

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ÁGDA LÍDIA LITRENTO DA COSTA

**Proposta de adutora de água bruta para alimentação da ETA do sistema coletivo da  
Bacia Leiteira a partir do Canal do Sertão**

Maceió-AL

2023

ÁGDA LÍDIA LITRENTO DA COSTA

**Proposta de adutora de água bruta para alimentação da ETA do sistema coletivo da  
Bacia Leiteira a partir do Canal do Sertão**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Nélia Henriques Callado  
Coorientadora: Josuelly Cristainy da Silva Souza

Maceió-AL

2023

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

C837p Costa, Ágda Lídia Litrento da.  
Proposta de adutora de água bruta para alimentação da ETA do sistema coletivo da Bacia Leiteira a partir do Canal do Sertão / Ágda Lídia Litrento da Costa. – 2023.  
81 f. : il. color.

Orientadora: Nélia Henriques Callado.  
Coorientadora: Josuely Cristainy da Silva Souza.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil)  
– Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 79-81.

1. Abastecimento de água. 2. Adutoras – Canal do Sertão de Alagoas. 3. Estação de tratamento de água. I. Título.

CDU: 628.143 (813.5)

A meus pais, por todo incentivo e amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar forças para seguir em frente e superar todos os obstáculos, guiando meu caminho da melhor forma possível durante os anos de graduação.

Aos meus pais, por sempre estarem ao meu lado, me apoiando nas minhas escolhas profissionais e incentivando a buscar sempre mais, por mostrarem que eu sou sim capaz de grandes coisas e por todo carinho e amor. São as pessoas sem as quais nada disso seria possível. À minha irmã e amiga Ádna, por me amparar nos momentos difíceis e tornar a caminhada e os dias mais fáceis. À toda minha família, pelo suporte e por acreditarem em mim nesses anos.

Ao meu namorado, melhor amigo e colega de sala Fellipe, por ter sido meu ponto de apoio e por compartilhar comigo não só toda a trajetória acadêmica mas também a vida. Tudo se tornou melhor ao seu lado. Aos meus colegas de graduação, pelos sufocos, raivas, risadas e momentos bons que pudemos partilhar e por toda ajuda. Às minhas amigas Larissa, Laura e Willanny e ao meu amigo Thomas, por serem meu amparo fora da graduação e estarem sempre dispostos a ouvir minhas reclamações.

Ao PET Engenharia Civil, por contribuir com meu crescimento profissional e pessoal, me fazendo enxergar o mundo de uma maneira diferente e me proporcionando experiências únicas na vida.

Aos professores do CTEC, por todo conhecimento transmitido e pelo papel fundamental na manutenção da educação pública contínua e de qualidade.

Por fim, agradeço à minha orientadora, professora Nélia, por todo aconselhamento e por dedicar o seu tempo para me ajudar durante o processo, e à minha coorientadora Josuely, pelos puxões de orelha, pela disponibilidade de sempre e por toda inspiração.

## RESUMO

COSTA, A. L. L. **Proposta de adutora de água bruta para alimentação da ETA do sistema coletivo da Bacia Leiteira a partir do Canal do Sertão.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil, UFAL. Maceió, 2023.

Um sistema de abastecimento de água consiste em um conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades e sua manutenção requer grande aplicação de recursos financeiros, operacionais e técnicos. O sistema coletivo da Bacia Leiteira é responsável pelo fornecimento de água a 19 municípios de Alagoas e possui cerca de 52 anos desde sua inauguração. Há anos o sistema tem registrado paradas e necessidade de reparos, embora diversas ações de melhoria e ampliação, como a construção de uma estação de tratamento de água (ETA), tenham sido empregadas. A proximidade ou a finalização do período de vida útil do sistema leva à necessidade de se realizar ações de revisão de concepções técnicas, estudos de demandas e de novos mananciais de abastecimento. Com isso, o presente trabalho tem por objetivo geral a concepção de uma adutora de água bruta, que transportará água do Canal do Sertão, destinada a alimentar a ETA localizada no município de Olho d'Água das Flores, que atenderá este e os demais municípios inseridos no sistema coletivo da Bacia Leiteira. Para atingir tal objetivo, foi feita revisão de literatura sobre os assuntos pertinentes e foi realizado o levantamento de dados, juntamente à CASAL e à SEINFRA e através das informações disponíveis, para composição do diagnóstico a respeito do sistema atual e para obtenção dos parâmetros e dados necessários ao dimensionamento da adutora e da captação. Para todas as etapas envolvidas na elaboração do trabalho foram consideradas as respectivas normas técnicas. O estudo resultou na concepção de um sistema para vazão de 830 L/s, dotado de captação com 3 bombas centrífugas anfíbias (2 em usos com uma reserva em uso alternado), para vazão de 415 L/se altura manométrica de 179 mca, que alimenta uma adutora com diâmetro 700 mm em FoFo, comprimento 4.180 m, dotada de uma descarga de fundo, duas ventosas de tríplice função e 10 blocos de ancoragem.

