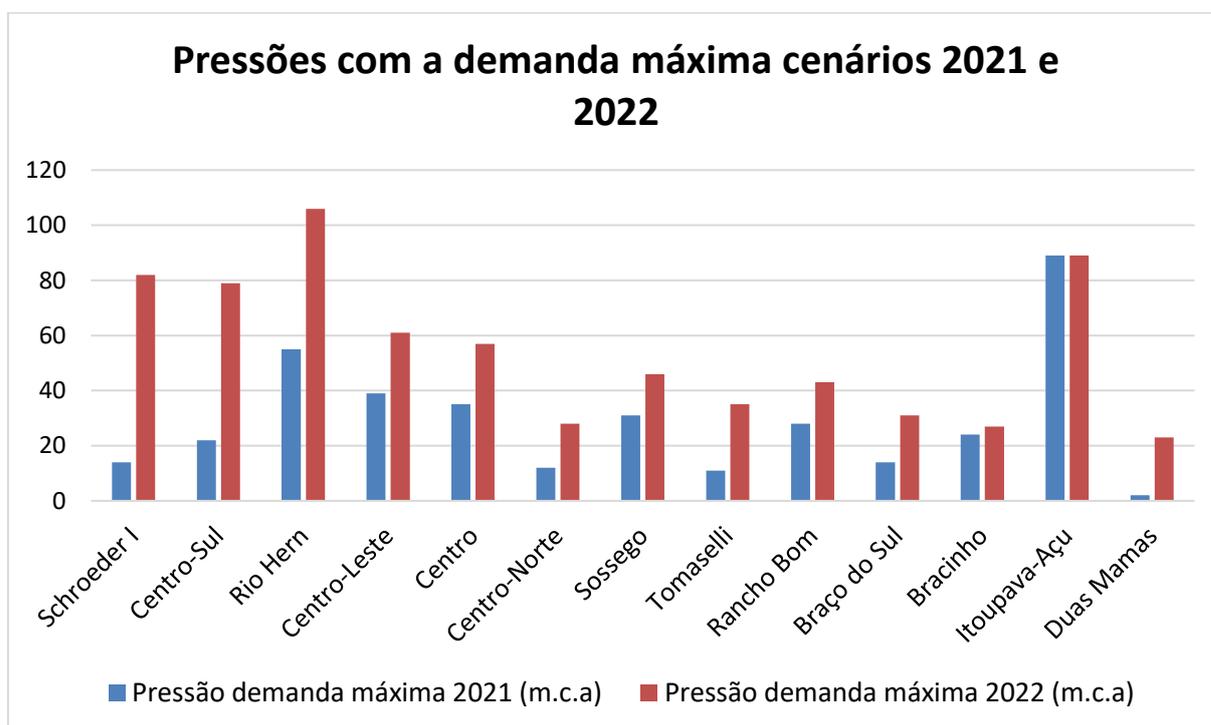


Fonte: acervo do autor, 2021

O Gráfico 5 apresenta os valores de pressão de média com a demanda máxima nos cenários de 2021 e 2022.

Pode-se observar que o cenário com a demanda máxima teve um aumento considerável nas pressões médias após a implantação das obras, sendo que o bairro Schroeder I teve um aumento de 68 m.c.a de pressão média. Apenas o bairro Itoupava-Açu não teve aumento de pressão média nos pontos no cenário com a demanda máxima.

Gráfico 5 - Comparação cenário 2021 e 2022 com a demanda máxima.



Fonte: acervo do autor, 2021

O Quadro 14 apresenta a diferença nos valores de pressão entre os cenários de demanda média e máxima de 2021 e 2022.

Observa-se que os bairros que mais foram afetados após a implantação das obras e a redução no índice de perdas foram os bairros Schroeder I, Centro-Sul e Rio Hern e os que menos tiveram diferença entre as pressões médias, foram os bairros Bracinho e Itoupava-Açu.

Quadro 14 - Diferença de pressão entre os cenários 2021 e 2022.

