



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO  
PERNAMBUCANO  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL  
CAMPUS SERRA TALHADA**

**CÍCERA CAROLAINÉ ANDRADE RODRIGUES**

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROPOSTAS DE  
MODELAGEM HIDRÁULICA PARA A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE SANTA  
CRUZ DA BAIXA VERDE - PE**

**SERRA TALHADA**

**2025**

CÍCERA CAROLAINÉ ANDRADE RODRIGUES

**ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROPOSTAS DE  
MODELAGEM HIDRÁULICA PARA A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE SANTA  
CRUZ DA BAIXA VERDE - PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Serra Talhada, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Vitor Hugo de Oliveira Barros.

SERRA TALHADA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

R696 Rodrigues, Cícera Carolaine Andrade.

Estudo das condições de abastecimento de água e propostas de modelagem hidráulica para a rede de distribuição de Santa Cruz da Baixa Verde - PE / Cícera Carolaine Andrade Rodrigues. - Serra Talhada, 2025.  
62 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Serra Talhada, 2025.  
Orientação: Prof. Msc. Vitor Hugo de Oliveira Barros.

1. Construção Civil. 2. Dimensionamento. 3. EPANET. 4. Orçamento. I. Título.

CDD 690

---

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO  
PERNAMBUCANO  
CAMPUS SERRA TALHADA

FOLHA DE APROVAÇÃO

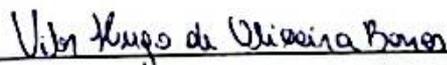
CÍCERA CAROLAINÉ ANDRADE RODRIGUES

ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E PROPOSTAS DE  
MODELAGEM HIDRÁULICA PARA A REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE SANTA CRUZ DA  
BAIXA VERDE - PE

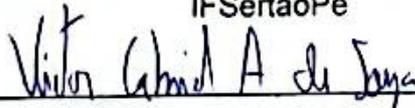
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Coordenação do curso de  
Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto  
Federal do Sertão Pernambucano, Campus  
Serra Talhada, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Aprovado em 11 de fevereiro de 2025

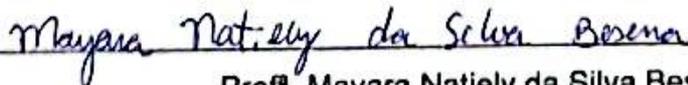
Banca Examinadora



Prof<sup>º</sup>. Me. Vitor Hugo de Oliveira Barros  
IFSertãoPe



Prof<sup>º</sup>. Me. Vitor Gabriel Alves de Souza  
IFSertãoPe



Prof<sup>º</sup>. Mayara Natiely da Silva Beserra  
UNIFIS

Serra Talhada  
2025

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que sempre me deu força e fé;

A minha mãe Ana, pela educação, conhecimentos, conselhos, e, principalmente, apoio. Aos meus irmãos Caliane, Catiane e Carlos por sempre estarem ao meu lado. Ao meu namorado Gemerson por todo incentivo;

Agradeço aos meus sobrinhos Gabriel, Davi, Maria Louise, Guilherme e Maria Cecília por toda alegria e os melhores sorrisos durante esses anos;

Aos meus familiares e amigos que, durante todo o curso, em uma etapa tão importante da minha vida, não mediram esforços para me apoiarem e confiarem em mim. Ao professor Vitor Hugo que durante todo o trabalho me orientou com muita paciência e dedicação. Agradeço pelos conhecimentos passados e pela a contribuição durante todo o decorrer do curso.

“Que teu coração deposite toda a sua confiança no Senhor! Não te firmes em tua própria sabedoria!”

Provérbios 3,5

## RESUMO

Mesmo a água sendo importante para diversos setores de uma comunidade, o seu acesso nem sempre é assegurado com qualidade e quantidade suficientes para a população, visto que, a realização da construção de uma rede de abastecimento é, geralmente, uma obra de custo bastante elevado. As obras de engenharia como os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), tem como propósito garantir o conforto às populações e dispor uma parte da infraestrutura das cidades, com foco em superar os riscos à saúde impostos pela água. Logo, esse aspecto possui importância quando esses custos devem ser supridos pela receita de um município de pequeno porte, evidenciando assim, a necessidade de algumas localidades terem acesso a um sistema de abastecimento planejado e focado no menor custo de implantação e operação. Para tal projeto, foi constatado que a rede de abastecimento modelada possui 15.053,00 metros, esses dados foram aplicados na planta baixa e após foi possível criar um modelo hidráulico de todo sistema utilizando o Epanet 2.0. Nas simulações realizadas no software foram analisados parâmetros tais como pressão, velocidade, perda de carga e vazão. A manutenção das características hidráulicas da rede conta com dois reservatórios de nível fixo e uma rede de distribuição mista, composta por tubulações de PVC PBA e DEFoFo, com diâmetros de 50, 75, 100 e 150 mm. Em relação a velocidade dos “trechos” apresentaram-se valores inferiores se comparados com a norma, e por fim, as pressões dos “nós” foram condizentes com o máximo e mínimo estabelecido pela NBR 12.218.

Palavras-Chaves: dimensionamento; EPANET; orçamento.

## **ABSTRACT**

Although water is important for different sectors of a community, its access is not always ensured with enough quality and quantity for the population, given that the construction of a supply network is generally a very high-cost project. . Engineering works such as Water Supply Systems (SAA) aim to ensure comfort for the populations and provide part of the cities' infrastructure, focusing on overcoming the health risks posed by water. Therefore, this aspect is important when these costs must be covered by the revenue of a small municipality, thus highlighting the need for some locations to have access to a planned supply system focused on the lowest implementation and operation costs. For this project, it was found that the modeled supply network is 15,053.00 meters long. This data was applied to the floor plan and then it was possible to create a hydraulic model of the entire system using Epanet 2.0. In the simulations carried out in the software, parameters such as pressure, speed, pressure loss and flow were analyzed. The maintenance of the hydraulic characteristics of the network relies on two fixed-level reservoirs and a combined distribution network, made up of PBA and DEFoFo PVC pipes, with diameters of 50, 75, 100 and 150 mm. Relating to the speed of the “sections”, values were much lower compared to the norm, and finally, the pressures of the “nodes” were consistent with the maximum and minimum established by NBR 12.218.

Keywords: sizing; EPANET; budget.

## LISTA DE ABREVIACOES SIGLAS E SIGLAS

|          |  |
|----------|--|
| ABNT     | Associação Brasileira de Normas Técnicas               |
| ANA      | Agência Nacional de guas                              |
| BID      | Banco Interamericano de Desenvolvimento                |
| BNH      | Banco Nacional da Habitação                            |
| CESB's   | Conselhos Estaduais de Saneamento Básico               |
| COMPESA  | Companhia Pernambucana de Saneamento                   |
| EPA      | Environmental Protection Agency (EUA)                  |
| EPANET   | Software de modelagem de redes de distribuição de gua |
| ETA      | Estação de Tratamento de gua                          |
| FAT      | Fundo de Amparo ao Trabalhador                         |
| FGTS     | Fundo de Garantia do Tempo de Serviço                  |
| FUNASA   | Fundação Nacional de Saúde                             |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística        |
| LENHS    | Laboratório de Ensaios de Hidráulica e Saneamento      |
| MCidades | Ministério das Cidades                                 |
| PAC      | Programa de Aceleração do Crescimento                  |
| PASS     | Programa de Apoio ao Setor de Saneamento               |
| PLANASA  | Plano Nacional de Saneamento                           |
| PLANSAB  | Plano Nacional de Saneamento Básico                    |
| PMSB     | Plano Municipal de Saneamento Básico                   |
| PNAD     | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios            |
| PPP      | Parceria Público-Privada                               |
| SAA      | Sistema de Abastecimento de gua                       |
| SNSA     | Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental            |
| SEPURB   | Secretaria de Planejamento Urbano                      |
| SNIS     | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento       |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Unidades de um sistema de abastecimento de água. ....                                | 24 |
| Figura 2 - Exemplo de rede ramificada. ....   | 27 |
| Figura 3 - Exemplo de rede malhada. ....  | 27 |
| Figura 4 - Exemplo de rede mista. ....  | 27 |
| Figura 5 - Mapa de localização do município de Santa Cruz da Baixa Verde - PE. ....             | 29 |
| Figura 6 - Localização e drenagem da bacia hidrográfica do Pajeú, em Pernambuco. ....           | 30 |
| Figura 7 - Tela inicial do EPANET. ....   | 38 |
| Figura 8 - Janela de edição de propriedades dos nós (à esquerda) e dos trechos (à direita). ... | 39 |
| Figura 9 - Janela de edição de propriedades do reservatório de nível fixo. ....                 | 39 |
| Figura 10 - Janela de configurações dos dados dos tubos. ....                                   | 40 |
| Figura 11 - Janela de edição das opções de simulação. ....                                      | 40 |
| Figura 12 - Janela para executar simulação. ....  | 41 |
| Figura 13 - Caminhão de água. ....  | 42 |
| Figura 14 - Carro-pipa. ....  | 42 |
| Figura 15 e 16 - Tubulação exposta. ....  | 43 |
| Figura 17 - Tubulação implantada. ....  | 43 |
| Figura 18 - Rua alagada. ....   | 43 |
| Figura 19 - Relatório de otimização ....  | 46 |
| Figura 20 - Vazão da rede. ....   | 47 |
| Figura 21 - Distribuição de pressões na rede existente. ....                                    | 48 |
| Figura 22 - Distribuição das velocidades na rede. ....  | 49 |
| Figura 23 - Gráfico com diâmetros dos tubos. ....   | 50 |
| Figura 24 - Perda de carga nos "trechos". ....  | 51 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Custo dos tubos. ....                              | 35 |
| Tabela 2 - Custo do assentamento dos tubos. ....              | 35 |
| Tabela 3 - Resumo dos Parâmetros e Critérios de Projeto. .... | 44 |
| Tabela 4 - Parâmetros de cálculo da demanda de água. ....     | 45 |
| Tabela 5 - Custo total para aquisição dos tubos. ....         | 52 |
| Tabela 6 - Custo total para assentamento dos tubos. ....      | 52 |
| Tabela 7 – Dimensionamento da rede. ....                      | 58 |

## SUMÁRIO

|       |  |       |
|-------|--|-------|
| 1     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | 14-15 |
| 2     | <b>OBJETIVOS</b> .....   | 16    |
| 2.1   | <b>OBJETIVO GERAL</b> .....  | 16    |
| 2.2   | <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....                                     | 16    |
| 3     | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....                                     | 17-28 |
| 3.1   | <b>HISTÓRICO DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL</b> .....                  | 17-18 |
| 3.2   | <b>SANEAMENTO BÁSICO NO NORDESTE DO BRASIL</b> .....                   | 18-19 |
| 3.3   | <b>LEGISLAÇÃO PERTINENTE</b> .....                                     | 20-23 |
| 3.4   | <b>ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)</b><br>..... | 23-27 |
| 3.4.1 | Manancial .....  | 24    |
| 3.4.2 | Captação .....   | 24    |
| 3.4.3 | Estações Elevatórias .....   | 25    |
| 3.4.4 | Aduadoras .....  | 25    |
| 3.4.5 | Estação de Tratamento de Água (ETA) .....                              | 25    |
| 3.4.6 | Reservatórios de Distribuição de Água .....                            | 25-26 |
| 3.4.7 | Redes de Abastecimento de Água .....                                   | 26-27 |
| 3.5   | <b>EPANET</b> .....  | 27-28 |
| 4     | <b>METODOLOGIA</b> .....   | 29-41 |
| 4.1   | <b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....                          | 29-31 |
| 4.1.1 | Aspectos socioeconômicos .....   | 29-30 |
| 4.1.2 | Aspectos Hidrográficos .....   | 30    |
| 4.1.3 | Estudo Populacional e de Demanda .....                                 | 30-31 |
| 4.2   | <b>PREVISÃO DA VAZÃO DE DISTRIBUIÇÃO</b> .....                         | 31-32 |
| 4.2.1 | Cálculo da vazão média .....   | 31-32 |
| 4.3   | <b>REQUISITOS DO PROJETO</b> .....                                     | 32-34 |
| 4.3.1 | Pressões mínimas e máximas na rede .....                               | 32-33 |
| 4.3.2 | Velocidades mínimas e máximas .....                                    | 33    |
| 4.3.3 | Vazão máxima e mínima.....   | 33    |
| 4.3.4 | Diâmetro mínimo.....   | 34    |
| 4.3.5 | Perda de carga.....  | 34    |
| 4.4   | <b>CUSTO DE IMPLANTAÇÃO</b> .....                                      | 34-35 |

|       |   |       |
|-------|---|-------|
| 4.5   | <b>DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO</b> .....                                   | 35-41 |
| 4.5.1 | Microsoft Office Excel .....  | 36-37 |
| 4.5.2 | EPANET .....  | 37-41 |
| 5     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                                       | 42-53 |
| 5.1   | <b>ATUAL FORMA DE ABASTECIMENTO</b> .....                                 | 42-52 |
| 5.2   | <b>PARÂMETROS DE PROJETO</b> .....  | 44-45 |
| 5.3   | <b>MODELAGEM HIDRÁULICA</b> .....   | 45-52 |
| 5.3.1 | Vazão .....   | 46-47 |
| 5.3.2 | Pressão .....   | 47-49 |
| 5.3.3 | Velocidade .....  | 49-50 |
| 5.3.4 | Perda de carga.....   | 51-52 |
| 5.4   | <b>ESTIMATIVA DE CUSTO</b> .....  | 52-53 |
| 6     | <b>CONCLUSÃO</b> .....  | 54    |
|       | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 55-57 |
|       | <b>ANEXO A – DIMENSIONAMENTO DA REDE: TRECHOS, NÓS E COTAS..</b><br>..... | 58-62 |

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme a Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020, o saneamento básico é constituído por: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Sendo estes de responsabilidade do titular do serviço (o município) elaborar e executar a política pública, de modo a garantir o controle social.

Para o Instituto Trata Brasil (2012) o saneamento básico corresponde a um:

[...] conjunto de medidas que visam preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorarem a qualidade de vida da população e a produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica (Instituto Trata Brasil, 2012, p. 9).

As informações relacionadas a saneamento básico nos municípios brasileiros, tem como principal base de dados provenientes das principais fontes oficiais: IBGE, SNIS e ANA. Ao analisar os dados disponibilizados por essas entidades, é perceptível a carência que o Brasil apresenta nos serviços de abastecimento de água.

De acordo com o SNIS 2023 (ano de referência 2022) a rede de abastecimento alcançou uma cobertura do serviço a 84,9% da população total do país, esses estão mais centralizados principalmente nas regiões Sul (91,6%) e Sudeste (90,9%), enquanto nas regiões Nordeste (76,9%) e Norte (64,2%) apresentam os piores índices de cobertura dos serviços.

Todavia, com a finalidade de superar esse déficit, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), desenvolvido pelo Governo Federal, estimou a necessidade de investimentos de R\$ 142 bilhões em água e R\$ 215 bilhões em esgoto, esses valores são necessários para o País atingir, até 2033, de modo que o investimento anual seja em média de R\$ 27,6 bilhões.

O abastecimento de água, sobretudo nas zonas urbanas de pequenos municípios, é um desafio aos órgãos gestores encarregados desta tarefa, visto que, é necessário compatibilizar demandas crescentes de água com qualidade e restrições financeiras e orçamentárias.

A cidade de Santa Cruz da Baixa Verde, está localizada no sertão do estado de Pernambuco e, segundo a classificação de Koeppen, o clima é classificado como quente e úmido. O sistema de abastecimento de água da cidade há muito tempo está em colapso, onde a população vem sendo abastecida precariamente por carro pipa e por meio de rede de abastecimento de água bruta de poços por empreendedores locais.

A problemática do abastecimento de água potável em municípios que não contam com esse serviço essencial é um desafio grave que afeta diretamente a saúde e o bem-estar da população. Nesse contexto, os moradores enfrentam dificuldades diárias para obter água limpa, muitas vezes recorrendo a fontes inadequadas e contaminadas, o que resulta no aumento de doenças de veiculação hídrica, como diarreias e infecções. Além disso, a ausência de um sistema de abastecimento eficiente compromete o desenvolvimento local, afetando a qualidade de vida e intensificando a desigualdade social. A implementação de soluções sustentáveis e a modernização da infraestrutura são urgentes para garantir o acesso universal à água potável nesses municípios.

Como forma de garantir a segurança hídrica do município, de modo a propiciar benefícios de longo prazo como prevenção de doenças, redução das desigualdades, preservação do meio ambiente e desenvolvimento econômico; é necessário, então, assegurar um abastecimento de água seguro e de qualidade. Atualmente, existem softwares que auxiliam no dimensionamento e otimização das redes de abastecimento, formando sistemas com características satisfatórias e de menor custo de execução do projeto.