**Palavras-chave:** abastecimento de água; adutora; Canal do Sertão; ETA.

## ABSTRACT

COSTA, A. L. L. **Proposta de adutora de água bruta para alimentação da ETA do sistema coletivo da Bacia Leiteira a partir do Canal do Sertão.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil, UFAL. Maceió, 2023.

A water supply system consists of a set of equipment, works and services aimed at supplying water to communities and its maintenance requires a large application of financial, operational and technical resources. The collective system of Bacia Leiteira is responsible for supplying water to 19 municipalities of Alagoas and it is about 52 years since its inauguration. For years the system has been experiencing shutdowns and has needed repairs, although several improvement and expansion actions, such as the construction of a water treatment plant, have been employed. The proximity or completion of the lifetime of the system leads to the need to carry out actions to review technical concepts, studies of demands and new sources of supply. Thereby, the present work has as general objective the conception of a raw water mains, that will transport water from the Canal do Sertão, intended to provide the water treatment plant located in the municipality of Olho d'Água das Flores that will supply this and the other municipalities inserted in the collective system of Bacia Leiteira. To achieve this objective, a literature review was made on the pertinent subjects and data collection was carried out, with CASAL and SEINFRA support and through the available information, to compose the diagnosis regarding the current system and to obtain the parameters and data necessary for the sizing of the water mains and the water abstraction. The study resulted in the design of a system for a flow rate of 830 L/s, equipped with a catchment with 3 amphibious centrifugal pumps (2 in use with a reserve in alternate use), for a flow rate of 415 L/s and a head of 179 mca, which feeds a pipeline with a diameter of 700 mm in FoFo, a length of 4,180 m, equipped with a bottom discharge, two triple function suction cups and 10 anchoring blocks.

**Key words:** Water supply; water mains; Canal do Sertão; water treatment plant.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Proposta inicial para alimentação da ETA da Bacia Leiteira
- Figura 2 - Sistema de abastecimento de água
- Figura 3 - Tomada de água por tubulação através de sifão
- Figura 4 - Captação de água do Perímetro Irrigado do Itiúba no Rio São Francisco
- Figura 5 - Captação de água através de bombas anfíbias
- Figura 6 - Classificação das adutoras
- Figura 7 - Vazões a serem veiculadas nas adutoras
- Figura 8 - Etapas de uma estação de tratamento de água convencional
- Figura 9 - Sistemas coletivos da CASAL
- Figura 10 - Traçado completo do Canal do Sertão
- Figura 11 - Canal do Sertão cortando rodovia em Delmiro Gouveia - AL
- Figura 12 - Exemplo de mapa de resultados gerados pelo EPANET
- Figura 13 - Traçado dos 5 trechos do Canal do Sertão
- Figura 14 - Localização da ETA na área urbana do município de Olho d'Água das Flores
- Figura 15 - Estação elevatória e linhas de recalque do Canal do Sertão
- Figura 16 - Seção trapezoidal típica em corte
- Figura 17 - Sistema completo da Bacia Leiteira
- Figura 18 - Estação de captação de água bruta da Bacia Leiteira, em Pão de Açúcar
- Figura 19 - Estação elevatória de água tratada 01 da Bacia Leiteira
- Figura 20 - Estação elevatória de água tratada 02 da Bacia Leiteira
- Figura 21 - Gráfico das linhas de tendência do crescimento populacional da Bacia Leiteira
- Figura 22 - Mapa topográfico no município de Olho d'Água das Flores e adjacências
- Figura 23 - Mapa geológico do município de Olho d'Água das Flores
- Figura 24 - Traçado da adutora de água bruta
- Figura 25 - Localização da adutora em relação aos municípios de Olho d'Água das Flores, São José da Tapera e Monteirópolis
- Figura 26 - Perfil do terreno no traçado da adutora
- Figura 27 - Localização do ponto de captação no Canal do Sertão
- Figura 28 - Seção trapezoidal do Canal do Sertão
- Figura 29 - Instalação de bomba anfíbia submersa em corte
- Figura 30 - Gráfico de seleção de bombas anfíbias HIGRA
- Figura 31 - Perfil da Adutora de Água Bruta e linha piezométrica