Bairro	Diferença de pressão com demanda média (m.c.a)	Diferença de pressão com demanda máxima (m.c.a)
Schroeder I	58	68
Centro-Sul	48	57
Rio Hern	43	51
Centro-Leste	13	22
Centro	14	22
Centro-Norte	7	16
Sossego	7	15
Tomaselli	15	24
Rancho Bom	7	15
Braço do Sul	8	17
Bracinho	1	3
Itoupava-Açu	1	0
Duas Mamas	13	21

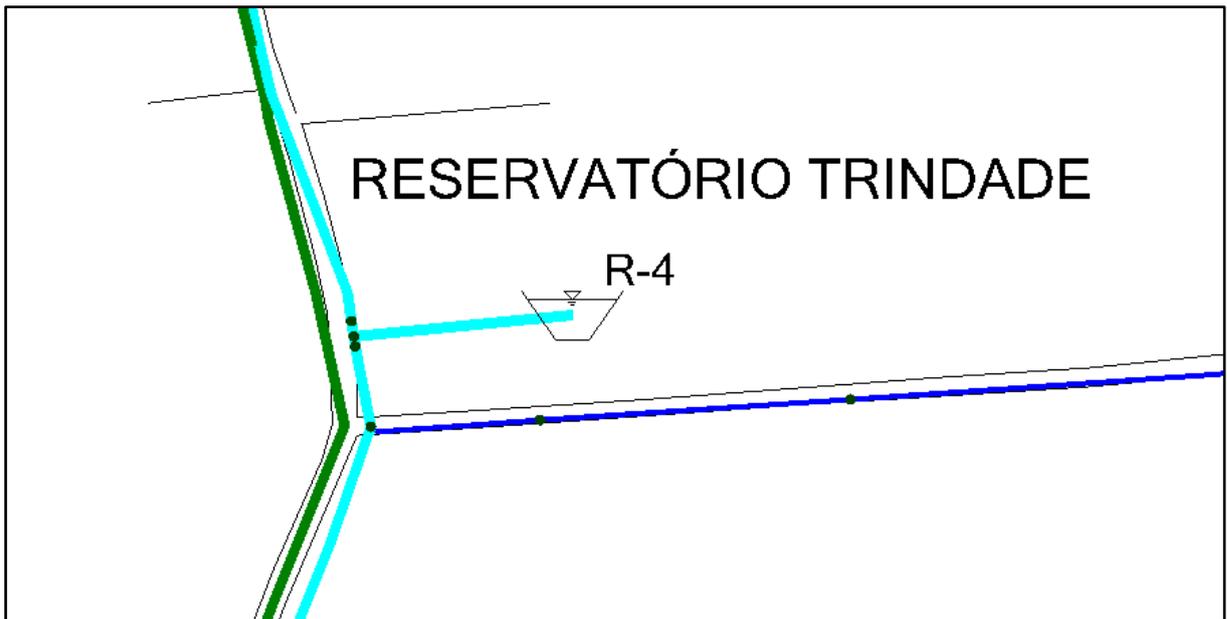
Fonte: acervo do autor, 2021

## 6.9 MODELAGEM DE OBRAS PARA 2022

Para o ano de 2022, são previstas duas obras para o SAA de Schroeder, uma delas será a ampliação de rede do Reservatório Trindade de 250m<sup>3</sup>, que será uma extensão de rede, junto com uma nova conexão de rede no reservatório Trindade. A segunda obra será a construção de um novo reservatório no bairro Centro-Sul de 500m<sup>3</sup>, junto com a implantação de uma nova bomba.

Atualmente o reservatório Trindade atua como um reservatório de sobra, sendo abastecido por gravidade pelos reservatórios da ETA nos momentos em que a demanda na rede está baixa e auxiliando na distribuição de água nos períodos de maior demanda. O reservatório está conectado na rede de distribuição por apenas um tubo de 150mm, conforme ilustrado na Figura 26.