Logo, tendo em vista essa problemática, o presente trabalho tem como por objetivo realizar o levantamento e a modelagem idealizada e tomada como objeto de estudo, elaborada com o auxílio do programa EPANET (Programa de Simulação Hidráulica, Energética e de Qualidade de Água), associado ao algoritmo iterativo de dimensionamento otimizado, LENHSNET. Com o sistema modelado, será possível identificar a pressão e a vazão em seus “nós”, baseado em uma demanda média suposta e variável ao longo do dia, caracterizando uma simulação dinâmica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar as condições de abastecimento de água do município de Santa Cruz da Baixa Verde, localizada na Microrregião do Sertão do Pajeú de Pernambuco, e propor uma alternativa viável para modelagem hidráulica da rede de distribuição.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar as atuais condições da rede privada existente;
- Modelar hidraulicamente a rede de distribuição de água;
- Identificar e propor soluções para possíveis problemas na rede;
- Elaborar o orçamento dos preços dos serviços de instalação das tubulações.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 HISTÓRICO DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

De acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, em um documento preliminar para proposição de uma política nacional, definiu saneamento básico como:

[...] conjunto de ações técnicas e socioeconômicas, entendidas fundamentalmente como de saúde pública, tendo por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, compreendendo o abastecimento de água em quantidade e dentro dos padrões de potabilidade vigentes, o manejo de esgotos sanitários, de águas pluviais, de resíduos sólidos e emissões atmosféricas, o controle ambiental de vetores e reservatórios de doenças, a promoção sanitária e o controle ambiental do uso e ocupação do solo e prevenção e controle do excesso de ruídos, tendo como finalidade promover e melhorar as condições de vida urbana e rural (SNSA, 2003).

Segundo Cavinatto (1992), no Brasil do séc. XVI, os jesuítas deslumbravam com o ótimo estado de saúde dos indígenas. No entanto, com a chegada do colonizador e dos negros, rapidamente houve a disseminação de doenças como varíola, tuberculose e sarampo, no entanto, como os nativos não possuíam defesas naturais no organismo, resultava em epidemias que frequentemente matavam os índios.

Com a vinda da família Real em 1808, houve um importante avanço nos serviços de saneamento, como explicam Pereira, Souza e Silva (2010), e a população aumentou aceleradamente. Em virtude desse fato, aumentou-se a demanda por abastecimento de água, provocando o acúmulo de resíduos e dejetos no meio ambiente. Naquela época, as ações de saneamento eram tratadas como soluções isoladas, incluindo a drenagem de terrenos e a instalação de chafarizes em algumas cidades. Com o fim do período colonial e início da era republicana, os serviços de interesse público ficaram, portanto, dependentes e submissos ao capital estrangeiro.

Ainda em 1808 recorrendo a Cavinatto (1992):

Foram criadas leis que fiscalizavam os Portos e evitavam a entrada de navios com pessoas doentes. O Brasil foi um dos primeiros países do mundo a implantar redes de coleta para o escoamento da água da chuva. Porém, o sistema foi instalado somente no Rio de Janeiro e atendia a área da cidade onde se instalava a aristocracia. Os Arcos da Lapa foram o primeiro aqueduto construído no Brasil em 1723 (CAVINATTO 1992).

Após a 1ª Guerra Mundial, o Brasil enfrenta-se com o declínio do controle estrangeiro na área de outorga dos serviços públicos e pela falta de investimentos para o aumento das redes públicas de saneamento básico, ocorrendo a estatização dos serviços. De modo que, a partir dos anos 40, inicia-se a comercialização dos serviços. Neste período, quando houve a computação dos gastos de saneamento, através do orçamento geral das cidades, aparecem as autarquias, bem como mecanismos de financiamento para abastecimento de água (Pereira; Souza; Silva, 2010).

A partir do ano de 1950, inicia-se um aumento da pobreza e o grande ajuntamento populacional. Para agravar a situação, o país sofreu um esgotamento permanente e prolongado dos recursos naturais. Após alguns anos, surgiu a criação do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) e as Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESB's), devido ao interesse em expandir os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no país. O PLANASA é considerado até hoje o modelo institucional predominante no saneamento básico (Pereira; Souza; Silva, 2010).

Na década de 1980, o PLANASA começou a entrar em declínio por falta de recursos, o Banco Nacional da Habitação (BNH) foi extinto e a Caixa Econômica Federal assumiu o papel de financiadora. Passando a ter uma forte demanda por regulamentação no setor de saneamento e entre a década de 1990 e 2000 surgiu as primeiras concessões privadas de serviços de água e esgoto (Instituto Trata Brasil, 2012).

Em 2007, houve a implantação do Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) com intuito de reiniciar a elaboração, bem como, a execução de obras de infraestrutura, juntamente com isso, esse setor passou a receber investimentos tanto do FGTS, como do Fundo de Amparo ao Trabalhador (FAT). Nesse mesmo ano, foi promulgada a Lei nº 11.445, que trata da política federal do saneamento básico (Instituto Trata Brasil, 2012).

Em 2013, foi criado o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que está relacionado ao planejamento do saneamento básico, o qual institui metas de universalização até 2033. Já no ano de 2020, foi atualizada pelo novo marco legal do saneamento básico a Lei nº 11.445, tendo como foco a garantia que 99% da população seja atendida com abastecimento de água e 90% a coleta e tratamento de esgoto até 2033.

### **3.2 SANEAMENTO BÁSICO NO NORDESTE DO BRASIL**

O setor de saneamento no Brasil é marcado por fortes desigualdades regionais e déficits, principalmente quando se comparam as macrorregiões Norte e Nordeste com as demais regiões.

Logo, essas regiões merecem maior atenção em face dos baixos níveis de atendimento da população com serviços de saneamento básico.

O PLANSAB (Brasil, 2020b, p. 38), informa que: “Entre as macrorregiões, tal como ocorreu com o serviço de abastecimento de água, os índices de coleta de esgoto sanitário revelaram as desigualdades regionais do acesso ao serviço, com os menores índices registrados no Norte e no Nordeste”.

Seguindo no mesmo sentido, os dados divulgados pelo IBGE, relacionado às características dos domicílios e dos moradores, coletados pela Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios Contínua (PNAD), trata-se de uma pesquisa referente às condições de saneamento básico, sendo abastecimento de água, coleta de esgoto e serviços de coleta de lixo domiciliar.

De acordo com a pesquisa do PNAD Contínua (2024), ano de referência 2023, constatou que apenas 85,9% dos domicílios brasileiros contavam com a Rede Geral de Distribuição como a principal fonte de abastecimento de água. Sendo que as regiões Norte e Nordeste possuem o menor percentual, 60,4% e 85,1% respectivamente, enquanto o Sudeste tinha a maior proporção de domicílios conectados à rede geral de água (91,8%).

Em 2023, 69,9% dos domicílios brasileiros contavam com esgotamento sanitário por rede coletora ou fossa ligada à rede geral, no entanto, as Regiões Norte e Nordeste possuíam os menores percentuais, sendo respectivamente de 32,7% e 50,8%; enquanto no Sudeste, Sul e Centro-Oeste a porcentagem de esgotamento era de 89,9%, 68,3% e 61,1% nesta ordem. Quanto à coleta de lixo, a PNAD Contínua mostra que, o serviço de coleta vem aumentando gradativamente: de 82,7%, em 2016, para 84,3%, em 2019, e com percentual de 86,0% em 2022.

Os estudos revelaram a existência de desigualdades regionais na prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, sobretudo nas Regiões Nordeste e Norte e nos domicílios rurais. Na Região Nordeste, entre os fatores que agravam este déficit, citam-se: as interferências climáticas (período prolongados de seca e/ou estiagem), a renda baixa da população, principalmente nas zonas rurais, a falta de capacidade técnica dos municípios na operacionalização dos empreendimentos (Sousa; Gomes, 2019), a distribuição desigual de recursos entre Regiões e as limitações orçamentárias dos Municípios, dentre outros.

### 3.3 LEGISLAÇÃO PERTINENTE

Durante o período democrático vivido pelo Brasil entre 1946 até 1964, observou-se a falta de preocupação com o saneamento básico, “havendo um modelo centralizador herdado do Estado Novo, descentralização parcial e retrocesso para o modelo centralizador sob o Governo Militar de 1964” (Saker, 2007, p. 25).

No início da década de 70, foi criado O Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), implementado em um contexto de grande crescimento econômico, o que lhe garantiu viabilidade financeira, pelo menos, em sua primeira etapa. Sua instituição ocorreu durante o governo militar que estabeleceu uma estrutura sólida de financiamento, prestação e gestão dos serviços de saneamento que ainda predomina nos dias atuais (Salles, 2008).

Na primeira década de implantação do PLANASA, foi disponibilizado pelo BNH recursos abundantes para as CESBs, permitindo a manutenção de tarifas baixas e a realização de investimentos voltada principalmente à construção e à ampliação dos sistemas, com menor ênfase nos aspectos de operação, o que resultou, posteriormente, em uma mais rápida degradação dos sistemas construídos nesta etapa (Turolla, 2002).

Rezende (1994) exemplifica o caso da Companhia de Saneamento de Pernambuco (COMPESA) que, no período de vigência do PLANASA, dirigiu a taxa de administração de 10% sobre os investimentos realizados pela Companhia a área de captação da empresa, o que favoreceu seu rápido crescimento. Em vista disso, a COMPESA foi transformada em uma empresa de construção onde era gerenciada por uma elite técnica de engenharia civil.

Em 1996, foi implementado pela SEPURB o Programa de Ação Social em Saneamento (PASS), com foco na implementação de projetos integrados de saneamento em serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nas áreas de maior concentração de pobreza. O programa se estendeu até 2009 e era apoiado com recursos do BID (Gonçalves, 2019).

No ano de 2003, com a posse do Presidente Lula, o viés da Política de Saneamento foi alterado, ocasionando no abandono dos planos de privatização das Companhias Estaduais e substituído por apoio técnico federal às empresas públicas para sua reestruturação financeira e operacional (Montenegro, 2006).

O Presidente da República e a área econômica do governo demonstraram ser “favoráveis ao aumento da participação privada na área de infraestrutura, incluindo saneamento, especialmente dentro do esquema de Parceria Público Privado (PPP)”. Com isso, foi elaborado um projeto de lei, coordenado pelo Ministério do Planejamento e com parceria de diversos setores do governo, sendo aprovado pelo Congresso Nacional em dezembro de 2004,

sob a forma da Lei 11079/2004, estabelecendo as normas gerais de licitação e contratação de PPP, tanto no âmbito dos poderes da União, bem como dos estados, do distrito federal e dos municípios (Salles, 2008, p. 61).

Com conhecimento de dados que apontavam os déficits enfrentados pelo setor, com o crescimento nos índices de cobertura de saneamento baixo na década anterior e com impacto nas condições de saúde pública; a distância em relação às metas de universalização dos serviços; a carência em relação à rede de cidades, bem como nas áreas rurais; os impactos sobre o meio ambiente oriundos do baixo índice de tratamento dos esgotos; a ineficiência na prestação dos serviços, foi criado pelo presidente Lula, o Ministério das Cidades (MCidades), responsável pela implementação da Política Nacional de Desenvolvimento Urbano e pelas políticas setoriais de habitação, saneamento ambiental, trânsito e mobilidade urbana (Salles, 2008).

Em sua estrutura organizacional, foi criada a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), com objetivo de proporcionar “os direitos humanos fundamentais de acesso à água potável e à vida em ambiente salubre nas cidades e no campo, mediante a universalização do abastecimento de água e dos serviços de esgotamento sanitário e manejo de águas pluviais”. A SNSA foi articulada desde a sua criação, negociando com atores e instituições representativas de interesses ligados ao saneamento básico para a elaboração de uma proposta de legislação específica. Com principal foco de incorporar ao futuro texto da Lei uma visão mais ampla que articula a política pública de saneamento com a saúde, desenvolvimento urbano, bem como, meio ambiente (Gonçalves, 2019, p. 61).

No dia 5 de janeiro de 2007, em cerimônia no Palácio do Planalto, foi sancionada pelo Presidente Lula a Lei 11.445 de 2007, que institui as diretrizes nacionais e a política federal de saneamento básico. Ocorrendo muitos embates e um tempo relativamente grande, de aproximadamente 21 anos, desde a extinção do PLANASA (1986) até a aprovação da Lei do Saneamento (2007) (Gonçalves, 2019).

Segundo Migliorini (2019):

Com a aprovação da Lei 11.445/2007, a área de saneamento teve um marco legal e passou a contar com novas expectativas de investimento por conta do Governo Federal. Fundamentado na sustentabilidade econômica, eficiência, segurança, controle social, regularidade e qualidade, tendo em vista a universalização dos serviços, para ser possível à realização do Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB nos municípios, para que seja possível assegurar os serviços que tornam a vida urbana segura e saudável (Migliorini, 2019, p. 22).

Em 2018, com a presidência de Michel Temer, houve uma reforma frustrada da Lei de Saneamento Básico pela MP 844, ocasionada por ausência de votação no Congresso Nacional em 20 de novembro de 2018. Posteriormente, a reforma foi implementada pela MP 868, em 27 de dezembro de 2018. No final da segunda década do século XXI, o País ainda sofria grandes déficits no atendimento por serviços de saneamento, especialmente na coleta e no tratamento de esgotos sanitários e à disposição de resíduos sólidos. Sendo que os índices de atendimento são mais precários em áreas periurbanas e rurais, localizadas as populações mais pobres (Gonçalves, 2019).

Corroborando com esse entendimento, Luiz Lobo (2003) afirma que:

As discussões atuais sobre o futuro do setor de saneamento colocam como objetivo inadiável e desafio principal a busca pela universalização da prestação dos serviços. Para atingir esse objetivo, as propostas em debate se prendem mais às questões políticas, à aprovação dos projetos de lei de saneamento, à titularidade sobre os sistemas, às formas de financiar o setor e ao modelo de regulação a ser adotado no país. [...] Continuamos, como a vinte anos atrás, enfrentando o mesmo desafio da falta de recursos para implantação dos serviços. Os modelos convencionais adotados, tanto na elaboração e implantação dos projetos como na gestão dos sistemas, não oferecem soluções capazes de cumprir esse objetivo. (Lobo, 2003, p.18).

Apesar de ser um direito e dirigido por Lei garantido na constituição federal, a universalização do saneamento básico se encontra em um universo paralelo, estando bem longe de ser alcançada. Em vista disso, foi sancionado o novo Marco Legal do Saneamento pelo presidente Jair Bolsonaro (2019-2022), No entanto, ainda possui grandes desafios para estruturar um ambiente de segurança jurídica, competitividade e sustentabilidade. Visando padronizar regras e dar mais segurança jurídica, o que tem o potencial de gerar bilhões em investimentos no setor públicos e privados.

No ano de 2020, foi promulgada a Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020, que:

Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados (Brasil, 2020).

Com a aprovação desta Lei, responsável pela atualização do marco legal do saneamento básico, a relação regulatória entre a ANA e o setor de saneamento alcançará um novo patamar, visto que a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico passará a editar também normas de referência relacionadas ao manejo de resíduos sólidos e à drenagem de águas pluviais em cidades. Estas regras de caráter geral deverão ser levadas em consideração pelas agências reguladoras de saneamento infranacionais (municipais, intermunicipais, distrital e estaduais) em sua atuação regulatória.

A importância de um plano municipal de abastecimento de água é amplamente discutida por diversos estudiosos, destacando sua relevância para a gestão eficiente dos recursos hídricos e a melhoria da qualidade de vida da população. Segundo Sato (2012), um planejamento adequado é fundamental para garantir a distribuição equitativa da água, especialmente em áreas urbanas em crescimento, onde a demanda frequentemente supera a oferta. O autor defende que o plano municipal deve considerar as especificidades locais, como a disponibilidade de fontes hídricas, e integrar soluções tecnológicas para otimizar o uso da água e reduzir desperdícios. Por outro lado, Oliveira (2016) ressalta que a implementação de um plano municipal deve envolver a participação ativa da comunidade e das autoridades locais, garantindo que as políticas adotadas atendam às necessidades da população e promovam a sustentabilidade a longo prazo. Ambos os autores concordam que a criação de um plano estruturado e eficaz é um passo crucial para enfrentar os desafios do abastecimento de água e assegurar o acesso universal a esse recurso vital.

### **3.4 ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)**

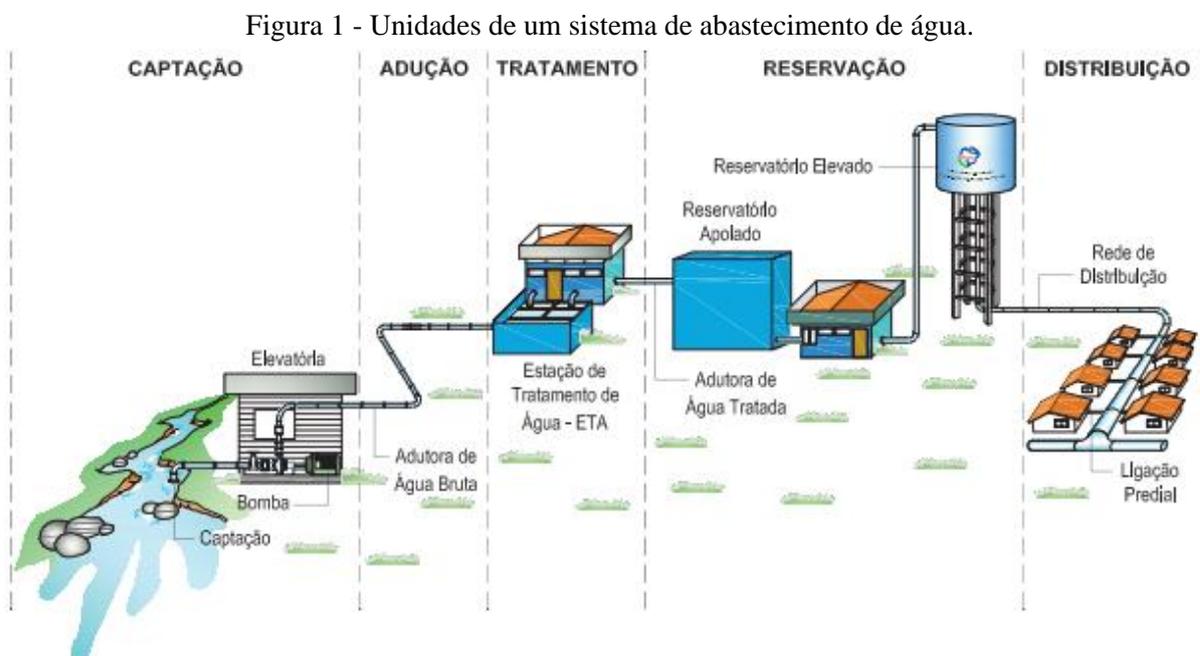
O sistema de abastecimento de água é composto de diversas etapas, iniciando com a captação da água do meio ambiente, mais precisamente de algum manancial. Logo após, segue para as estações de tratamento, onde será tratada para depois ser distribuída aos consumidores em quantidades que atendam às necessidades dos locais.