Figura 32 - Localização dos blocos de ancoragem no traçado da adutora

Figura 33 - Bloco 1 (300x350cm)

Figura 34 - Bloco 2 (150x150cm)

Figura 35 - Bloco 3 (150x150cm)

Figura 36 - Bloco 4 (150x150cm)

Figura 37 - Bloco 5 (150x150cm)

Figura 38 - Bloco 6 (300x300cm)

Figura 39 - Bloco 7 (150x310cm)

Figura 40 - Bloco 8 (200x200cm)

Figura 41 - Bloco 9 (100x100cm)

Figura 42 - Bloco 10 (100x100cm)

Figura 43 - Representação gráfica do sistema adutor no EPANET

Figura 44 - Curva da bomba gerada a partir de um ponto

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores do coeficiente C sugeridos para a fórmula de Hazen-Williams
- Tabela 2 - Comprimentos equivalentes a perda localizadas ( $L_e$ ) em metros de canalização retilínea
- Tabela 3 - Classes e pressões correspondentes para tubos de PVC
- Tabela 4 - Equações matemáticas para estimativas de crescimento populacional.
- Tabela 5 - Usos da água do canal
- Tabela 6 - Demanda urbana e rural
- Tabela 7 - Dados populacionais dos municípios da Bacia Leiteira
- Tabela 8 - Populações de projeto segundo o método 1
- Tabela 9 - Populações de projeto segundo o método 2
- Tabela 10 - Populações totais obtidas pelos métodos de projeção adotados
- Tabela 11 - Vazões de projeto
- Tabela 12 - Vazões de projeto com acréscimo das perdas em L/s
- Tabela 13 - Perda de carga, velocidade e características de bombeamento em função do diâmetro
- Tabela 14 - Peças e comprimentos equivalentes na captação (EEAB)
- Tabela 15 - Planilha de dimensionamento da Adutora de Água Bruta (AAB)
- Tabela 16 - Linha piezométrica em funcionamento normal
- Tabela 17 - Linha piezométrica com golpe de ariete
- Tabela 18 - Cálculo das forças de empuxo nas singularidades
- Tabela 19 - Dimensões dos blocos de ancoragem
- Tabela 20 - Volume dos blocos de ancoragem
- Tabela 21 - Relatório nos nós
- Tabela 22 - Relatório nos trechos da adutora
- Tabela 23 - Comparativo dos dados encontrados em dimensionamento e no EPANET

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAB	Adutora de Água Bruta
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AL	Alagoas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Paraíba
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DN	Diâmetro Nominal
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
EEAT	Estação Elevatória de Água Tratada
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
Funasa	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SEAGRI	Secretaria de Agricultura e Pecuária
SEINFRA	Secretaria de Estado da Infraestrutura
SEMARH	Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SEPLAG	Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 Considerações iniciais.....	13
1.2 Objetivos.....	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
2.1 Sistemas de abastecimento de água.....	16
2.1.1 Captação de água.....	17
2.1.2 Adutoras de água.....	21
2.1.2.1 Vazões de projeto.....	22
2.1.2.2 Perdas de carga.....	23
2.1.2.3 Transientes hidráulicos.....	25
2.1.2.4 Materiais e peças especiais.....	26
2.1.2.5 Blocos de ancoragem.....	28
2.1.3 Estação de tratamento de água.....	30
2.2 Os sistemas coletivos alagoanos.....	31
2.3 O Canal do Sertão.....	33
2.4 Modelagem hidráulica.....	36
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
3.1 Área de estudo.....	39
3.2 Levantamento compilado de dados técnicos.....	40
3.3 Estudo de demandas.....	40
3.4 Dimensionamento do sistema adutor de água bruta.....	43
3.5 Modelagem hidráulica.....	44
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
4.1 Levantamento técnico compilado.....	45
4.1.1 Canal do Sertão.....	45
4.1.2 O sistema coletivo da Bacia Leiteira.....	47