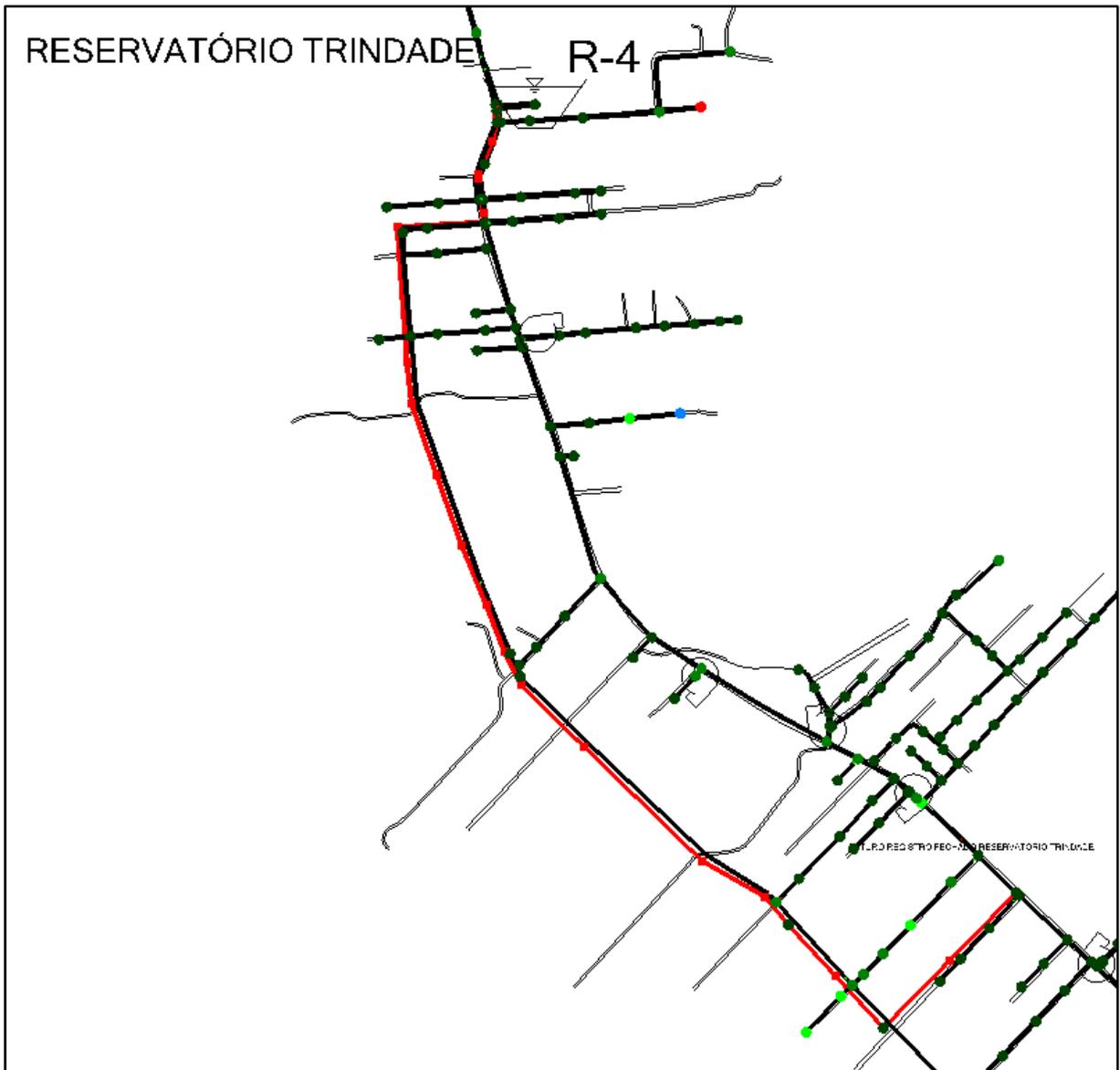
Figura 26 - Reservatório Trindade.



Fonte: acervo do autor, 2021

Para o ano de 2022, será realizada a implantação de um novo trecho na rede de distribuição de aproximadamente 3.740 metros, que sairá da rede tronco de 150mm antes do reservatório trindade e será conectada na rede mesma rede de 150mm no bairro Centro-Norte, conforme ilustrado na Figura 27 o trecho que será implantado está destacado em vermelho.

Figura 27 - Extensão de rede reservatório Trindade.



Fonte: acervo do autor, 2021

Após a finalização da obra de extensão de rede, será implantado um novo trecho de aproximadamente 105 metros que sairá do reservatório Trindade e será conectado na rede tronco de 150mm, conforme a Figura 28, fazendo com que o reservatório Trindade passe de um reservatório de sobra para um reservatório de passagem.

Figura 28 – Obra futura reservatório 4.