Recorrendo a Azevedo Netto (1991):

Define-se sistema de abastecimento de água como o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a uma comunidade, para fins de abastecimento doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos (Azevedo Netto, 1991).

Conforme Tsutiya (2006), a concepção dos sistemas de abastecimento de água é variável, em função do porte da cidade, topografia, bem como sua posição em relação aos

mananciais etc. Os sistemas convencionais de abastecimento de água são constituídos das seguintes partes: manancial; captação; estação elevatória; adutora; estação de tratamento de água; reservatório e rede de distribuição.



Fonte: FUNASA, (2019).

### 3.4.1 Manancial

De acordo com a FUNASA (2019, p. 65) “Mananciais são reservas hídricas ou fontes utilizadas no abastecimento de água. De maneira geral, quanto à origem, podem ser classificados em manancial superficial e subterrâneo”.

### 3.4.2 Captação

Para Heller e Pádua (2010), a captação consiste na estrutura responsável pela extração de água do manancial, com o intuito de torná-la disponível para seu transporte para os locais de utilização, podendo ser de distintas e muitas formas, em função do tipo de manancial. Seu projeto, particularmente quando se refere à captação em manancial de superfície, deve considerar cuidadosamente as características físicas do curso d'água e de suas margens, bem como as variações sazonais de vazão, uma vez que se trata de uma unidade de muita responsabilidade no sistema e, por se localizar no curso d'água, fica sujeita à ação das intempéries.

### **3.4.3 Estações Elevatórias**

De acordo com Heller e Pádua (2010), às estações elevatórias podem se mostrar necessárias quando a água necessita atingir níveis mais elevados, vencendo desníveis geométricos. No sistema de sistemas de abastecimento de água, podem ou não existir estações elevatórias. Seu emprego é em função, principalmente, do relevo local. Podem ser classificadas segundo a água que recalcam (bruta ou tratada) e o tipo de bomba.

### **3.4.4 Adutoras**

Adutoras são canalizações dos sistemas de abastecimento de água que conduzem a água para as unidades que precedem a rede de distribuição. Elas interligam captação, estação de tratamento e reservatórios e não distribuem a água aos consumidores. Dependendo do sistema há casos em que partem ramificações da adutora principal, para levar água a outros pontos do sistema (Tsutiya, 2006).

### **3.4.5 Estação de Tratamento de Água (ETA)**

Sua implantação é sempre necessária, para compatibilizar a qualidade da água bruta com os padrões de potabilidade e proteger a saúde da população consumidora, segundo a portaria MS n° 2914/2011 toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água. (Brasil, 2011).

### **3.4.6 Reservatórios de Distribuição de Água**

Por ser o determinador das pressões e vazões distribuídas pelo meio urbano, o reservatório é considerado o principal fator de distribuição de água. Para Tsutiya (2006), os reservatórios possuem as seguintes finalidades:

- Regularização da vazão: são responsáveis por acumular água durante as horas em que a demanda de água é inferior à média, de modo a fornecer vazões complementares quando a demanda for superior à média;
- Segurança: quando ocorre o rompimento de uma adutora é necessária a interrupção da captação ou estação de tratamento;

- Reserva de água para incêndio: podem disponibilizar vazões extras para o combate a possíveis incêndios;
- Regularização das pressões: o reservatório pode ser alocado em determinados pontos do sistema para reduzir a pressão na rede. São denominados de reservatório de quebra de pressão.

### 3.4.7 Redes de Abastecimento de Água

Azevedo Netto (1991), define as redes de abastecimento de água como sendo:

[...] a unidade do sistema que conduz a água para os pontos de consumo. É constituída por um conjunto de tubulações e peças especiais dispostas convenientemente a fim de garantir o abastecimento dos consumidores de forma contínua nas quantidades e pressões recomendadas (Azevedo Netto, 1991).

Segundo Tsutiya (2006), as redes de abastecimento de água são formadas por tubulações e órgãos acessórios com foco em conduzir água potável de forma contínua em quantidade, qualidade e pressão adequada aos consumidores de acordo com a norma vigente. Sendo constituídas por dois tipos de canalizações:

- a) Principal: são as tubulações com um diâmetro maior e que tem por objetivo levar água às tubulações secundárias. São conhecidas também como canalização mestra ou conduto tronco.
- b) Secundária: são as tubulações de menor diâmetro e tem por objetivo abastecer os pontos de consumo no sistema.

Com relação ao tipo de traçado destes condutos, Araújo Prince (2006) classifica-os como:

- a) Rede ramificada: esta configuração é característica de áreas que possuem um desenvolvimento linear onde as ruas não se conectam entre si devido a problemas na topografia local ou de traçados urbanos (Figura 2). Estas redes podem ter traçados do tipo “espinha de peixe” ou “em grelha”.

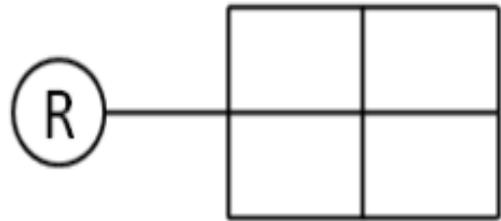
- b) Rede malhada: Esta configuração de rede é típica de áreas com ruas formando malhas viárias (Figura 3). As tubulações principais formam blocos ou anéis permitindo o abastecimento do sistema por mais de um caminho, favorecendo a manutenção na rede com o mínimo possível de interrupção no abastecimento de água.

Figura 2 - Exemplo de rede ramificada.



Fonte: Modificado de Gomes (2004)

Figura 3 - Exemplo de rede malhada.



Fonte: Modificado de Gomes (2004)

- c) Rede mista: a rede mista nada mais é do que a combinação da rede ramificada com a rede malhada (Figura 4).

Figura 4 - Exemplo de rede mista.



Fonte: Modificado de Gomes (2004)

### 3.5 EPANET

Para Erich Kellner (2022), o EPANET é:

[...] um software de simulação hidráulica e de qualidade da água desenvolvido pela Environmental Protection Agency, dos Estados Unidos, que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade em sistemas de distribuição de água (Kellner, 2022).

A versão nacional foi traduzida e adaptada pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Além disso,

é considerada uma excelente ferramenta de simulação hidráulica, pois dispõe de capacidade para obter valores de vazão nas tubulações, pressão, altura da água nos reservatórios.

Salvino (2009) ainda enfatiza sua eficiência para:

[...] calcular as perdas de carga por atrito através das fórmulas de Hazen-Williams, Darcy Weisbach ou Chezy-Manning; perdas de carga localizadas; simulação de bombas, com velocidade de rotação fixa ou variável; calcula a energia de bombeamento e o seu respectivo custo, modela os principais tipos de válvulas, modela reservatórios de nível fixo ou variável; possibilita a simulação com diversas regras de operação do sistema, dentre outras (Salvino, 2009).

A partir das características da rede de distribuição de água, como o material, comprimento, diâmetro das tubulações, da demanda nos nós, e das características topográficas (cotas topográficas dos nós), é possível obter os valores de perda de carga, velocidade e vazão em cada trecho, da carga hidráulica e pressão em cada nó, seja em um único instante ou até mesmo ao longo de um determinado tempo, considerando a variação da demanda nos nós (Kellner, 2022).

Kellner (2022) afirma, ainda, que o EPANET possibilita analisar estratégias alternativas de gestão e poderá incorporar outros programas, pois as rotinas de cálculo estão disponíveis em uma biblioteca de vínculo dinâmico de funções, de modo que permitem a personalização de procedimentos, de acordo com as necessidades de cada usuário.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Santa Cruz da Baixa Verde, o qual possui uma área equivalente a 114,932 km<sup>2</sup>, está localizado na mesorregião do Sertão Pernambucano e na microrregião do Pajeú, Região de desenvolvimento Sertão do Pajeú. Limita-se com o estado da Paraíba e com os municípios de Calumbi, Serra Talhada e Triunfo. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE:

O município de Santa Cruz da Baixa Verde foi criado em 01 de outubro de 1991, pela Lei estadual de nº 10.620, quando foi desmembrado do município de Triunfo. Administrativamente, o município é composto pelo distrito sede e pela Vila de Jatiúca e sítios circunvizinhos (IBGE).

À 438 Km da capital pernambucana, o acesso ao município é efetuado através da rodovia federal BR-232 que interliga Recife à Serra Talhada por uma estrada com aproximadamente 400 km de extensão. De Serra Talhada segue através da PE-365 por cerca de 26 km. Sua sede municipal se encontra a 850 metros em relação ao nível do mar e tem sua posição geográfica determinada pelo paralelo de 07° 49' 14" E e 38° 09' 10" S.

Figura 5 - Mapa de localização do município de Santa Cruz da Baixa Verde - PE.



Fonte: IBGE, 2022.

#### 4.1.1 Aspectos socioeconômicos

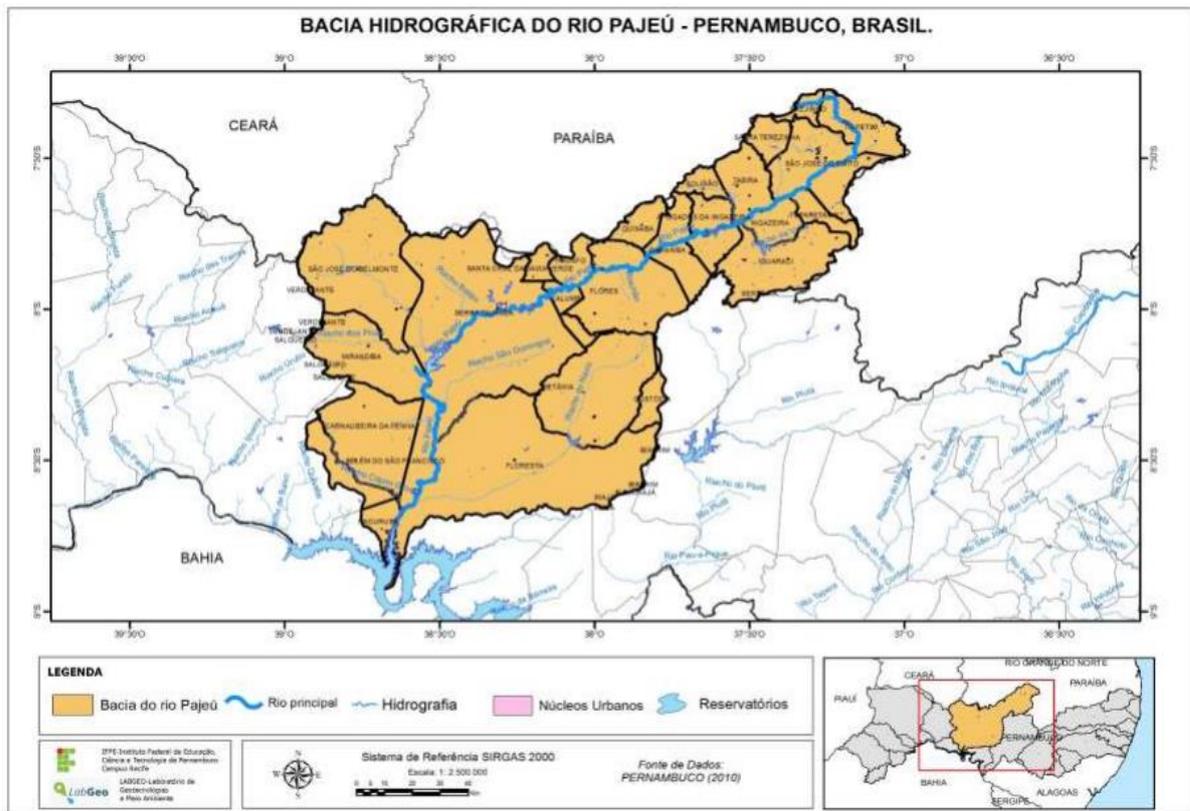
O município de Santa Cruz da Baixa Verde possui uma densidade demográfica de 100,64 hab/km<sup>2</sup>. De acordo com os dados do censo populacional realizado em 2022, a população no município era de 11.567 habitantes (IBGE, 2022).

A economia local é baseada na agropecuária, atividades pastoris, bovinocultura e na caprinocultura, além do setor agroindustrial. O município também é conhecido como a Capital da Rapadura, onde a sua produção merece destaque neste cenário econômico. No entanto, de acordo com o IBGE, em 2021, o salário médio mensal era de 1,6 salários mínimos, com a proporção de pessoas ocupadas em relação à população total de 5,3%.

#### 4.1.2 Aspectos Hidrográficos

O município está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do rio Pajeú, que possui uma área de 16.685,63 km<sup>2</sup> e tem o Riacho do Navio, Pajeú Mirim e Riacho São Domingos como seus principais afluentes. Segundo o IBGE, possui uma temperatura média anual de 21,9° C e sua vegetação predominante é a Floresta Subcaducifólia.

Figura 6 - Localização e drenagem da bacia hidrográfica do Pajeú, em Pernambuco.



Fonte: Labgeo, 2016.

#### 4.1.3 Estudo Populacional e de Demanda

De acordo o último Censo realizado no ano de 2022, a população da cidade de Santa Cruz da Baixa Verde chegou a 11.567 habitantes, representando uma queda de -1,71% ao

comparar com o Censo de 2010, que era de 11.768 habitantes. Visto que os últimos dados da população da zona urbana foram realizados em 2010 pelo CODEPE-FIDEM, com origem do IBGE, utilizou-se o mesmo para o cálculo de demanda.

No ano de 2010 a população urbana segundo o CODEPE-FIDEM era de 5.277 pessoas, dessa forma, para cálculo da projeção populacional adotou-se para população urbana um valor fixo de 6.000 habitantes, uma vez que o município vem apresentando um declive em seu crescimento.

O consumo per capita adotado é o mesmo utilizado nos projetos da COMPESA em cidades com características semelhantes, que é de 160 l/hab.dia, já inclusas as perdas inerentes ao sistema. Os coeficientes de variação de consumo diário e horário, utilizados na determinação das vazões de dimensionamento, são, respectivamente,  $k_1=1,2$  e  $k_2=1,5$ .

## 4.2 PREVISÃO DA VAZÃO DE DISTRIBUIÇÃO

### 4.2.1 Cálculo da vazão média

Com o resultado do estudo populacional, pode-se então proceder aos cálculos. Foi utilizada, então, a Equação 1 para obter o resultado da vazão de projeto:

$$Qd = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P \cdot q_m}{86400} (l/s) \quad (1)$$

Os valores utilizados para compor a equação foram:

$P = 6000$  habitantes, conforme item 4.1.3;

$q_m = 160$  litros por habitante por dia, conforme item 4.1.3;

$k_1$  e  $k_2 = 1,2$  e  $1,5$ , respectivamente, conforme item 4.1.3.

De acordo com a NBR 12218 (ABNT, 2017), o dimensionamento de redes de distribuição de água com trechos ramificados pode ser realizado pelo cálculo da perda de carga (hf) com base na vazão fictícia do trecho ( $Q_{fic}$ ) uma vez que seja admitida uma distribuição uniforme do consumo ao longo do trecho, denominada vazão de distribuição ( $Q_{dist}$ ), calculada pela Equação (2).

$$Q_{dist} = Q_{mar} \cdot L_{trecho} \quad (2)$$

Onde:

$L_{trecho}$  é o comprimento do trecho, em metros;

$Q_{mar}$  é a taxa linear de distribuição ou distribuição em marcha, calculada em (L/s/m) pela Equação (3).

$$Q_{mar} = \frac{Q}{L_{total}} \quad (3)$$

Onde  $Q$  é a vazão de projeto, em litros por segundo (L/s) e  $L_{total}$  é o comprimento total da tubulação.

A vazão fictícia está relacionada a uma vazão imaginária, de valor constante ao longo de toda a extensão do conduto, com objetivo de ser utilizada como parâmetro no cálculo da perda de carga, a fim de reduzir problemas de subdimensionamento ou superdimensionamento da rede. Seu cálculo é realizado pela vazão da extremidade de jusante somada à metade da vazão distribuída no trecho conforme a Equação (4).

$$Q_{fic} = Q_{jus} + \frac{Q_{dist}}{2} \quad (4)$$

Onde:

$Q_{dis}$  = Vazão de distribuição no trecho (L/s);

$Q_{jus}$  = Vazão da extremidade à jusante do trecho (L/s) calculada pela Equação (5).

$$Q_{jus} = Q_{mar} \cdot L_{jus} \quad (5)$$

Onde  $L_{jus}$  é o comprimento da tubulação à jusante do trecho (m).