4.1.3 A estação de tratamento de água.....	50
4.2 Estudo de demandas.....	52
4.3 Vazões de projeto.....	55
4.4 Descrição do sistema proposto.....	56
4.5 Traçado da adutora.....	57
4.6 Dimensionamento do sistema.....	60
4.6.1 Captação de água (EEAB).....	60
4.6.2 Adutora de água bruta (AAB).....	66
4.6.3 Cálculo dos transientes hidráulicos.....	69
4.6.4 Dimensionamento dos blocos de ancoragem.....	70
4.7 Modelagem hidráulica básica.....	74
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

A Lei nº 11.445/2007 institui as diretrizes nacionais para o saneamento básico e considera este como sendo o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (Brasil, 2007). Seu artigo 2º destaca a universalização do acesso e efetiva prestação dos serviços públicos de saneamento básico, contudo há desigualdades consideráveis no acesso ao saneamento entre as regiões do Brasil.

No país existe uma rede abrangente de abastecimento de água, mas ainda está distante da universalização. No recorte de Alagoas, Callado e Callado (2018) citam que “no semiárido alagoano o abastecimento de água sempre foi um desafio, não só para o contingente populacional que habita essas áreas urbanas, mas também para as populações rurais difusas, limitando seu desenvolvimento. Nessa região, o solo com embasamento cristalino, dificulta o armazenamento de água, e as elevadas temperaturas aceleram o processo de evaporação da água armazenada, resultando no sofrimento da população, principalmente a rural, com essa escassez de abastecimento”.

Dessa forma, o rio São Francisco foi a solução encontrada pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), empresa responsável pelo fornecimento do serviço no estado, para abastecer os municípios do semiárido alagoano. O sistema coletivo da Bacia Leiteira foi o primeiro a ser implantado, com seu projeto elaborado em 1964 e sua inauguração completa realizada em 1971. O sistema tinha início em Belo Monte, com a tomada de água no rio São Francisco e seguia em adução por alguns municípios do sertão alagoano.

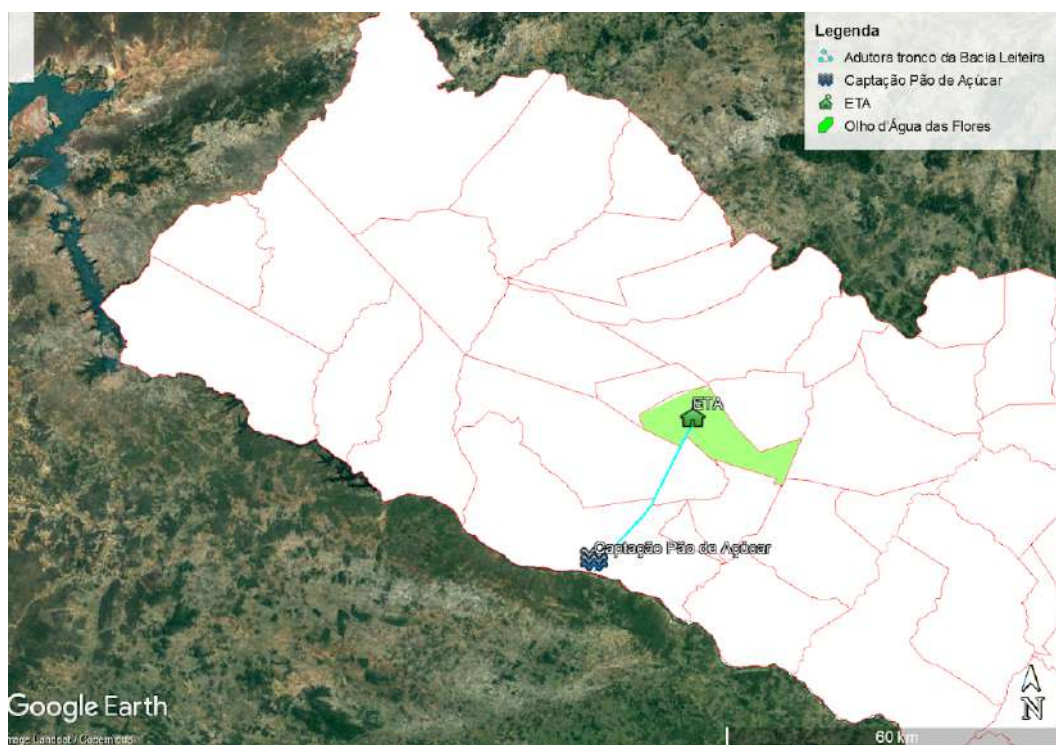
Sabe-se que um projeto de abastecimento de água tem como objetivo fornecer água potável para a população, de forma regular e sustentável, sendo necessário considerar diferentes aspectos, como a localização das fontes de água, as tecnologias de tratamento disponíveis, as demandas e necessidades da população, além dos impactos ambientais e econômicos do projeto. No entanto, no que diz respeito a Bacia Leiteira, há anos o sistema coletivo passa por dificuldades no abastecimento, principalmente devido à longa distância e grandes diferenças de cotas entre a captação e os municípios, o que tem incomodado e trazido