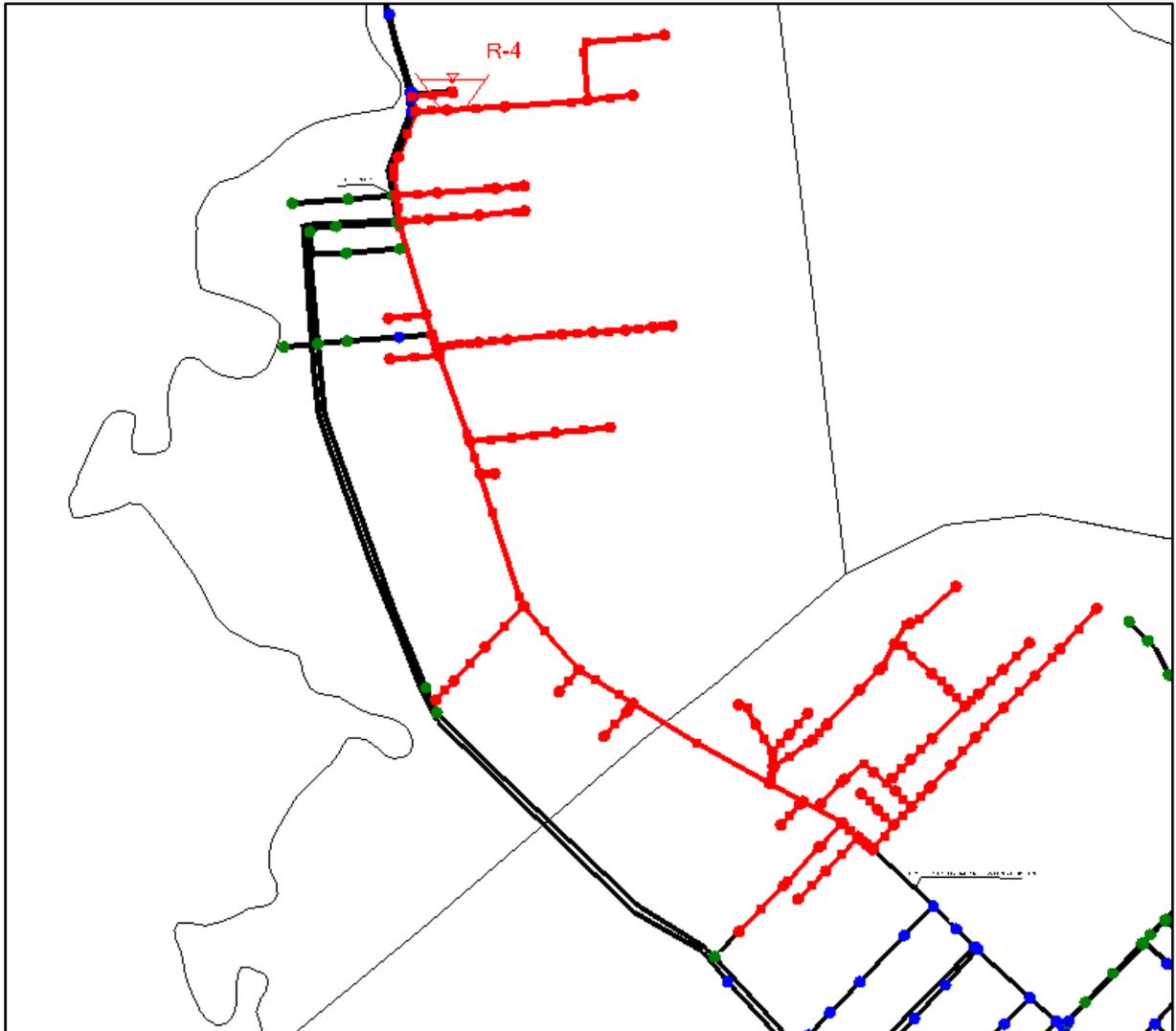
Fonte: acervo do autor, 2021

Percebe-se que após a implantação da conexão do trecho que ligará o reservatório Trindade na rede foi inserido um registro fechado para que a água passe pelo reservatório antes de abastecer o setor, que será delimitado aproximadamente 2.553 metros após o reservatório Trindade, conforme visto na Figura 29.

Com a criação do novo setor o uso do reservatório Trindade, que antes tinha uma grande área de abrangência, passará a ser exclusivo, garantindo assim um volume de água constante para o setor de abastecimento, evitando a possível falta d'água nos horários de pico.

A extensão de rede, junto com a delimitação do novo setor garantirá um aumento de pressão na rede para os próximos setores. O ponto em que a extensão de rede foi conectada teve um aumento de 6 m.c.a no cenário com a demanda média e 15 m.c.a no cenário com a demanda máxima.