### 4.3 REQUISITOS DO PROJETO

Para que o projeto de uma rede funcione de forma adequada, é importante atentar-se a determinadas condições ou restrições. Estas restrições estão relacionadas à: pressão, velocidade, diâmetro e a perda de carga unitária. Sendo adotadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

#### 4.3.1 Pressões mínimas e máximas na rede

Para o estudo das redes de abastecimento de água, é indispensável dois tipos de pressões: a pressão dinâmica mínima e a pressão estática máxima. Segundo a NBR 12.218/2017, a pressão dinâmica mínima é definida como “Pressão, referida ao nível do eixo da via pública,

em determinado ponto da rede, sob condição de consumo não nulo”. Está relacionada com a chegada de água aos consumidores.

Enquanto a pressão estática máxima segundo a definição da NBR 12.218/2017 é a “Pressão referida ao eixo da via pública, em determinado ponto da rede, sob condição de consumo nulo”. Ou seja, a pressão estática máxima está relacionada com a resistência da canalização como também o controle das perdas de água.

As condições impostas pela ABNT (norma NBR 12.218/2017) para essas pressões são:

- 500 kPa (50 mca) para a pressão estática máxima;
- 100 kPa (10 mca) para a pressão dinâmica mínima.

Caso ocorra o não atendimento nas condições de pressão dinâmica mínima, pode ocasionar o comprometimento do abastecimento de água em certos pontos. Enquanto a pressão acima da pressão estática máxima compromete um maior custo energético no bombeamento, um maior custo de implantação das tubulações (para suportar a pressão), um consumo maior, entre outras.

#### **4.3.2 Velocidades mínimas e máximas**

A limitação de uma faixa de velocidade de escoamento dentro da tubulação está relacionada, de acordo com Tsutiya (2006), a durabilidade das peças e questões econômicas. Isso ocorre, pois, velocidades menores favorecem a durabilidade dos tubos, reduzindo a abrasão. Já as velocidades maiores estão relacionadas a maiores vazões e por consequência, uma rede mais econômica com tubos de menor diâmetro, porém com maiores custos energéticos e maiores perdas e desgaste.

A faixa de velocidades admitidas pela norma NBR 12218/1994 nas tubulações deve ser de 0,6 m/s para velocidade mínima e 3,5 m/s para velocidade máxima.

#### **4.3.3 Vazão máxima e mínima**

A norma não se refere diretamente a uma limitação da vazão de escoamento. Porém esse limite está relacionado com a limitação da velocidade. Além disso, as vazões devem, ainda, serem capazes de atender as demandas do sistema na situação mais desfavorável.

#### **4.3.4 Diâmetro mínimo**

Segunda a norma da ABNT (NBR 12218/1994) é recomendado um diâmetro mínimo de 50 mm para as tubulações secundárias, no entanto, para a tubulação principal não existe nenhuma recomendação, devendo principalmente ser observado os critérios de pressão para o seu dimensionamento.

#### **4.3.5 Perda de carga**

Quanto maior o comprimento do tubo e menor seu diâmetro existirá uma maior perda de carga, outro fator também que auxilia no aumento da perda de carga é a rugosidade interna dos tubos. Apesar de não ser expressa, na norma, uma limitação para a perda de carga unitária, esse é um fator importante que deverá ser analisado, especialmente em regiões com topografia plana, onde as perdas de carga na tubulação são fator limitante para a satisfação das condições de pressão do sistema. Por este motivo, algumas companhias de abastecimento de água colocam o limite de 8m/km como sendo o valor máximo de perda de carga unitária.

### **4.4 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO**

Em projetos de sistemas de abastecimento público os custos envolvidos na implantação de redes de distribuição de água, geralmente possuem valores muito elevados. Em meio às despesas de implantação da rede, pode-se considerar que os custos referentes à compra de tubulações são os mais significativos, uma vez que variam de acordo com o comprimento dos condutos, o material escolhido, os diâmetros e a pressão requerida.

É importante destacar que o presente trabalho não analisa os custos decorrentes da operação e manutenção de um SAA, tais como o tratamento de água, manutenção, entre outros. E sim, o custo da implantação da rede, como a aquisição de tubulação e seu assentamento.

Os dados para o insumo de fornecimento de tubulação foram realizados de acordo com o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) da tabela desonerada para o estado de Pernambuco, sendo janeiro de 2025 o mês de referência, estão mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Custo dos tubos.

| Fonte  | Código   | Descrição  | Unid. | Preço (R\$) |
|--------|----------|--|-------|-------------|
| SINAPI | 00036375 | TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 15, DN 50 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)  | M     | 20,75       |
| SINAPI | 00036376 | TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 15, DN 75 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)  | M     | 40,76       |
| SINAPI | 00009825 | TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 100 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665) | M     | 47,37       |
| SINAPI | 00009828 | TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 150 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665) | M     | 127,48      |

Fonte: Adaptado de SINAPI, 2025.

O custo do assentamento da tubulação depende de alguns fatores como o diâmetro do tubo a ser instalado e o nível de interferência do local a ser instalado. Para o assentamento das tubulações, sua cotação de preço foi realizada a partir da planilha de Composições da COMPESA do ano de 2024, descrita na Tabela 2.

Tabela 2 - Custo do assentamento dos tubos.

| Fonte   | Descrição   | Unid. | Preço (R\$) |
|---------|---|-------|-------------|
| COMPESA | ASSENTAMENTO DE TUBULAÇÃO PONTA E BOLSA EM PVC OU PRFV OU RPVC OU CPRFV COM CONEXÕES E PEÇAS ESPECIAIS - DN - 50 MM, INCLUSIVE CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA.          | M     | 2,04        |
| COMPESA | ASSENTAMENTO DE TUBULAÇÃO PONTA E BOLSA EM PVC OU PRFV OU RPVC OU CPRFV COM CONEXÕES E PEÇAS ESPECIAIS - DN - 75 MM, INCLUSIVE CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA.          | M     | 3,35        |
| COMPESA | ASSENTAMENTO DE TUBULACAO PONTA E BOLSA OU JUNTA TRAVADA INTERNA EM FERRO FUNDIDO COM CONEXOES E PECAS ESPECIAIS, DN - 100 MM, INCLUSIVE CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA | M     | 6,48        |
| COMPESA | ASSENTAMENTO DE TUBULACAO PONTA E BOLSA OU JUNTA TRAVADA INTERNA EM FERRO FUNDIDO COM CONEXOES E PECAS ESPECIAIS, DN - 150 MM, INCLUSIVE CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA | M     | 12,09       |

Fonte: Adaptado de COMPESA, 2023.

#### 4.5 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

A rede de distribuição será constituída de tubos de PVC PBA classe 20 com DN 50, 75, 100 e 150 mm. Para o dimensionamento das tubulações foi utilizado o programa de modelagem

hidráulica EPANET 2.0 e o Microsoft Office Excel para orçamento da rede e planilha de cálculo.

#### 4.5.1 Microsoft Office Excel

Com os critérios e parâmetros de projeto necessários para a realização do dimensionamento da rede estabelecidos, foram criadas planilhas de cálculo hidráulico no Microsoft Office Excel dividida em duas partes: dimensionamento hidráulico e orçamento dos custos de implantação.

Sequência de cálculo referente ao dimensionamento hidráulico:

Coluna 1: Identificação do trecho;

Colunas 2 e 3: Identificação dos nós, respectivamente, à jusante e à montante do trecho;

Coluna 4: Comprimento do trecho;

Coluna 5: Vazão da extremidade à jusante do trecho – nula para pontos de extremidade – Equação (5);

Coluna 6: Vazão de distribuição do trecho – Equação (2);

Coluna 7: Vazão montante do trecho – Equação (5);

Coluna 8: Vazão fictícia – Equação (10);

Coluna 9: Diâmetro interno do conduto;

Colunas 10 e 11: Cotas do terreno para os nós à montante e à jusante do trecho.

Sequência de cálculo referente ao orçamento dos custos de implantação:

Coluna 1: Fonte utilizada para o cálculo;

Coluna 2: Descrição do item;

Coluna 3: Unidade utilizada;

Coluna 4: Quantidade do item (comprimento total das tubulações para cada diâmetro obtido por meio da soma dos comprimentos dos trechos correspondentes);

Coluna 5: Preço unitário por metro;

Coluna 6: Custo total por diâmetro (produto entre o custo por metro de tubulação e o comprimento total por diâmetro).

Com dados inseridos e construída a planilha com detalhes do projeto como a rede, comprimentos, as cotas do terreno para os pontos de consumo e para o reservatório e a cota piezométrica do reservatório, deu-se início ao processo de dimensionamento ótimo da rede mista. Além da utilização das planilhas de cálculo para o dimensionamento da rede mista com base no traçado, a rede também foi simulada utilizando o programa EPANET, conforme apresentado no item seguinte.

#### 4.5.2 EPANET

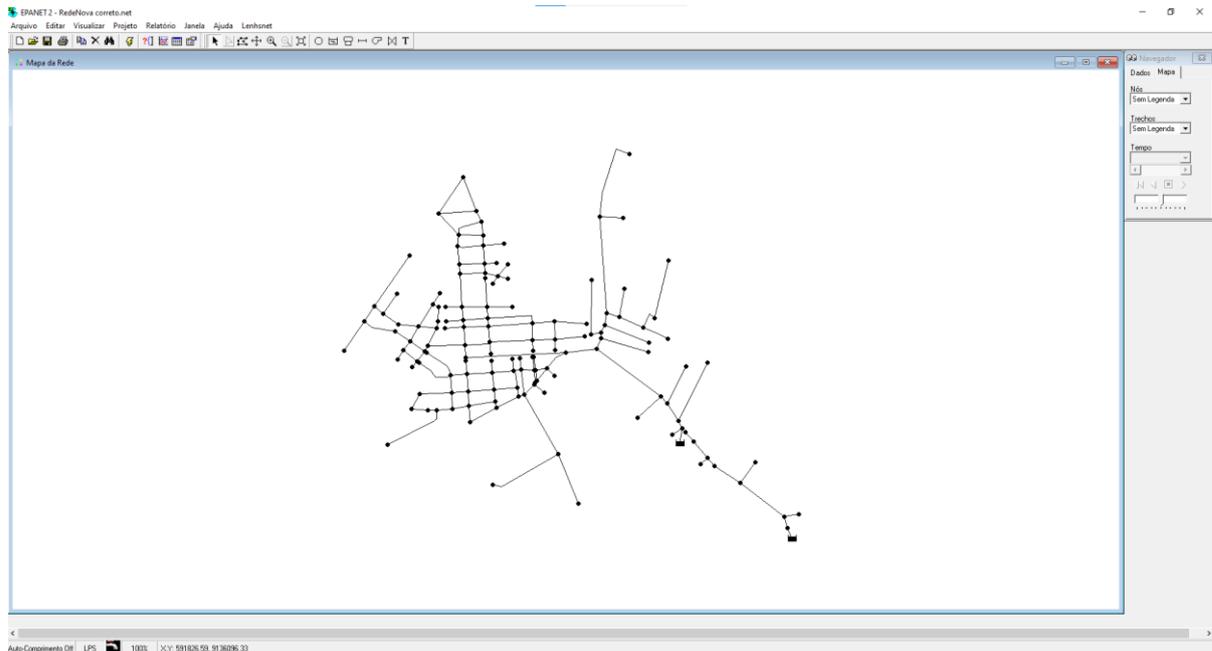
O EPANET é um software gratuito de código aberto desenvolvido pela Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental (EPA) para realizar simulações de redes pressurizadas de distribuição de água. Para realizar um traçado de uma rede no EPANET pode-se considerar um processo complicado quando não se dispõe de softwares complementares. Logo, para a realização deste trabalho foi utilizado o AutoCAD e o EpaCAD como programas auxiliares ao dimensionamento da rede.

Para trabalhar com informações no EPANET extraídas de um arquivo CAD é necessário a realização de ajustes dos dados a fim de gerar um arquivo capaz de ser lido pelo simulador, visto que, não é possível trabalhar com informações contidas em formato DWG, extensão dos arquivos do AutoCAD.

Para isso, o arquivo com o desenho da rede de distribuição passou por um processo de limpeza, permanecendo apenas a camada utilizada para o desenho da rede. Posteriormente, foram salvos em formato de desenho de intercâmbio (DXF) aceito por diversos programas, entre eles o EpaCAD, com capacidade de importar propriedades de arquivos CAD em formato DXF, tornando-se compatível com o EPANET. “Apesar do EpaCAD propiciar economia de tempo na modelagem, os modelos gerados necessitam de revisão, pois frequentemente trazem erros de conversão” (NARUMI ABE, 2014, p. 55)

Com o desenho convertido, foi iniciado o processo de modelagem da rede no EPANET. Para iniciar a modelagem, o arquivo INP foi aberto no programa conforme ilustrado na Figura 7. Posteriormente, os reservatórios de nível fixo foram adicionados ao mapa da rede e as propriedades comuns aos trechos e nós (como a rugosidade das tubulações) foram inseridas através do recurso de edição de grupo contido na guia “Editar”.

Figura 7 - Tela inicial do EPANET.



Fonte: Autor, 2025

Ao realizar a conversão de um projeto em CAD para formato INP as extensões das linhas desenhadas são transformadas em comprimento das tubulações, todavia, parâmetros como diâmetro, nível d'água do reservatório, cota do terreno e consumo-base dos nós precisam ser inseridos manualmente.

Com intuito de executar o dimensionamento estático da rede no EPANET, simulando o cenário de consumo do projeto original, é necessário calcular a soma da vazão de distribuição dos trechos ligados ao nó, para que se obtenha o consumo-base de cada nó. Após a realização do cálculo, os dados principais de entrada foram inseridos nas propriedades dos respectivos nós. Também foram feitas correções no comprimento dos trechos, a inserção dos diâmetros e a cota do nível d'água, conforme ilustrado nas Figura 8 e 9.

Figura 8 - Janela de edição de propriedades dos nós (à esquerda) e dos trechos (à direita).

| Nó 1                   |            | Trecho \                      |       |
|------------------------|------------|-------------------------------|-------|
| Propriedade            | Valor      | Propriedade                   | Valor |
| *Identificador do Nó   | 1          | *Identificador do Trecho      | \     |
| Coordenada X           | 594142.85  | *Nó Inicial                   | 112   |
| Coordenada Y           | 9135198.90 | *Nó Final                     | 127   |
| Descrição              |            | Descrição                     |       |
| Zona                   |            | Zona                          |       |
| *Cota                  | 869        | *Comprimento                  | 83    |
| Consumo-Base           | 0.066      | *Diâmetro                     | 50    |
| Padrão de Consumo      |            | *Rugosidade                   | 130   |
| Categorias de Consumo  | 1          | Coef. Perda de Carga Singular | 0     |
| Coef. do Emissor       |            | Estado Inicial                | Open  |
| Qualidade Inicial      |            | Coef. Reação no Escoamento    |       |
| Origem de Qualidade    |            | Coef. Reação na Parede        |       |
| Consumo Corrente       | #N/A       | Vazão                         | #N/A  |
| Carga Hidráulica Total | #N/A       | Velocidade                    | #N/A  |
| Pressão                | #N/A       | Perda de Carga                | #N/A  |

Fonte: Autor, 2025.

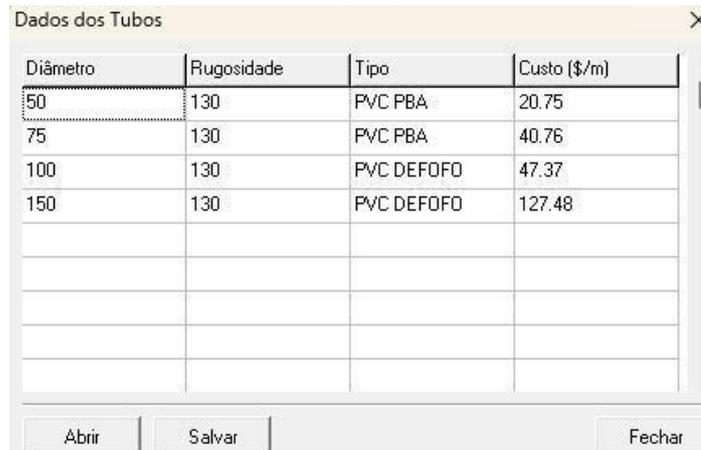
Figura 9 - Janela de edição de propriedades do reservatório de nível fixo.

| RNF R1                |            |
|-----------------------|------------|
| Propriedade           | Valor      |
| *Identificador do RNF | R1         |
| Coordenada X          | 594562.31  |
| Coordenada Y          | 9134773.45 |
| Descrição             |            |
| Zona                  |            |
| *Nível de Água        | 918        |
| Padrão de Nível       |            |
| Qualidade Inicial     |            |
| Origem de Qualidade   |            |
| Balanco de Vazão      | #N/A       |
| Nível de Água         | #N/A       |
| Pressão               | #N/A       |
| Qualidade             | #N/A       |

Fonte: Autor, 2025.

Logo após, se fez necessário configurar os parâmetros dos tubos para realização do orçamento, a guia LENHSNET foi aberta e a opção “Dados dos Tubos” acionada abrindo a caixa de diálogo mostrada na Figura 10. Na janela de edição foram inseridos tipos e custos em reais por metro referentes aos diâmetros nominais de tubulações comercializadas.

Figura 10 - Janela de configurações dos dados dos tubos.