transtornos aos consumidores e gestores das cidades abastecidas e gerado numerosas ocorrências e registros de falta de água.

Além da limitação dos recursos para investimentos nos serviços públicos de abastecimento de água, diversas referências comprovam, por meio de práticas de campo, desperdícios desde a captação até os pontos de consumo. Diante desse cenário, as companhias enfrentam uma grande preocupação em buscar a implementação de processos gerenciais e operacionais mais eficientes e precisos, visando auxiliar os gestores na tomada de decisões que reduzam as perdas de faturamento decorrentes dessas fragilidades (NAZARÉ, 2012).

Objetivando o reforço e a ampliação do fornecimento de água do sistema da Bacia Leiteira, está sendo construída pela Secretaria de Estado de Infraestrutura de Alagoas (SEINFRA) uma estação de tratamento de água para os municípios abastecidos por este, que até então recebiam água tratada apenas por desinfecção simples. A ETA está localizada no município de Olho d'Água das Flores, em Alagoas, e estima que, quando em funcionamento, aumente em 15% a vazão do abastecimento na região (SEINFRA, 2023). Todavia, o projeto indica que inicialmente a alimentação da ETA se dará partindo da captação atual em Pão de Açúcar e através do sistema de adução existente, com extensão de 30,8 km e um desnível de 330 metros.

Figura 1 - Proposta inicial para alimentação da ETA da Bacia Leiteira



Fonte: Autora, via Google Earth Pro (2023)

Desse modo, este trabalho visa propor uma melhor alternativa para o abastecimento da nova ETA, através da concepção de uma adutora de água bruta partindo de um ponto de captação no Canal do Sertão, considerando a viabilidade técnica da captação e adução. Como o projeto do Canal do Sertão prevê a passagem pelo município de Olho d'Água das Flores, em seu trecho 5, e por São José da Tapera, estudar uma proposta de alimentação para estação de tratamento de água direto do Canal do Sertão, retirando-o do sistema coletivo da Bacia Leiteira, é de fundamental importância.

Para tal finalidade, foi feito o estudo e embasamento em sistemas existentes que já fazem uso do Canal do Sertão como fonte de água para abastecimento e o diagnóstico dos elementos e funcionamento do sistema atual que fornece água aos 19 municípios do estado, considerando aspectos técnico-operacionais. Posteriormente, foi elaborado o estudo do traçado apropriado para adutora e serão coletados os dados necessários ao dimensionamento e cálculos da adutora e captação de água bruta, estando o estudo limitado à disponibilidade de dados e à complexidade do sistema.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Dimensionar uma adutora de água bruta, a partir de um ponto de captação no Canal do Sertão, para alimentação da estação de tratamento de água, localizada no município de Olho d'Água das Flores, que abastecerá os municípios do atual sistema coletivo da Bacia Leiteira.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Realizar o levantamento compilado de dados técnicos do canal do Sertão e do sistema coletivo da Bacia Leiteira;
- Fazer o estudo de demandas futuras para o sistema, para fins de comparação;
- Propor e dimensionar captação e adutora de água bruta partindo do canal do sertão até a ETA em construção;
- Executar a modelagem hidráulica básica da proposta;