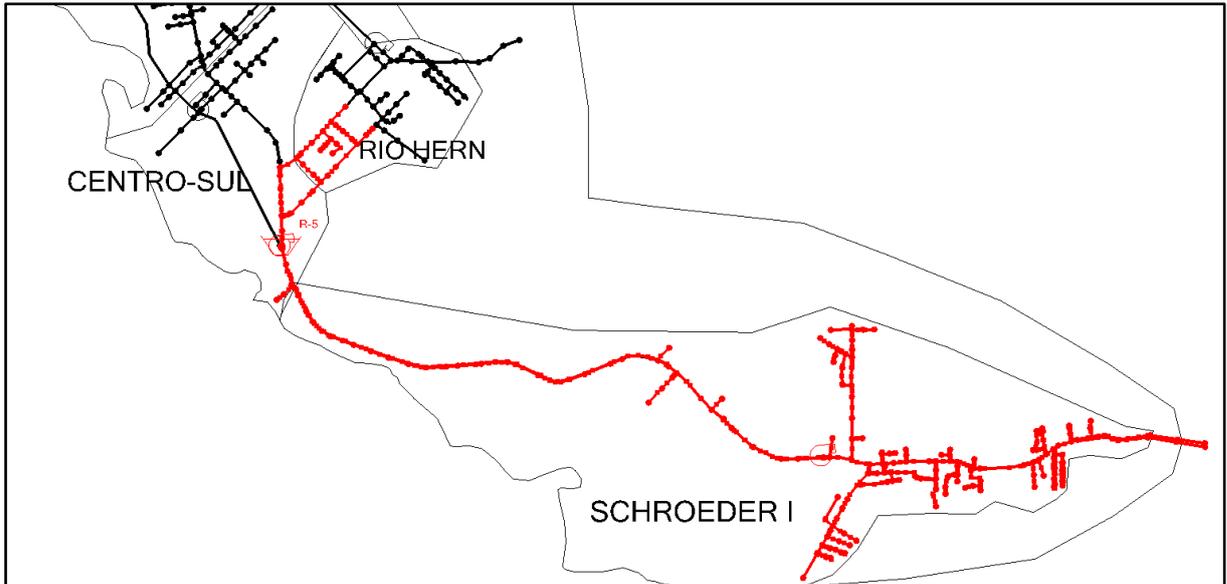
Figura 29 - Novo setor após finalização das obras.



Fonte: acervo do autor, 2021

Também no ano de 2022, será implantado um novo reservatório, com o objetivo de aliviar pressões baixas no sistema nos dias de maior consumo. Conforme ilustrado na Figura 30, o reservatório abastecerá por completo o bairro Schroeder I, e parcialmente os bairros Centro-Sul e Rio Hern.

Figura 30 - Área de abrangência futuro reservatório.



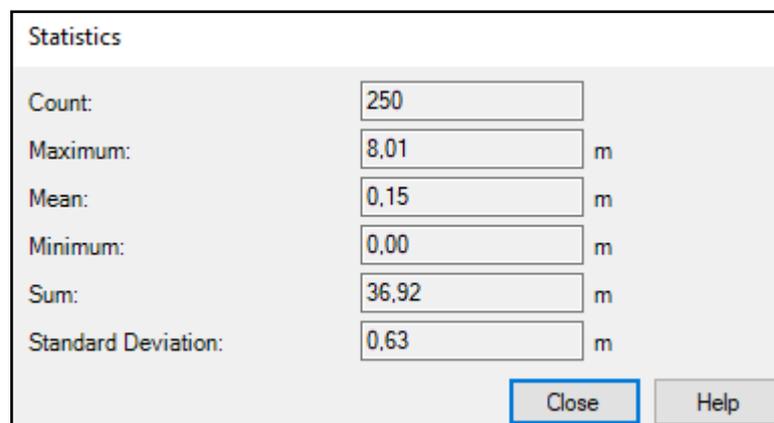
Fonte: acervo do autor, 2021

#### 6.10 DIMENSIONAMENTO DE BOMBA PARA RESERVATÓRIO

Após a construção do reservatório R5, será necessário a instalação de uma nova bomba, que atenda as demandas de pressão e vazão no sistema. Dito isso, foi realizado o dimensionamento de uma nova bomba que atenda as demandas do setor do reservatório R5.

Para saber a altura manométrica que a bomba precisará operar, buscou-se o valor de perda de carga em todos os tubos do setor de abrangência do reservatório, conforme Figura 31, onde pode-se observar a soma da perda de carga em todos os tubos.

Figura 31 - Perda de carga na tubulação.