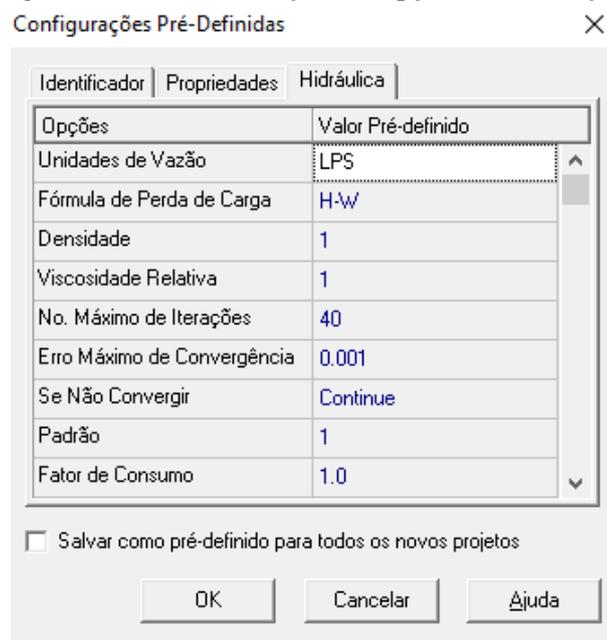


| Diâmetro | Rugosidade | Tipo       | Custo (\$/m) |
|----------|------------|------------|--------------|
| 50       | 130        | PVC PBA    | 20.75        |
| 75       | 130        | PVC PBA    | 40.76        |
| 100      | 130        | PVC DEFOFO | 47.37        |
| 150      | 130        | PVC DEFOFO | 127.48       |
|          |            |            |              |
|          |            |            |              |
|          |            |            |              |
|          |            |            |              |

Fonte: Autor, 2025.

Visto que adicionadas as propriedades dos nós, trechos e reservatório e os dados dos tubos, foram configuradas as unidades de vazão e a fórmula de cálculo da perda de carga contínua por meio da seleção de “Opções de Simulação” na guia “Projetos” (Figura 11).

Figura 11 - Janela de edição das opções de simulação.



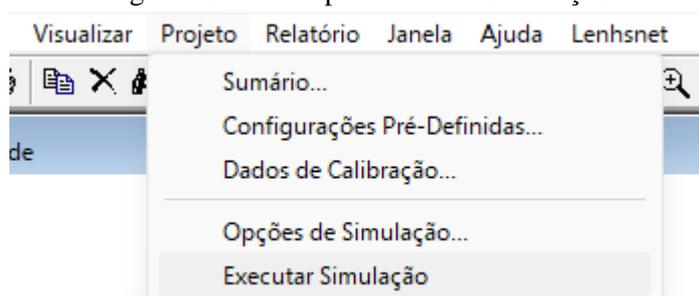
| Opções                      | Valor Pré-definido |
|-----------------------------|--------------------|
| Unidades de Vazão           | LPS                |
| Fórmula de Perda de Carga   | H-W                |
| Densidade                   | 1                  |
| Viscosidade Relativa        | 1                  |
| No. Máximo de Iterações     | 40                 |
| Erro Máximo de Convergência | 0.001              |
| Se Não Convergir            | Continue           |
| Padrão                      | 1                  |
| Fator de Consumo            | 1.0                |

Salvar como pré-definido para todos os novos projetos

Fonte: Autor, 2025.

Finalizadas as etapas de inserção de dados e configuração de opções de simulação, a rede foi dimensionada através da opção “Executar Simulação”.

Figura 12 - Janela para executar simulação.



Fonte: Autor, 2025.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos a partir da análise detalhada dos dados coletados durante o estudo, com o objetivo de avaliar a eficácia das políticas e práticas adotadas no abastecimento de água no município, bem como propor melhorias para a atual forma de abastecimento. A partir dessa abordagem, foi possível identificar padrões, desafios e possíveis melhorias que podem contribuir para o aprimoramento da gestão hídrica local.

### 5.1 ATUAL FORMA DE ABASTECIMENTO

Atualmente, o sistema de abastecimento de água da cidade de Santa Cruz da Baixa Verde é constituído por diversas formas, sendo eles: carros-pipas, “caminhões de água” e rede de distribuição de água implantada por empresários locais. A população do município não tem acesso à água potável, estando entre os 15,80% de brasileiros sem acesso à água conforme os dados do Instituto Trata Brasil (2022).

Figura 13 - Caminhão de água.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 14 - Carro-pipa.



Fonte: Autor, 2025.

Nestas águas não há fiscalização e tratamento correto, uma vez que grande parte é coletada de cacimbas ou poços amazonas. Outra problemática está relacionada a salinização, tornando-a imprópria para o consumo. Como consequência, a população utiliza a água principalmente para serviços domésticos, como higiene pessoal e limpeza da casa.

Além do mais, a rede de distribuição existente foi idealizada sem seguir nenhum critério de dimensionamento estabelecido por normas, de modo que, a implantação da tubulação

encontra-se no meio fio das calçadas e em pequenas profundidades, ficando grande parte da tubulação exposta, gerando quebra e vazamentos frequentes.

Figura 15 e 16 - Tubulação exposta.



Fonte: Autor, 2025.

Outro problema frequente é que pela rede ser implantada em locais inadequados, alguns trechos da tubulação ocasionam a obstrução do escoamento da água em época de chuva, gerando alagamentos nas ruas e transtornos para os residentes.

Figura 17 - Tubulação implantada.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 18 - Rua alagada.



Fonte: Autor, 2025.

Apesar dos vários meios de abastecimento de água, a população santacruzense sofre com a má qualidade desses recursos hídricos, pois os parâmetros utilizados não suprem as reais necessidades de um tratamento qualificado com resultados significativos. No entanto, além da má qualidade da água, os moradores enfrentam a falta da mesma, visto que com os meios utilizados não é possível abastecer toda a população e o valor da taxa de abastecimento de água cobrado por empreendedores locais chega a R\$ 90,00 superando em 60,26% da taxa mínima cobrada pela COMPESA que é de R\$ 56,16.

## 5.2 PARÂMETROS DE PROJETO

Para parâmetros e condições de projeto apresentados na metodologia, na Tabela 3 é apresentado um resumo dos dados utilizados.

Tabela 3 - Resumo dos Parâmetros e Critérios de Projeto.

| Parâmetro                           | Valor                | Unidade    |
|-------------------------------------|----------------------|------------|
| Cota piezométrica dos Reservatórios | R1                   | 918        |
|                                     | R2                   | 884        |
| Extensão da rede                    | 15.053,00            | m          |
| Números de nós                      | 139                  | -          |
| Números de trechos                  | 167                  | -          |
| Menor cota                          | 827                  | m          |
| Maior cota                          | 907                  | m          |
| Pressão dinâmica mínima requerida   | 10                   | mca        |
| Pressão dinâmica máxima requerida   | 50                   | mca        |
| Velocidade mínima requerida         | 0,6                  | m/s        |
| Velocidade máxima requerida         | 3,5                  | m/s        |
| Consumo Per Capita                  | 160                  | L/hab./dia |
| Material da Tubulação para DN<100   | PVC PBA JEI 15       | -          |
| Material da Tubulação para DN>=100  | PVC DEFoFo           | -          |
| Método de cálculo da Perda de Carga | Hazen-Williams (H-W) | -          |
| Coefficiente de rugosidade de H-W   | 130                  | -          |

Fonte: Autor, 2025.

A obtenção das cotas de níveis dos reservatórios foi realizada por meio de uma análise do local de implantação dos mesmos. Após a definição do posicionamento, foram escolhidos dois reservatórios com níveis de água fixos de 10 metros. O Reservatório 1 foi estabelecido com uma cota de 918 metros, enquanto o Reservatório 2 foi designado com uma cota de 884 metros, com o objetivo de garantir as melhores pressões para a rede de abastecimento.

Com as condições de projeto citadas na Tabela 1 e das equações propostas na metodologia, foram iniciados os cálculos dos parâmetros necessários para estimar a demanda de água requerida pela população da área de estudo. Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos dados calculados.

Tabela 4 - Parâmetros de cálculo da demanda de água.

| <b>Parâmetro</b>                | <b>Valor</b> | <b>Unidade</b> |
|---------------------------------|--------------|----------------|
| População de Projeto            | 6000         | hab.           |
| Vazão de Projeto                | 20,00        | L/s            |
| Vazão de distribuição em marcha | 0,00133      | L/s/m          |

Fonte: Autor, 2025.

### 5.3 MODELAGEM HIDRÁULICA

No Epanet 2.0 há duas divisões as quais precisam ser caracterizadas: os “nós” e os “trechos”. Os “nós” são formados a partir da junção da rede, onde considera pontos de abastecimento, enquanto os “trechos” são a tubulação da rede, ou seja, são os fragmentos da rede unidos pelos “nós”.

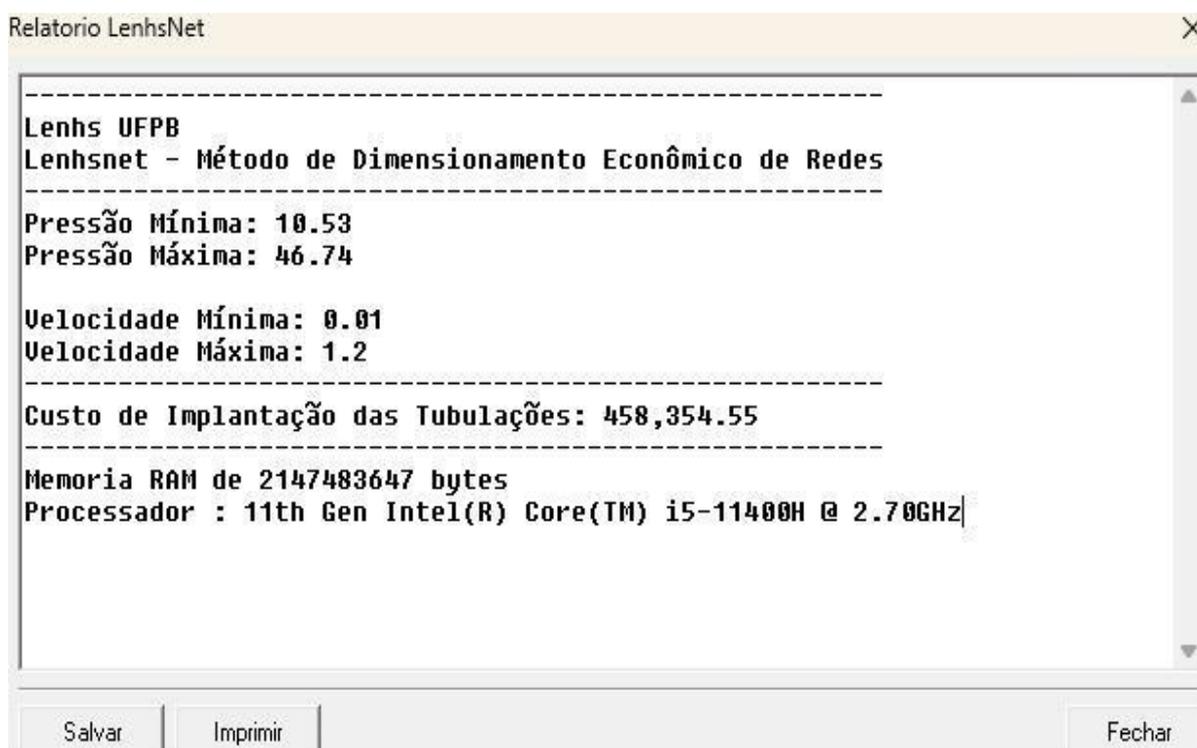
A entrada de dados para os “trechos”, como citado na metodologia, consiste em informar o diâmetro da tubulação, a rugosidade do material e seu comprimento. Ao todo, foram contabilizados 167 “trechos” em todo o sistema. Para os “nós”, foi realizada a inserção de dados do consumo base de água e cota natural do terreno em cada nó, totalizando um valor de 139 “nós” em todo projeto, sendo que sua quantidade é menor que a de tubos, pois, em diversos pontos do sistema ocorre a ramificação da rede, ou seja, de alguns “nós” partem mais que um ramal de abastecimento de água.

No sistema também foram cadastrados dois reservatórios de nível fixo (RNF). De modo simplificado, os reservatórios também são “nós” do sistema, diferenciando que estes apresentam um volume de armazenamento de água com capacidade ilimitada e carga hidráulica constante. Os reservatórios são estruturas externas à rede, os quais não são afetadas em relação

a carga hidráulica com o funcionamento do restante do sistema. A sua escolha foi optada principalmente pois o objetivo do trabalho não era avaliar a capacidade dos reservatórios e ainda, não se tinham informações suficientes para o cadastro de reservatórios com nível variável.

Concluído a inserção de dados para o dimensionamento, as caixas de informação e de estado da simulação puderam ser observadas através das tabelas e gráficos da guia projetos junto ao relatório final da guia LENHSNET onde são apresentados os limites de pressão e velocidade alcançados bem como o custo total das tubulações (Figura 19).

Figura 19 - Relatório de otimização



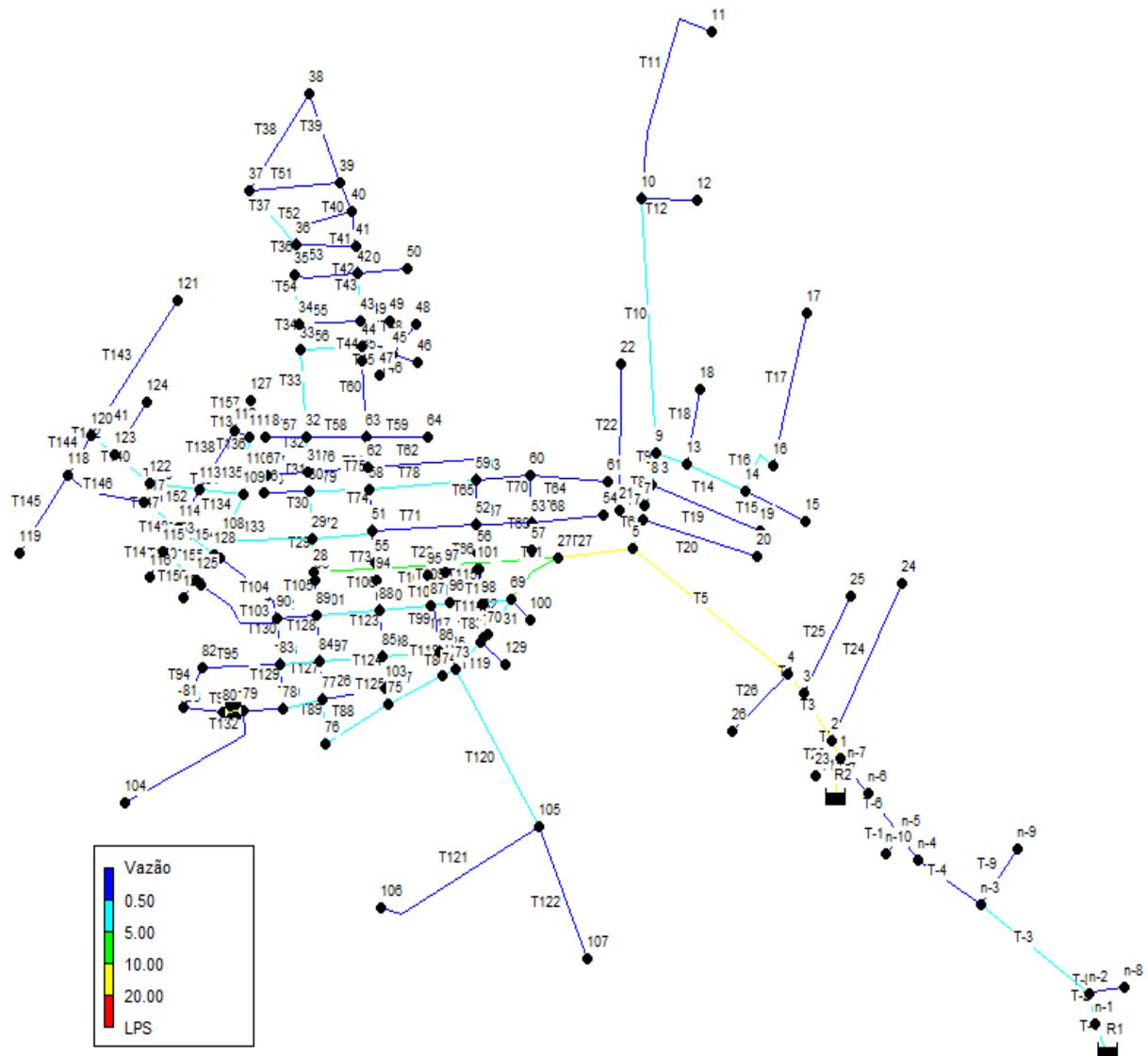
Fonte: Autor, 2025.

### 5.3.1 Vazão

A vazão de uma rede de água é um parâmetro fundamental para garantir a eficiência do abastecimento hídrico em uma determinada área. Além disso, é importante que a rede seja projetada para minimizar perdas, como vazamentos e rupturas, que podem comprometer a quantidade de água disponível e aumentar os custos operacionais. O monitoramento da vazão também permite identificar problemas na infraestrutura e otimizar a gestão dos recursos hídricos.

Com a simulação, foi possível verificar a vazão nos “trechos”. A ramificação que apresentou a maior vazão foi a rede principal, DN150, consequentemente, apresentou altas velocidades e maiores perdas. A maior vazão calculada foi no “trecho” 1, na rede principal, com 19,77 L/s. Na Figura 20 estão evidenciados os “trechos” em uma escala de cores, sendo vermelha a maior vazão e azul a menor vazão.