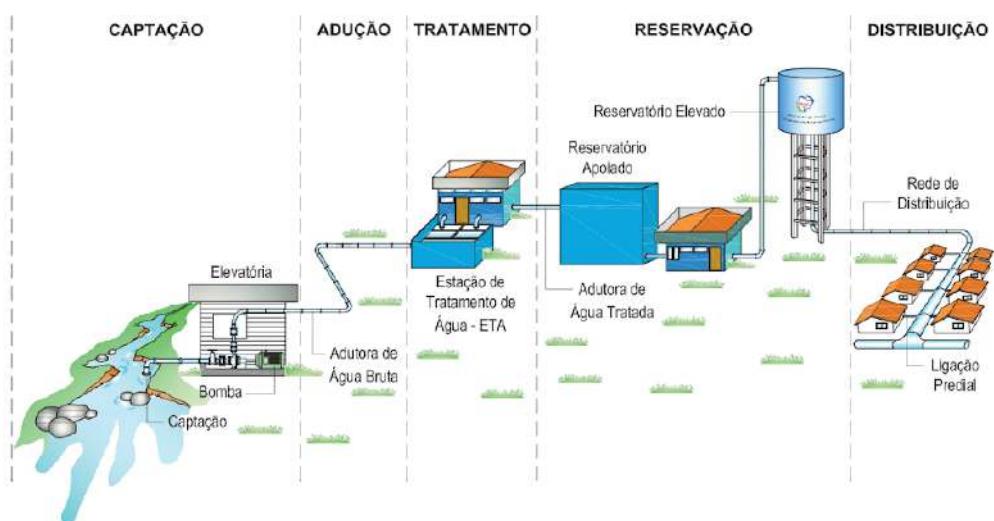


## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sistemas de abastecimento de água

Os sistemas de abastecimento de água são constituídos por atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição (Lei 11.445/2007). Convencionalmente os sistemas de abastecimento de água são compostos por mananciais, unidade de captação e adução de água bruta, tratamento de água, reservação e distribuição. A Figura 2 ilustra os constituintes de um sistema de abastecimento de água (SAA).

Figura 2 - Sistema de abastecimento de água



Fonte: FUNASA (2019)

O projeto de um sistema de abastecimento de água deve ser baseado em um estudo abrangente do local a ser abastecido e considerar diversos fatores, tendo em vista que esse sistema deverá atender à população por vários anos sem perder a sua qualidade. Portanto, previamente ao início dos processos de projeto e de construção propriamente ditos, é necessário definir qual população será atendida, quais as necessidades específicas do local, a projeção de crescimento da cidade ou região, entre outros fatores. Em seguida, é importante escolher adequadamente o manancial, ou seja, a fonte de onde a água será retirada. Feita essa escolha, também são avaliadas outras condições, como a topografia da região, a localização, a vazão de água e a possível presença de focos de contaminação.

A portaria Funasa nº 526, de 06 de abril de 2017, estabelece o *Manual de Orientações Técnicas para Elaboração e Apresentação de Propostas e Projetos para Sistemas de Abastecimento de Água*, onde considera como elementos básicos para a viabilidade e

sustentabilidade do empreendimento a elaboração de projeto, a execução de obras e a operação e manutenção do sistema, sendo a elaboração dos diversos projetos de engenharia envolvidos a etapa mais estruturada.

Após a sua implantação, periodicamente, o sistema precisa ser reavaliado e atualizado. Venturini et al. (2001) citam que os principais problemas que levam a uma revisão dos sistemas de abastecimento de água são: deterioração dos equipamentos mecânicos ou eletrônicos; diminuição na captação devido assoreamento; interrupção ou diminuição da captação devido escassez de recursos hídricos em qualidade e quantidade aceitáveis; diminuição da capacidade de tratamento; diminuição da qualidade da água tratada; consumo excessivo de energia; geração de regimes transitórios; incapacidade de manter o bombeamento da vazão inicialmente prevista ou com a carga manométrica inicialmente prevista, entre outros.

### **2.1.1 Captação de água**

A captação de água é o componente inicial do sistema e é conceituada como o conjunto de estruturas e dispositivos dispostos, montados ou construídos, junto ao manancial, exercendo função de retirada da água que será destinada ao sistema de abastecimento (TSUTIYA, 2006), e devendo essa possuir condições adequadas e vazão suficiente para atender à demanda.