Fonte: acervo do autor, 2021

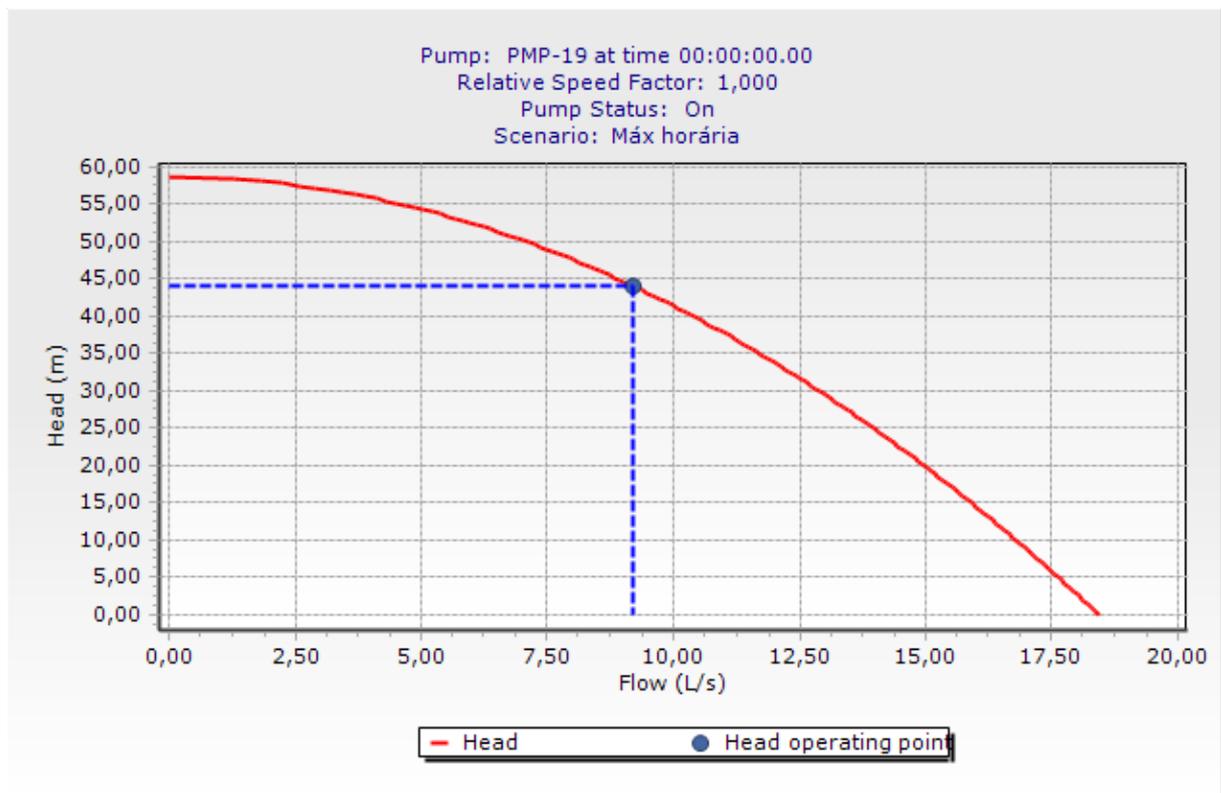
Além da perda de carga nos tubos, foi pegado a altura do ponto mais alto dentro do setor de abastecimento do Reservatório 5, com altura de 68,65 metros e diminuiu da cota da bomba de 35 metros. Portanto o valor de altura manométrica total na bomba resultou na soma da perda de carga nos tubos com a diferença de cota entre o ponto mais alto e a bomba, resultando em 70,65 metros, conforme ilustrado na equação abaixo:

$$\text{perda de carga (10,54)} + \text{diferença de cota (68,65 - 35)} = 43,88 \text{ metros}$$

Para a escolha da vazão de operação da bomba, observou-se a vazão demandada logo após o reservatório 5, no cenário de vazão máxima, obtendo o valor de 9,21 l/s.

Na Figura 32, pode-se observar o ponto de operação da bomba no cenário de vazão máxima dentro do modelo hidráulico.