Figura 20 - Vazão da rede.



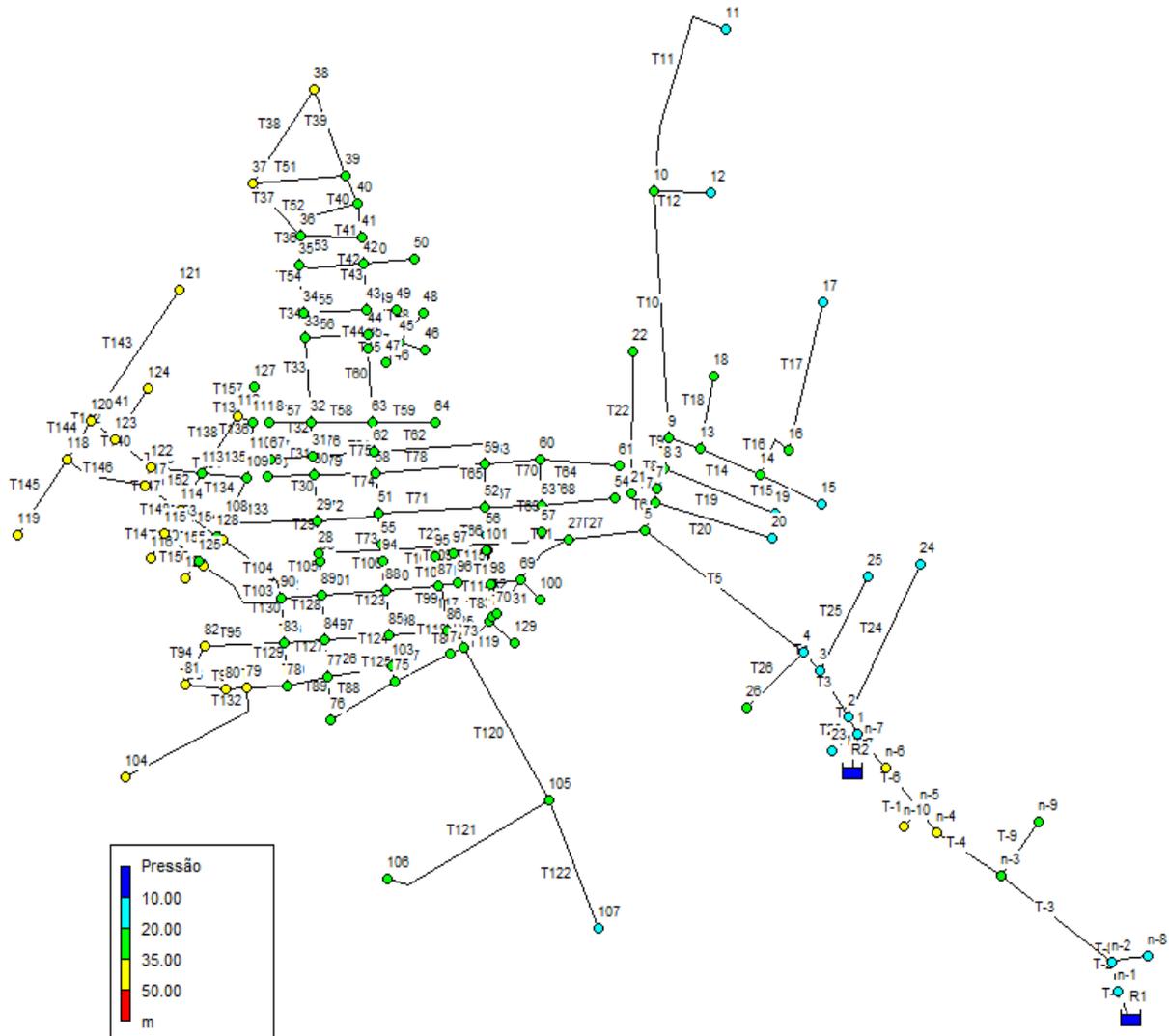
Fonte: Autor, 2025.

### 5.3.2 Pressão

Quanto às pressões da rede, observou-se que nos 139 nós da rede, todos atenderam as recomendações de pressão dinâmica mínima e estática máxima da NBR 12218/2017, respeitando os valores de 10 mca e 50 mca respectivamente, sendo o menor valor observado de

10,53 mca e o maior de 46,74 mca. Na Figura 21 é ilustrado o mapa de distribuição de pressões da rede.

Figura 21 - Distribuição de pressões na rede existente.



Fonte: Autor, 2025.

Nessa simulação, pôde-se notar que a pressão da rede em alguns pontos é muito elevada, no entanto, correspondem aos valores estabelecidos pela norma. Uma justificativa para pressões tão elevadas é o alto desnível topográfico entre os reservatórios e os pontos de abastecimento. Isso se confirma ao verificar, por exemplo, a cota da saída do reservatório 2 (884,00 m) com o nó 82 (834,00 m) de maior pressão, uma diferença de 50,00 m fazendo com que a pressão, mesmo desconsiderando as perdas do sistema seja elevada.

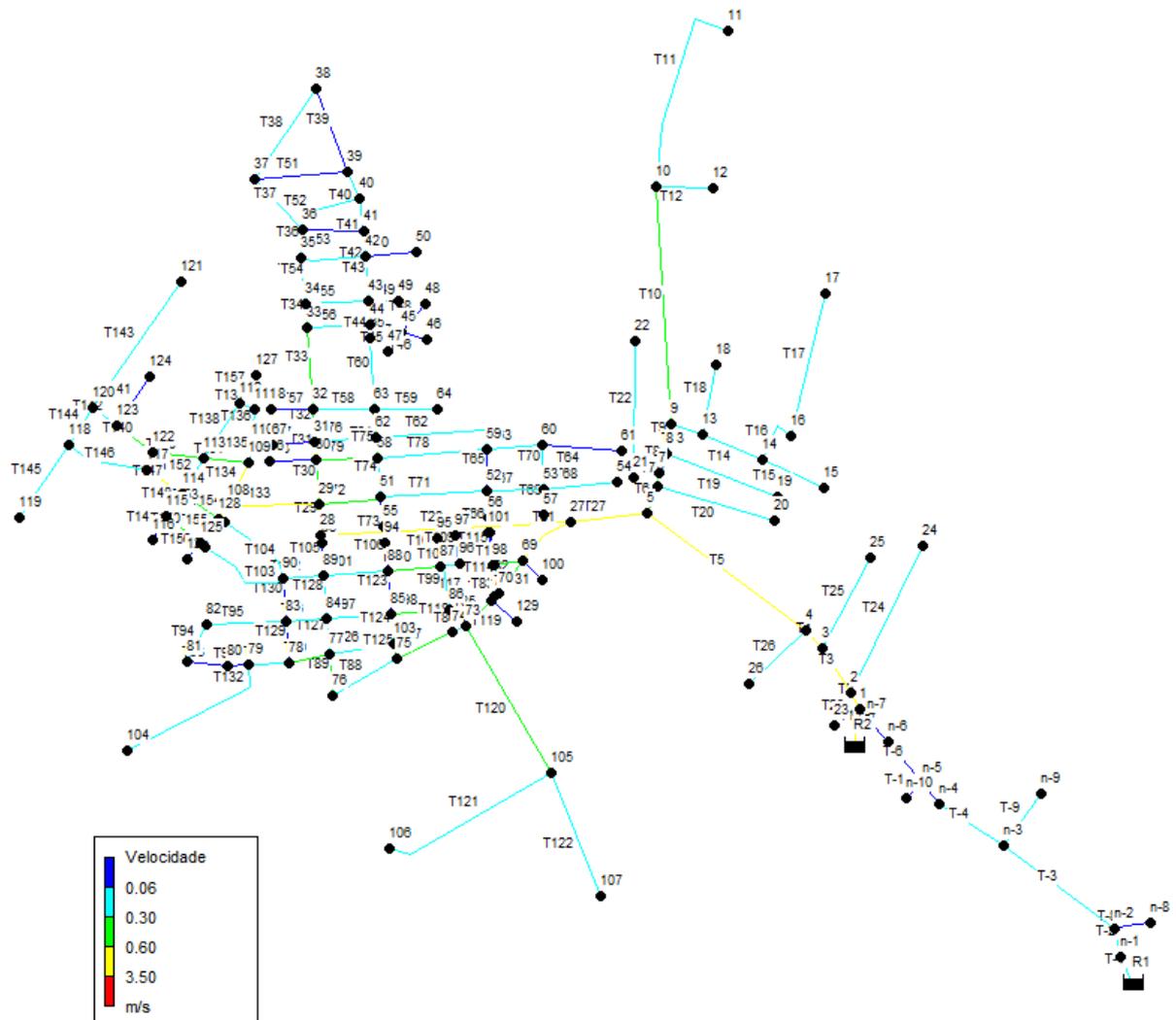
No entanto, um recurso a ser adotado se a pressão não atendesse ao critério da norma e para um melhor funcionamento da rede, seria a válvula redutora de pressão, que é um

mecanismo capaz de reduzir e estabilizar a pressão dos fluídos nas instalações dentro de uma faixa de valor desejada.

### 5.3.3 Velocidade

A velocidade também é outro item muito importante a ser avaliado, observou-se que a velocidade mínima encontrada em 39 dos 167 trechos da rede foi inferior a 0,06 m/s, valor 10 vezes menor que o mínimo recomendado pela NBR 12218/2017. Nota-se também que apenas 16 trechos alcançaram a velocidade mínima de 0,6 m/s atingindo uma velocidade máxima de 1,20 m/s. Na Figura 22 está representada a modelagem com a identificação das velocidades em cores. Na cor azul, destacam-se os trechos com velocidade mínima menor que 0,06 m/s.

Figura 22 - Distribuição das velocidades na rede.

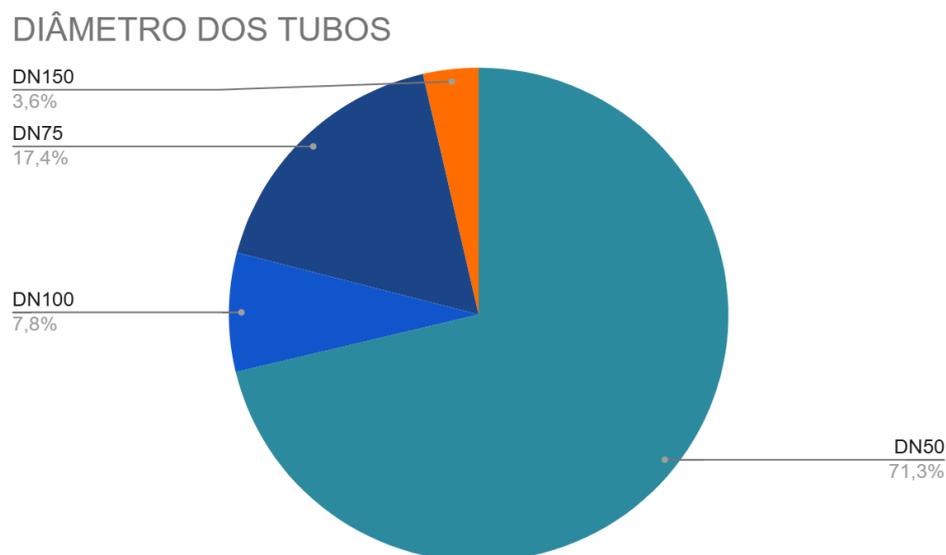


Fonte: Autor, 2025.

Nos trechos, uma grande porcentagem apresentou velocidade muito baixa, consequentemente a vazão entregue nos pontos pode não ser a mínima necessária para o abastecimento e pode ocorrer acúmulo de impurezas na água. A NBR 12.218 orienta que devem ser evitadas velocidades inferiores a 0,40 m/s, e na fase de enchimento admite-se que a velocidade mínima seja de 0,30 m/s (ABNT, 2017).

Tendo em vista que a velocidade mínima não está sendo atingida em diversos pontos dos “trechos”, uma alternativa seria redimensionar as tubulações para aumentar a velocidade da água. Isso pode envolver a substituição de tubulações por outras de diâmetro menor nas redes de 75, 100 e 150 milímetros, uma vez que NBR 12.218 estabelece diâmetro mínimo de 50 mm, ou ajustes na configuração da rede.

Figura 23 - Gráfico com diâmetros dos tubos.



Fonte: Autor, 2025.

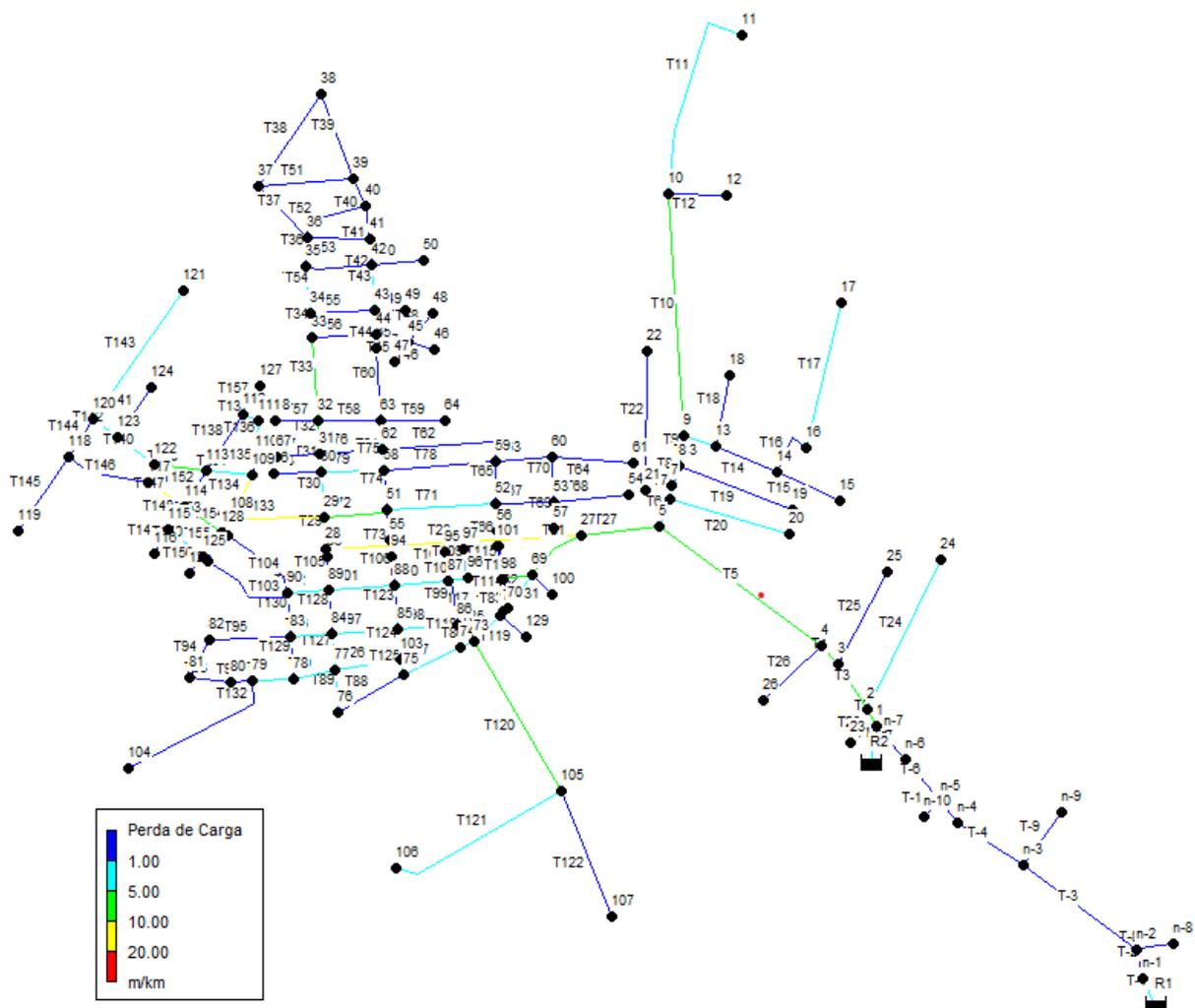
Outra possibilidade está relacionada ao aumento da pressão, pois, implementar sistemas de bombeamento que aumentem a pressão na rede, resultará no melhoramento da velocidade do fluxo. Isso deve ser feito de forma cuidadosa para não exceder os limites seguros para as tubulações.

### 5.3.4 Perda de carga

Simultaneamente, outra diferença observada diz respeito à perda de carga unitária. Com os cálculos realizados pela fórmula de Hazen-Williams, constatou-se que os maiores valores para perda de carga estão nos trechos cuja velocidade é mais alta, por serem diretamente proporcionais. A maior perda de carga, de acordo com a simulação, é no trecho 28 da rede principal, com 17,11 m/km.

A perda de carga como citada anteriormente, está relacionada também com o coeficiente de Hazen-Williams e ao comprimento do “trecho”, pois quanto maior, maior será a perda de carga. Na Figura 24 estão representadas por uma escala de cores a perda de carga nos “trechos”.

Figura 24 - Perda de carga nos "trechos".



Fonte: Autor, 2025.

Em geral, a NBR 12.218 recomenda que a perda de carga máxima seja de 10 m/km para evitar pressão baixa na rede. Entretanto, dos 167 “trechos” do projeto dimensionado, 5

superaram o valor máximo determinado por norma. Logo, medidas como aumentar o diâmetro da tubulação e escolha adequada do material com menor rugosidade, farão com que minimizem as perdas de cargas por atrito.