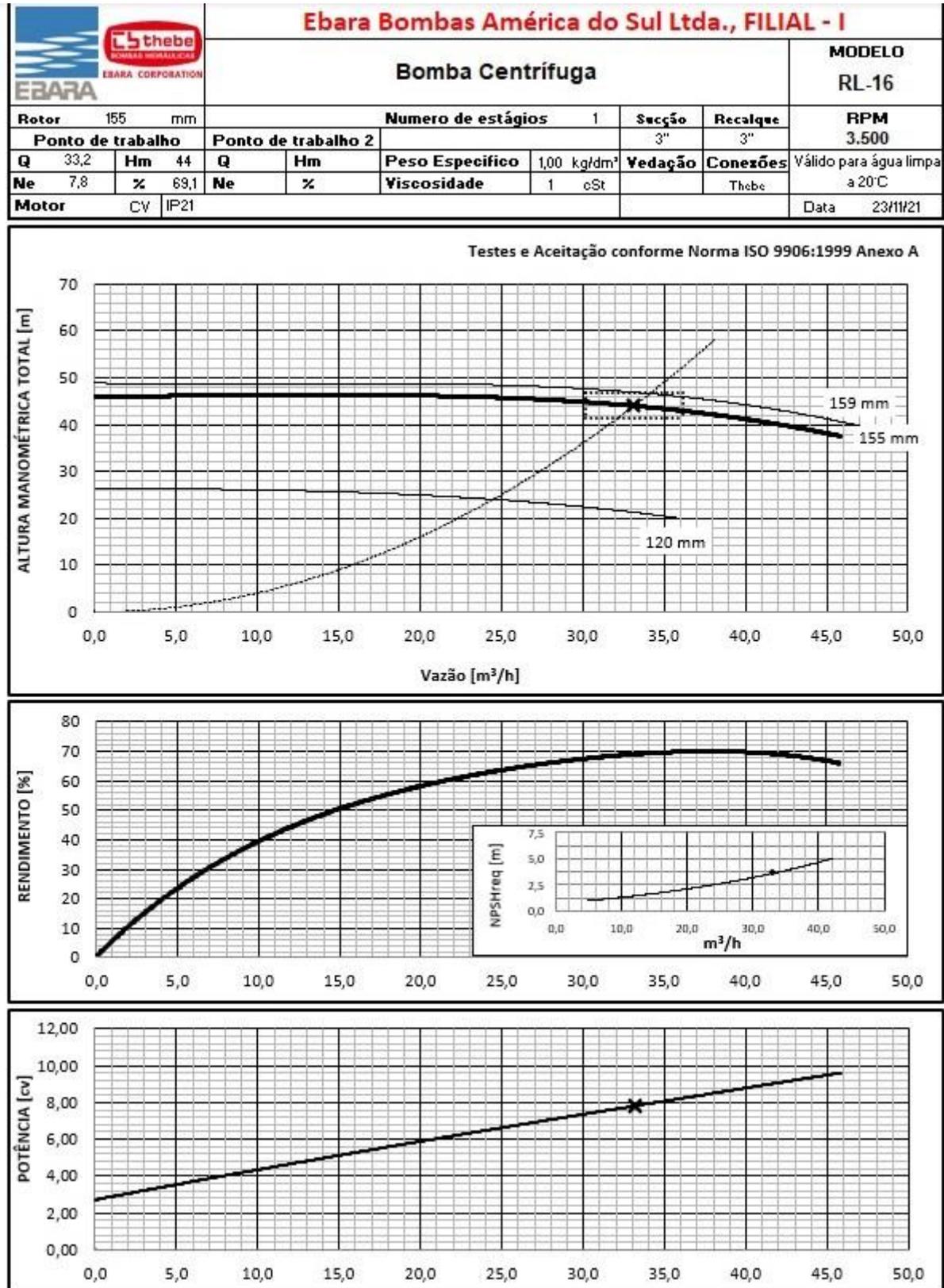
Figura 32 - Ponto de operação da bomba.



Fonte: acervo do autor, 2021

Para a escolha da bomba, utilizou-se o material de dimensionamento de bombas da EBARA. Conforme pode se observar na Figura 33, a bomba escolhida foi a de modelo RL – 16 da EBARA, além disso é possível visualizar as curvas de altura manométrica, rendimento e potências da bomba.

Figura 33 - Bomba escolhida.



Fonte: EBARA, 2021

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica sugerido que a Águas de Schroeder realize investimentos em novos macro medidores para a ETA e a instalação destes na entrada de cada setor, para que possa obter com mais precisão os valores de quantidade de água produzida e o volume de água que entra em cada setor. Podendo assim fazer uma análise mais exata sobre cada setor, focando os esforços nos setores em que apresentam mais problemas.

Além disso, sugere-se que a companhia de Águas de Schroeder realize a medição de pressão e vazão em diversos pontos da rede para que seja possível realizar a calibração do modelo hidráulico, podendo fazer o modelo chegar a valores mais próximos da realidade.

De acordo com as características do SAA de Schroeder, recomendam-se as seguintes ações para melhoria do sistema:

- Estudo da substituição de bombas para diminuição das variações de pressão: Aplicar testes no modelo hidráulico com intuito de dimensionar bombas que atendam as áreas de abrangência operando com a vazão e pressão ideal;
- Melhoria de cadastro: Atualizar o cadastro digital do SAA, com intuito de facilitar o entendimento do sistema e a realização de trabalhos futuros;
- Aprimoramento da macromedição e micromedição: Realizar o estudo de troca de macromedidores no sistema, assim como a instalação de novos macromedidores na entrada dos setores. Além disso, realizar um estudo do dimensionamento de hidrômetros para grandes consumidores e a troca de hidrômetros antigos, que podem apresentar valores de medição imprecisos;
- Revisão de setorização: Realizar estudos para avaliar a possibilidade da realização de novos setores, com a finalidade de reduzir as pressões altas em certos pontos da rede, reduzir o número de bombas e otimizar a utilização dos reservatórios;
- Análise de pressão e índice de perdas por setor: Avaliar as variações de pressão e o índice de perdas por setor a fim de otimizar os esforços nos setores que apresentarem mais problemas.