#### 5.4 ESTIMATIVA DE CUSTO

Para determinar o custo total das tubulações, foi realizada a avaliação econômica subsidiada pela tabela desonerada do SINAPI (ver Tabela 1), para o Estado de Pernambuco, referente ao mês de janeiro de 2025.

Tabela 5 - Custo total para aquisição dos tubos.

| Fonte         | Descrição  | Unid. | Quant.    | Preço (R\$) |                   |
|---------------|--|-------|-----------|-------------|-------------------|
|               |  |       |           | Unitário    | Total             |
| SINAPI        | TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 15, DN 50 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)  | M     | 10.914,00 | 20,75       | 226.465,50        |
| SINAPI        | TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 15, DN 75 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)  | M     | 2.567,00  | 40,76       | 104.630,92        |
| SINAPI        | TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 100 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665) | M     | 913,00    | 47,37       | 43.248,81         |
| SINAPI        | TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 150 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665) | M     | 659,00    | 127,48      | 84.009,32         |
| <b>TOTAL:</b> |  |       |           |             | <b>458.354,55</b> |

Fonte: Autor, 2025

Resultando em um custo de R\$ 458.354,55, valor no qual pode ser encontrado no orçamento otimizado realizado pelo EPANET (Figura 19).

Para as composições referentes ao assentamento das tubulações, tendo como base a COMPESA (ver Tabela 2), obtive um custo total de R\$ 44.747,56.

Tabela 6 - Custo total para assentamento dos tubos.

| Fonte   | Descrição  | Unid. | Quant.    | Preço (R\$) |          |
|---------|--|-------|-----------|-------------|----------|
|         |  |       |           | Unit.       | Total    |
| COMPESA | ASSENTAMENTO DE TUBULAÇÃO PONTA E BOLSA EM PVC OU PRFV OU RPVC OU CPRFV COM CONEXÕES E PEÇAS ESPECIAIS - DN - 50 MM, INCLUSIVE CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA. | M     | 10.914,00 | 2,04        | 22264,56 |

| Fonte   | Descrição   | Unid. | Quant.   | Preço (R\$)   |                  |
|---------|---|-------|----------|---------------|------------------|
|         |   |       |          | Unit.         | Total            |
| COMPESA | ASSENTAMENTO DE TUBULAÇÃO PONTA E BOLSA EM PVC OU PRFV OU RPVC OU CPRFV COM CONEXÕES E PEÇAS ESPECIAIS - DN - 75 MM, INCLUSIVE CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA.          | M     | 2.567,00 | 3,35          | 8599,45          |
| COMPESA | ASSENTAMENTO DE TUBULACAO PONTA E BOLSA OU JUNTA TRAVADA INTERNA EM FERRO FUNDIDO COM CONEXOES E PECAS ESPECIAIS, DN - 100 MM, INCLUSIVE CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA | M     | 913,00   | 6,48          | 5916,24          |
| COMPESA | ASSENTAMENTO DE TUBULACAO PONTA E BOLSA OU JUNTA TRAVADA INTERNA EM FERRO FUNDIDO COM CONEXOES E PECAS ESPECIAIS, DN - 150 MM, INCLUSIVE CARGA, TRANSPORTE E DESCARGA | M     | 659,00   | 12,09         | 7967,31          |
|         |   |       |          | <b>TOTAL:</b> | <b>44.747,56</b> |

Fonte: Autor, 2025

Por fim, quanto à relação de diâmetros dos condutos utilizados, a rede mista foi dimensionada com 167 trechos com canalização de 50 mm (71,26%), de 75 mm (17,37%), de 100 mm (7,78%) e de 150 mm (3,59%), apresentando um custo parcial de aquisição e assentamento das tubulações de R\$ 506.102,11.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho possibilitou caracterizar o sistema de abastecimento de água no município de Santa Cruz da Baixa Verde, de modo a elaborar um traçado para a rede de distribuição e estimar seu custo de implantação a partir dos softwares Excel e EPANET.

Com o desenvolvimento e análise dos resultados, apontou-se que o método de dimensionamento analisado obteve soluções satisfatórias para o traçado de rede de distribuição de água. A rede proposta possui uma extensão total de 15.053,00 m, em tubos PVC PBA e DEFoFo, com diâmetro de 50, 75, 100 e 150 mm, conectando o reservatório à rede de distribuição. Salienta-se que a concepção elaborada, facilita o atendimento da localidade em casos de expansão das áreas ocupadas, visto que sua demanda populacional vem regredindo e o presente trabalho adotou de um número superior ao último resultado do levantamento populacional.

Em relação ao cálculo da vazão de projeto, a metodologia adotada determinou um valor de 20 L/s para atender os consumidores existentes, sendo o mesmo utilizado para o dimensionamento da rede. Entretanto, com esse valor não foi possível alcançar a condição de velocidade mínima exigida pela NBR 12218/2017 para todos os trechos, visto que a sua vazão é muito pequena. Quanto à pressão dinâmica mínima e estática máxima, foi possível atingir os valores da referida norma em todos os nós, sendo que a menor pressão foi de 10,53 mca, correspondendo a um valor superior ao mínimo exigido de 10,00 mca.

No que tange a avaliação econômica, o custo de instalação da rede proposta foi de 506.102,11 reais, no entanto, esse valor inclui apenas a aquisição e assentamento da tubulação. Dessa forma, propõe-se que o traçado sirva como orientação para futuras implantações e melhoramentos na rede de abastecimento do local, buscando investimentos governamentais com finalidade de garantir o bem-estar e superar os riscos à saúde impostos pela água.

Para resultados ainda mais precisos e uma melhor apresentação do projeto de rede de abastecimento de água da cidade de Santa Cruz da Baixa Verde, recomenda-se, portanto, que poderá ser realizado o detalhamento da rede e suas conexões a partir de outros softwares e até mesmo a comparação com outros métodos de simulação hidráulica existentes no mercado. Inclui-se também como trabalho posterior ao realizado, que se faça uma avaliação qualitativa do atual abastecimento do município, visto que ocorre através de poços de água bruta, estudando a possibilidade de haver melhora no suprimento de água com o seu devido tratamento.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO PRINCE, A. **Rede de distribuição.** In: HELLER, L. e PÁDUA, V.L. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006, cap. 14, pg. 603-681.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 12.218: 2017 – Sistema de abastecimento de água – Projeto e execução.* Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12218:1994 – Diretrizes para o planejamento e operação de sistemas de abastecimento de água potável.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AZEVEDO NETTO, J. M. ; RICHTER, C.A. **Tratamento de Água Tecnologia Atualizada. In: O tratamento de água.** São Paulo: Editora Edgar Blucher LTDA, 1991.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Manual de Referência para Elaboração de Projetos de Sistemas de Abastecimento de Água.** Brasília: SNSA, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011.** Estabelece os procedimentos relativos à potabilidade da água para consumo humano. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Diretrizes para tratamento de água.** Brasília, 2020.

BRASIL. **Marco legal do saneamento básico nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. [S. l.], 16 jul. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 14 set. 2024.

BRASIL, Trata. Instituto trata brasil. **Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Preservação Ambiental.** São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2012.

CAVINATTO, P. L. **Tratamento de água.** 2. ed. São Paulo: CETESB, 1992.

FUNASA. **Plano Nacional de Saneamento Básico.** Brasília: FUNASA, 2019. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/plano-nacional-saneamento>. Acesso em: 01 out. 2024.

GONÇALVES, S. A. **A Política Pública de Saneamento no Brasil: da Lei 11.445/2007 aos movimentos político-institucionais para sua revisão.** Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/40168>. Acesso em: 12 set. 2024.

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2010. 872 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Histórico de Santa Cruz da Baixa Verde**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/santa-cruz-da-baixa-verde/historico>. Acesso em: 14 set. 2025.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Santa Cruz da Baixa Verde – Panorama**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/santa-cruz-da-baixa-verde/panorama>. Acesso em: 15 set. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua: rendimento de todas as fontes 2024**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2025.

KELLNER, E. **Introdução ao EPANET: Simulação e dimensionamento de sistemas de abastecimento de água**. São Carlos: UFSCar/CPOI, 2022. 186 p.

LOBO, L. **Saneamento Básico: em busca da universalização**. Brasília, 2003.

MIGLIORINI, F. F. **Dimensionamento de um sistema de esgotamento sanitário na microbacia do Arroio Barracão, Município de Guaropé-RS**. 2019, p. 22. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/2758/1/2019FernandoFrigoMigliorini.pdf>. Acesso em: 05 set. 2024.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2023**. Brasília: Ministério das Cidades, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos>. Acesso em: 15 jan. 2025.

MONTENEGRO, M.H. **Perspectivas da gestão associada nos serviços públicos de saneamento básico**. In: Seminário Regionalização e Gestão Associada de Serviços Públicos de Saneamento Básico. Brasília: PMSS, 2006.

OLIVEIRA, R. **Planejamento municipal e sustentabilidade no abastecimento de água**. Revista Brasileira de Planejamento Urbano, 18(2), 45-60. São Paulo, 2016.

PEREIRA, H. S.; SILVA, S. S. F.; SOUZA, V. C. **Saneamento Básico e seus Impactos na Saúde Pública no Brasil. Meio Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento: Uma Abordagem Sistêmica do Comportamento Humano**. 1ed. Campina Grande: EDUFCG, 2010, v. 1, p. 103-124.

REZENDE, F. C. **Políticas públicas e saneamento básico: a Compesa entre o Estado e o mercado.** Revista de Administração Pública, v. 30, n. 4, p. 87 a 107-87 a 107, 1994.

SAKER, J. P. P. **Saneamento Básico e Desenvolvimento.** Dissertação. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2017.

SALLES, M. J. **Política Nacional de Saneamento: percorrendo caminhos em busca da universalização.** 2008. 185 f. Tese Ddo em outoraCiências na área de Saúde Pública. – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2008.

SALVINO, M. M. **Método de dimensionamento e controle operacional otimizado para redes de distribuição de água.** UFPB. João Pessoa, 2009.

SATO, H. **Gestão de recursos hídricos no Brasil: Desafios e perspectivas.** Editora Acadêmica, São Paulo, 2012.

SOUSA, A. C. A.; GOMES, J. P.. **Desafios para o investimento público em saneamento no Brasil.** Saúde em Debate, v. 43, p. 36-49, 2019.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E INDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. **SINAPI 2025: Pesquisa de Custos para o Estado de Pernambuco.** 2025. Disponível em: [https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria\\_653](https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_653). Acesso em: 15 jan. 2025.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água.** São Paulo, 2006.

TUROLLA, F. A. **Análise econômica do setor de saneamento.** 2002. 150 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

## ANEXO A – DIMENSIONAMENTO DA REDE: TRECHOS, NÓS E COTAS.

Tabela 7 – Dimensionamento da rede.

| População (hab) | C. Rede (m) | C. P. Capta (L/hab.dia) | qa (L/s/m) | C   | (K1xK2) | Qa (L/s) | V (L/dia) | Altura reservatório |
|-----------------|-------------|-------------------------|------------|-----|---------|----------|-----------|---------------------|
| 6000            | 14953       | 160                     | 0,00134    | 130 | 1,8     | 20,000   | 1728000   | 10                  |

| Trecho ID | Nó      |          | Comp. (m) | Vazão (l/s) |        |          |          | Diâm. (mm) | Cota do terreno |         |
|-----------|---------|----------|-----------|-------------|--------|----------|----------|------------|-----------------|---------|
|           | Jusante | Montante |           | Jusante     | Trecho | Montante | Fictícia |            | Montante        | Jusante |
| 158       | 131     | 116      | 83        | 0,000       | 0,111  | 0,111    | 0,056    | 50         | 834             | 835     |
| 157       | 130     | 129      | 30        | 0,000       | 0,040  | 0,040    | 0,020    | 50         | 835             | 833     |
| 156       | 129     | 132      | 49        | 0,040       | 0,066  | 0,106    | 0,073    | 50         | 838             | 835     |
| 155       | 132     | 112      | 27        | 0,106       | 0,036  | 0,142    | 0,124    | 50         | 840             | 838     |
| 154       | 132     | 118      | 65        | 0,106       | 0,087  | 0,193    | 0,149    | 50         | 834             | 838     |
| 153       | 118     | 117      | 61        | 0,193       | 0,082  | 0,274    | 0,233    | 50         | 835             | 834     |
| 152       | 117     | 113      | 73        | 0,274       | 0,098  | 0,372    | 0,323    | 50         | 840             | 835     |
| 151       | 129     | 119      | 62        | 0,040       | 0,083  | 0,123    | 0,082    | 50         | 834             | 835     |
| 150       | 120     | 119      | 43        | 0,000       | 0,058  | 0,058    | 0,029    | 50         | 832             | 830     |
| 149       | 119     | 118      | 45        | 0,181       | 0,060  | 0,241    | 0,211    | 50         | 834             | 832     |
| 148       | 118     | 121      | 70        | 0,433       | 0,094  | 0,527    | 0,480    | 50         | 831             | 834     |
| 147       | 121     | 122      | 133       | 0,527       | 0,178  | 0,705    | 0,616    | 50         | 832             | 831     |
| 146       | 123     | 122      | 133       | 0,000       | 0,178  | 0,178    | 0,089    | 50         | 832             | 827     |
| 145       | 122     | 124      | 70        | 0,883       | 0,094  | 0,976    | 0,930    | 50         | 832             | 832     |
| 144       | 125     | 124      | 250       | 0,000       | 0,334  | 0,334    | 0,167    | 50         | 832             | 830     |
| 143       | 124     | 127      | 44        | 1,311       | 0,059  | 1,370    | 1,340    | 75         | 832             | 832     |
| 142       | 128     | 127      | 71        | 0,000       | 0,095  | 0,095    | 0,047    | 50         | 832             | 832     |
| 141       | 127     | 126      | 76        | 1,465       | 0,102  | 1,566    | 1,515    | 75         | 831             | 832     |
| 140       | 126     | 117      | 76        | 1,566       | 0,102  | 1,668    | 1,617    | 75         | 835             | 831     |
| 139       | 117     | 116      | 98        | 1,942       | 0,131  | 2,073    | 2,008    | 75         | 834             | 835     |
| 138       | 116     | 115      | 31        | 2,184       | 0,041  | 2,226    | 2,205    | 75         | 836             | 834     |
| 137       | 115     | 114      | 56        | 2,226       | 0,075  | 2,301    | 2,263    | 75         | 839             | 836     |
| 136       | 114     | 113      | 26        | 2,301       | 0,035  | 2,335    | 2,318    | 75         | 840             | 839     |
| 135       | 113     | 112      | 75        | 2,707       | 0,100  | 2,807    | 2,757    | 75         | 840             | 840     |
| 134       | 112     | 33       | 140       | 2,949       | 0,187  | 3,137    | 3,043    | 100        | 847             | 840     |
| 133       | 108     | 83       | 244       | 0,000       | 0,326  | 0,326    | 0,163    | 50         | 840             | 836     |
| 132       | 104     | 73       | 37        | 0,000       | 0,049  | 0,049    | 0,025    | 50         | 837             | 848     |
| 131       | 94      | 87       | 62        | 0,000       | 0,083  | 0,083    | 0,041    | 50         | 845             | 844     |
| 130       | 87      | 82       | 66        | 0,083       | 0,088  | 0,171    | 0,127    | 50         | 843             | 845     |
| 129       | 93      | 88       | 70        | 0,000       | 0,094  | 0,094    | 0,047    | 50         | 848             | 849     |
| 128       | 88      | 81       | 57        | 0,094       | 0,076  | 0,170    | 0,132    | 50         | 847             | 848     |
| 127       | 81      | 107      | 102       | 0,170       | 0,136  | 0,306    | 0,238    | 50         | 850             | 847     |
| 126       | 107     | 79       | 28        | 0,306       | 0,037  | 0,344    | 0,325    | 50         | 850             | 849     |

| Trecho | Nó      |          | Comp.<br>(m) | Vazão (l/s) |        |          |          | Diâm.<br>(mm) | Cota do terreno |         |
|--------|---------|----------|--------------|-------------|--------|----------|----------|---------------|-----------------|---------|
|        | Jusante | Montante |              | Jusante     | Trecho | Montante | Fictícia |               | Montante        | Jusante |
| 125    | 89      | 107      | 47           | 0,000       | 0,063  | 0,063    | 0,031    | 50            | 850             | 851     |
| 124    | 89      | 92       | 67           | 0,000       | 0,090  | 0,090    | 0,045    | 50            | 852             | 851     |
| 123    | 111     | 109      | 184          | 0,000       | 0,246  | 0,246    | 0,123    | 50            | 846             | 864     |
| 122    | 110     | 109      | 325          | 0,000       | 0,435  | 0,435    | 0,217    | 50            | 846             | 841     |
| 121    | 109     | 77       | 315          | 0,681       | 0,421  | 1,102    | 0,891    | 50            | 850             | 846     |
| 120    | 133     | 76       | 50           | 0,000       | 0,067  | 0,067    | 0,033    | 50            | 851             | 848     |
| 119    | 78      | 90       | 50           | 0,000       | 0,067  | 0,067    | 0,033    | 50            | 852             | 850     |
| 118    | 77      | 100      | 96           | 1,102       | 0,128  | 1,231    | 1,166    | 75            | 854             | 850     |
| 117    | 75      | 102      | 60           | 0,000       | 0,080  | 0,080    | 0,040    | 50            | 853             | 852     |
| 116    | 105     | 102      | 43           | 0,000       | 0,058  | 0,058    | 0,029    | 50            | 853             | 853     |
| 115    | 74      | 103      | 40           | 0,000       | 0,054  | 0,054    | 0,027    | 50            | 853             | 852     |
| 114    | 106     | 103      | 43           | 0,000       | 0,058  | 0,058    | 0,029    | 50            | 853             | 853     |
| 113    | 103     | 73       | 53           | 0,111       | 0,071  | 0,182    | 0,146    | 50            | 852             | 853     |
| 112    | 103     | 102      | 8            | 0,111       | 0,011  | 0,122    | 0,116    | 50            | 853             | 853     |
| 111    | 102     | 100      | 45           | 0,259       | 0,060  | 0,320    | 0,290    | 50            | 854             | 853     |
| 110    | 101     | 100      | 42           | 0,000       | 0,056  | 0,056    | 0,028    | 50            | 854             | 853     |
| 109    | 100     | 91       | 32           | 1,606       | 0,043  | 1,649    | 1,628    | 75            | 853             | 854     |
| 108    | 99      | 91       | 46           | 0,000       | 0,062  | 0,062    | 0,031    | 50            | 853             | 853     |
| 107    | 98      | 92       | 34           | 0,000       | 0,045  | 0,045    | 0,023    | 50            | 852             | 852     |
| 106    | 97      | 93       | 44           | 0,000       | 0,059  | 0,059    | 0,029    | 50            | 849             | 848     |
| 105    | 96      | 94       | 125          | 0,000       | 0,167  | 0,167    | 0,084    | 50            | 844             | 838     |
| 104    | 95      | 94       | 133          | 0,000       | 0,178  | 0,178    | 0,089    | 50            | 844             | 835     |
| 103    | 94      | 93       | 65           | 0,345       | 0,087  | 0,432    | 0,389    | 50            | 849             | 844     |
| 102    | 93      | 92       | 98           | 0,491       | 0,131  | 0,622    | 0,556    | 50            | 852             | 849     |
| 101    | 92      | 91       | 83           | 0,757       | 0,111  | 0,868    | 0,813    | 50            | 853             | 852     |
| 100    | 91      | 90       | 67           | 2,579       | 0,090  | 2,668    | 2,624    | 75            | 852             | 853     |
| 99     | 90      | 89       | 88           | 2,735       | 0,118  | 2,853    | 2,794    | 75            | 851             | 852     |
| 98     | 89      | 88       | 101          | 2,853       | 0,135  | 2,988    | 2,920    | 75            | 848             | 851     |
| 97     | 88      | 87       | 61           | 3,082       | 0,082  | 3,163    | 3,122    | 100           | 845             | 848     |
| 96     | 87      | 86       | 118          | 3,246       | 0,158  | 3,404    | 3,325    | 100           | 834             | 845     |
| 95     | 86      | 85       | 67           | 3,404       | 0,090  | 3,494    | 3,449    | 100           | 834             | 834     |
| 94     | 85      | 84       | 62           | 3,494       | 0,083  | 3,577    | 3,535    | 100           | 838             | 834     |
| 93     | 84      | 83       | 35           | 3,577       | 0,047  | 3,623    | 3,600    | 100           | 840             | 838     |
| 92     | 83      | 82       | 62           | 3,950       | 0,083  | 4,033    | 3,991    | 100           | 843             | 840     |
| 91     | 82      | 81       | 65           | 4,204       | 0,087  | 4,291    | 4,247    | 100           | 847             | 843     |
| 90     | 81      | 80       | 59           | 4,461       | 0,079  | 4,540    | 4,500    | 100           | 844             | 847     |
| 89     | 80      | 79       | 109          | 4,540       | 0,146  | 4,685    | 4,612    | 100           | 849             | 844     |
| 88     | 79      | 78       | 96           | 5,029       | 0,128  | 5,158    | 5,093    | 100           | 850             | 849     |
| 87     | 78      | 77       | 25           | 5,158       | 0,033  | 5,191    | 5,174    | 100           | 850             | 850     |
| 86     | 77      | 76       | 53           | 6,293       | 0,071  | 6,364    | 6,329    | 150           | 851             | 850     |

| Trecho | Nó      |          | Comp.<br>(m) | Vazão (l/s) |        |          |          | Diâm.<br>(mm) | Cota do terreno |         |
|--------|---------|----------|--------------|-------------|--------|----------|----------|---------------|-----------------|---------|
|        | Jusante | Montante |              | Jusante     | Trecho | Montante | Fictícia |               | Montante        | Jusante |
| 86a    | 76      | 75       | 8            | 6,431       | 0,011  | 6,442    | 6,436    | 150           | 850             | 852     |
| 85     | 75      | 74       | 24           | 6,442       | 0,032  | 6,474    | 6,458    | 150           | 852             | 852     |
| 84     | 74      | 73       | 59           | 6,474       | 0,079  | 6,553    | 6,513    | 150           | 852             | 852     |
| 83     | 73      | 31       | 90           | 6,784       | 0,120  | 6,904    | 6,844    | 150           | 850             | 852     |
| 82     | 70      | 34       | 75           | 0,000       | 0,100  | 0,100    | 0,050    | 50            | 845             | 841     |
| 81     | 34      | 62       | 90           | 0,100       | 0,120  | 0,221    | 0,161    | 50            | 848             | 845     |
| 80     | 62      | 63       | 171          | 0,221       | 0,229  | 0,449    | 0,335    | 50            | 847             | 848     |
| 79     | 71      | 35       | 71           | 0,000       | 0,095  | 0,095    | 0,047    | 50            | 842             | 840     |
| 78     | 35      | 66       | 94           | 0,095       | 0,126  | 0,221    | 0,158    | 50            | 845             | 842     |
| 77     | 66      | 62       | 30           | 0,221       | 0,040  | 0,261    | 0,241    | 50            | 848             | 845     |
| 76     | 62      | 55       | 63           | 0,482       | 0,084  | 0,566    | 0,524    | 50            | 850             | 848     |
| 75     | 59      | 55       | 43           | 0,000       | 0,058  | 0,058    | 0,029    | 50            | 850             | 851     |
| 74     | 33      | 55       | 91           | 3,137       | 0,122  | 3,258    | 3,197    | 100           | 850             | 847     |
| 73     | 55      | 56       | 164          | 3,882       | 0,219  | 4,101    | 3,991    | 100           | 851             | 850     |
| 72     | 64      | 57       | 66           | 0,000       | 0,088  | 0,088    | 0,044    | 50            | 850             | 847     |
| 71     | 61      | 57       | 47           | 0,000       | 0,063  | 0,063    | 0,031    | 50            | 850             | 851     |
| 70     | 58      | 57       | 115          | 0,000       | 0,154  | 0,154    | 0,077    | 50            | 850             | 850     |
| 69     | 57      | 56       | 88           | 0,305       | 0,118  | 0,423    | 0,364    | 50            | 851             | 850     |
| 68     | 60      | 56       | 43           | 0,000       | 0,058  | 0,058    | 0,029    | 50            | 851             | 853     |
| 67     | 56      | 63       | 63           | 4,581       | 0,084  | 4,665    | 4,623    | 100           | 847             | 851     |
| 66     | 65      | 64       | 88           | 0,000       | 0,118  | 0,118    | 0,059    | 50            | 847             | 848     |
| 65     | 64      | 63       | 88           | 0,118       | 0,118  | 0,235    | 0,177    | 50            | 847             | 847     |
| 64     | 63      | 66       | 200          | 5,350       | 0,268  | 5,618    | 5,484    | 100           | 845             | 847     |
| 63     | 66      | 67       | 42           | 5,838       | 0,056  | 5,894    | 5,866    | 100           | 841             | 845     |
| 62     | 69      | 67       | 105          | 0,000       | 0,140  | 0,140    | 0,070    | 50            | 841             | 839     |
| 61     | 68      | 67       | 96           | 0,000       | 0,128  | 0,128    | 0,064    | 50            | 841             | 842     |
| 60     | 67      | 36       | 97           | 6,163       | 0,130  | 6,293    | 6,228    | 150           | 838             | 841     |
| 59     | 72      | 36       | 64           | 0,000       | 0,086  | 0,086    | 0,043    | 50            | 838             | 837     |
| 58     | 48      | 37       | 95           | 0,000       | 0,127  | 0,127    | 0,064    | 50            | 836             | 840     |
| 57     | 47      | 38       | 94           | 0,000       | 0,126  | 0,126    | 0,063    | 50            | 838             | 843     |
| 56     | 46      | 39       | 101          | 0,000       | 0,135  | 0,135    | 0,068    | 50            | 838             | 841     |
| 55     | 45      | 40       | 91           | 0,000       | 0,122  | 0,122    | 0,061    | 50            | 837             | 839     |
| 54     | 44      | 40       | 116          | 0,000       | 0,155  | 0,155    | 0,078    | 50            | 837             | 836     |
| 53     | 43      | 41       | 143          | 0,000       | 0,191  | 0,191    | 0,096    | 50            | 832             | 835     |
| 52     | 53      | 47       | 47           | 0,000       | 0,063  | 0,063    | 0,031    | 50            | 843             | 842     |
| 51     | 52      | 49       | 94           | 0,000       | 0,126  | 0,126    | 0,063    | 50            | 840             | 842     |
| 50     | 51      | 49       | 36           | 0,000       | 0,048  | 0,048    | 0,024    | 50            | 840             | 838     |
| 49     | 50      | 49       | 40           | 0,000       | 0,054  | 0,054    | 0,027    | 50            | 840             | 840     |
| 48     | 49      | 48       | 50           | 0,227       | 0,067  | 0,294    | 0,261    | 50            | 840             | 840     |
| 47     | 48      | 47       | 40           | 0,294       | 0,054  | 0,348    | 0,321    | 50            | 843             | 840     |

| Trecho | Nó      |          | Comp.<br>(m) | Vazão (l/s) |        |          |          | Diâm.<br>(mm) | Cota do terreno |         |
|--------|---------|----------|--------------|-------------|--------|----------|----------|---------------|-----------------|---------|
|        | Jusante | Montante |              | Jusante     | Trecho | Montante | Fictícia |               | Montante        | Jusante |
| 46     | 47      | 46       | 70           | 0,411       | 0,094  | 0,504    | 0,457    | 50            | 841             | 843     |
| 45     | 46      | 45       | 40           | 0,504       | 0,054  | 0,558    | 0,531    | 50            | 839             | 841     |
| 45a    | 54      | 46       | 78           | 0,000       | 0,104  | 0,104    | 0,052    | 50            | 841             | 842     |
| 44     | 45      | 44       | 50           | 0,558       | 0,067  | 0,625    | 0,591    | 50            | 836             | 839     |
| 43     | 44      | 43       | 44           | 0,625       | 0,059  | 0,683    | 0,654    | 50            | 835             | 836     |
| 42     | 43      | 42       | 135          | 0,683       | 0,181  | 0,864    | 0,774    | 50            | 831             | 835     |
| 41     | 42      | 41       | 169          | 0,864       | 0,226  | 1,090    | 0,977    | 50            | 832             | 831     |
| 40     | 41      | 40       | 130          | 1,281       | 0,174  | 1,455    | 1,368    | 75            | 837             | 832     |
| 39     | 40      | 39       | 45           | 1,732       | 0,060  | 1,792    | 1,762    | 75            | 838             | 837     |
| 38     | 39      | 38       | 126          | 1,927       | 0,169  | 2,096    | 2,012    | 75            | 838             | 838     |
| 37     | 38      | 37       | 36           | 2,222       | 0,048  | 2,270    | 2,246    | 75            | 836             | 838     |
| 36     | 37      | 36       | 126          | 2,397       | 0,169  | 2,565    | 2,481    | 75            | 838             | 836     |
| 35     | 36      | 35       | 48           | 8,944       | 0,064  | 9,008    | 8,976    | 150           | 842             | 838     |
| 34     | 35      | 34       | 32           | 9,103       | 0,043  | 9,146    | 9,125    | 150           | 845             | 842     |
| 33     | 34      | 33       | 69           | 9,246       | 0,092  | 9,339    | 9,292    | 150           | 847             | 845     |
| 32     | 33      | 32       | 49           | 12,475      | 0,066  | 12,541   | 12,508   | 150           | 848             | 847     |
| 31     | 32      | 31       | 379          | 12,541      | 0,507  | 13,048   | 12,794   | 150           | 850             | 848     |
| 30     | 31      | 8        | 120          | 19,952      | 0,161  | 20,112   | 20,032   | 200           | 851             | 850     |
| 29     | 30      | 7        | 112          | 0,000       | 0,150  | 0,150    | 0,075    | 50            | 865             | 852     |
| 28     | 29      | 6        | 158          | 0,000       | 0,211  | 0,211    | 0,106    | 50            | 866             | 866     |
| 27     | 28      | 5        | 249          | 0,000       | 0,333  | 0,333    | 0,167    | 50            | 868             | 865     |
| 26     | 27      | 4        | 47           | 0,000       | 0,063  | 0,063    | 0,031    | 50            | 869             | 866     |
| 25     | 26      | 2        | 33           | 0,000       | 0,044  | 0,044    | 0,022    | 50            | 879             | 878     |
| 24     | 25      | 24       | 237          | 0,000       | 0,317  | 0,317    | 0,158    | 50            | 850             | 848     |
| 23     | 24      | 10       | 39           | 0,317       | 0,052  | 0,369    | 0,343    | 50            | 852             | 850     |
| 22     | 23      | 9        | 271          | 0,000       | 0,362  | 0,362    | 0,181    | 50            | 852             | 864     |
| 21     | 22      | 11       | 241          | 0,000       | 0,322  | 0,322    | 0,161    | 50            | 853             | 862     |
| 20     | 21      | 16       | 114          | 0,000       | 0,152  | 0,152    | 0,076    | 50            | 855             | 854     |
| 19     | 20      | 19       | 314          | 0,000       | 0,420  | 0,420    | 0,210    | 50            | 858             | 875     |
| 18     | 19      | 17       | 64           | 0,420       | 0,086  | 0,506    | 0,463    | 50            | 858             | 858     |
| 17     | 18      | 17       | 108          | 0,000       | 0,144  | 0,144    | 0,072    | 50            | 858             | 860     |
| 16     | 17      | 16       | 98           | 0,650       | 0,131  | 0,781    | 0,716    | 50            | 855             | 858     |
| 15     | 16      | 12       | 49           | 0,934       | 0,066  | 0,999    | 0,966    | 50            | 852             | 855     |
| 14     | 15      | 13       | 93           | 0,000       | 0,124  | 0,124    | 0,062    | 50            | 854             | 859     |
| 13     | 14      | 13       | 341          | 0,000       | 0,456  | 0,456    | 0,228    | 50            | 854             | 860     |
| 12     | 13      | 12       | 368          | 0,580       | 0,492  | 1,073    | 0,827    | 50            | 852             | 854     |
| 11     | 12      | 11       | 50           | 2,072       | 0,067  | 2,139    | 2,105    | 75            | 868             | 852     |
| 10     | 11      | 10       | 50           | 2,461       | 0,067  | 2,528    | 2,494    | 75            | 852             | 853     |
| 9      | 10      | 9        | 11           | 2,897       | 0,015  | 2,912    | 2,904    | 75            | 852             | 852     |
| 8      | 9       | 8        | 46           | 3,274       | 0,062  | 3,336    | 3,305    | 100           | 851             | 852     |

| Trecho | Nó |         | Comp.<br>(m) | Vazão (l/s) |         |        |          | Diâm.<br>(mm) | Cota do terreno |          |
|--------|----|---------|--------------|-------------|---------|--------|----------|---------------|-----------------|----------|
|        | ID | Jusante |              | Montante    | Jusante | Trecho | Montante |               | Fictícia        | Montante |
| 7      | 8  | 7       | 351          | 23,448      | 0,469   | 23,918 | 23,683   | 150           | 865             | 851      |
| 6      | 7  | 6       | 23           | 24,067      | 0,031   | 24,098 | 24,083   | 150           | 866             | 865      |
| 5      | 6  | 5       | 87           | 24,310      | 0,116   | 24,426 | 24,368   | 150           | 868             | 866      |
| 4      | 5  | 4       | 28           | 24,759      | 0,037   | 24,796 | 24,778   | 150           | 869             | 868      |
| 3      | 4  | 3       | 55           | 24,859      | 0,074   | 24,933 | 24,896   | 150           | 876             | 869      |
| 2      | 3  | 2       | 68           | 24,933      | 0,091   | 25,024 | 24,978   | 150           | 879             | 876      |
| 1      | 2  | 1       | 33           | 25,068      | 0,044   | 25,112 | 25,090   | 150           | 880             | 879      |
|        |    |         |              |             |         |        |          |               |                 |          |
| 1e     | 1e | 1a      | 95           | 0,000       | 0,127   | 0,127  | 0,064    | 50            | 890             | 895      |
| 1d     | 1d | 1b      | 52           | 0,000       | 0,070   | 0,070  | 0,035    | 50            | 906             | 908      |
| 1c     | 1c | 1b      | 43           | 0,000       | 0,058   | 0,058  | 0,029    | 50            | 906             | 906      |
| 1b     | 1b | 1a      | 196          | 0,127       | 0,262   | 0,389  | 0,258    | 50            | 890             | 906      |
| 1a     | 1a | 1       | 112          | 0,516       | 0,150   | 0,666  | 0,591    | 50            | 880             | 890      |

Fonte: Autor, 2025