A partir dos dados de cadastro técnico de redes, consumo de água georreferenciado dos últimos 12 meses disponibilizados pela Águas de Schroeder, e através da construção das curvas de nível por MDE, além de reuniões com a equipe técnica de Schroeder para validar a setorização da rede de distribuição de água, foi possível criar o modelo hidráulico do SAA de Schroeder.

Com base no trabalho de modelagem realizado sobre o SAA de Schroeder foi possível realizar um estudo sobre o sistema antes e após a construção das novas obras, através dos resultados apresentados pelo WaterGEMS, a fim de localizar possíveis gargalos na rede. Entende-se que após a implantação destas obras, os gargalos encontrados de pressão baixa e possíveis falta d'água serão amenizados.

O modelo hidráulico no cenário de 2021, com a demanda máxima, apresentou pressões abaixo de 10 m.c.a em diversos pontos da rede, identificando possíveis gargalos no sistema. Porém, foi visto que no cenário de 2022, após a implantação das obras o sistema se comporta de maneira adequada, mesmo em horários de demanda máxima, mantendo as pressões na rede acima do exigido pela NBR 12.218.

## 8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Sonia Maria. Monitoramento da qualidade das águas de fontes alternativas de abastecimento do Bairro dos Ingleses-Florianópolis/SC. In: **SEMINÁRIO DE PESQUISA, extensão e inovação do IFSC-2014**. 2014.

ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água**: 2015. São Paulo. 95 p.

**BENTLEY WATERGEMS v8i Guia Rápido do Usuário**, 2014.

Brasil. Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa, 2012.

CAVALCANTE, Thamires Ximenes. **Análise hidráulica da rede de abastecimento de água de um município de médio porte**, Crateús-CE. 2019.

COELHO, Sérgio Teixeira; LOUREIRO, Dália; ALEGRE, Helena. Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

DAVIS, Mackenzie L.; MASTEN, Susan J. **Princípios de engenharia ambiental**. 3 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 4.ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, FUNASA. 2006.

**FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE)**. Disponível em: [www.seade.gov.br](http://www.seade.gov.br), acesso em 20 de setembro de 2021.

GABRIEL, Dayana Karla de Souza. Dimensionamento de uma rede de abastecimento de água de uma área delimitada do município de Japi-RN com a utilização do Sistema UFC. 2018.  
HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de. (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano**. v.1. 3.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

JANNUZI, Antonio Cezar. **Regulação da qualidade de energia elétrica sob o foco do consumidor**. 216 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) -Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

KOBIYAMA, Masato; CHECCHIA, Tatiane; SILVA, Roberto Valmir da. **Tecnologias alternativas para aproveitamento de águas**. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2005.

MANZI, Daniel. **A hidráulica de todo dia no saneamento**. 1.ed. – Curitiba: Appris, 2020

MONTENEGRO, Leonardo Leite Brasil. **Eficiência hidráulica e energética da operação do bombeamento para o abastecimento do bairro de Mangabeira em João Pessoa**. 2009.

ONU. Organização das Nações Unidas – Brasil. **Relatório de painel internacional pede ‘mudança fundamental’ na gestão da água**. 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/relatorio-de-painel-internacional-pede-mudanca-fundamental-na-gestao-da-agua/>>. Acesso em: 30 jul. 2020.

PASINI, Fernando; DAMKE, Taiara. A importância da potabilidade da água no saneamento básico para a promoção da saúde pública no Brasil. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 13, n. 1, p. 8-15, 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SCHROEDER; **Plano Municipal de Saneamento Básico**, Santa Catarina, 2014.

SALVINO, Moisés Menezes; CARVALHO, Paulo Sergio Oliveira; GOMES, Heber Pimentel. **Calibração multivariada de redes de abastecimento de água via algoritmo genético multiobjetivo**, ABES, v. 20, n. 3, p. 503-512.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. **Guia do cliente, 2012**. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

SARZEDAS, Guaraci Loureiro; **Planejamento para a substituição de tubulações e sistemas de abastecimento de água. Aplicação na rede de distribuição de água da região metropolitana de São Paulo** / G.L.Sarzedas – ed.rev – São Paulo, 2009. 113p.

SHAMMAS, Nazih K.; WANG, Lawrence K. **Abastecimento de água e remoção de resíduos**. Rio de Janeiro: GEN, 2013.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

XAVIER, João Pedro Ilha. **Verificação das pressões disponíveis nos pontos de alimentações prediais após a expansão da rede de abastecimento público de água do setor de indústria do Gama**. Brasília, 2015.