A água pode ser captada de dois tipos de mananciais: superficiais, como rios e lagos; ou subterrâneos, como poços, fontes naturais, galerias filtrantes, ou de águas pluviais. Os dois tipos nem sempre estão separados, pois durante seu deslocamento pela crosta terrestre é possível que a água, que em determinado local é superficial, seja subterrânea em uma próxima etapa e até voltar a ser superficial (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007).

As águas superficiais empregadas em sistemas de abastecimento possuem, normalmente, origem de um curso de água natural, porém existem opções mais raras de captações como em lagos naturais ou no mar com posterior dessalinização. As condições de escoamento, a variação do nível d'água, a estabilidade do local de captação, etc, é que vão implicar em que sejam efetuadas obras preliminares a sua captação e a dimensão destas obras. As seguintes condições devem ser analisadas na escolha de uma fonte para captação: quantidade de água; qualidade da água; garantia de funcionamento; economia das instalações; e localização (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007).

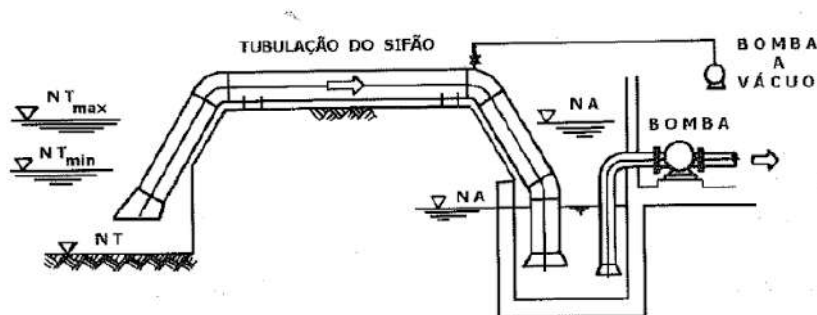
Guimarães, Carvalho e Silva (2007) destacam três situações possíveis durante a análise da quantidade de água disponível no manancial: a vazão é suficiente na estiagem; é insuficiente na estiagem, mas suficiente na média; e existe vazão, mas inferior ao consumo previsto. A primeira situação é considerada a ideal, pois, existindo vazão contínua e suficiente, o próximo passo é a definição da forma mais adequada de captação direta. A segunda situação sinaliza que durante determinados períodos do ano não haverá vazão suficiente para cobertura do consumo previsto, e na última faz-se necessária a busca por outro manancial ou optar pelo uso de mananciais complementares.

Os esquemas das instalações de uma captação variam bastante, dependendo de alguns fatores como as condições do curso de água, topografia, variação do nível de água, etc. Em boa parte dos casos, as suas partes constituintes são (TSUTIYA, 2006):

- Barragem, vertedor ou enrocamento;
- Tomada de água;
- Gradeamento;
- Desarenador;
- Dispositivos de controle;
- Canais e tubulações.

A tomada de água é o conjunto de dispositivos responsáveis pela condução da água do manancial para as demais partes que constituem a captação e a escolha do tipo vai estar diretamente relacionada às condições do local e de projeto, devendo esta ser a que melhor se adapta a cada situação. Tsutiya (2006) cita como principais tipos de tomada de água: tomada com barragem de nível, indicada para captação em cursos de água com pequenas variações de nível; tomada de água através de tubulação, podendo ser empregada a maiores variações de nível, bem como o sistema de torre de tomada; canal de derivação, onde o canal desvia parte da água do manancial para captação; tomada de água diretamente por bombas, através de bombas de eixo vertical ou bombas submersíveis; por tubulação com sifonamento (Figura 3); e por captação flutuante (Figura 4).

Figura 3 - Tomada de água por tubulação através de sifão



Fonte: Tsutiya (2006)

Figura 4 - Captação de água do Perímetro Irrigado do Itiúba no Rio São Francisco



Fonte: Codevasf (2016)

As bombas são equipamentos mecânicos que transferem a energia necessária para deslocar a água de um ponto a outro e existem diversos tipos e configurações para o seu arranjo. Em instalações para água e esgoto normalmente são empregadas bombas centrífugas com motores elétricos, como a motobomba centrífuga ou a submersível. Os motores no Brasil são fabricados com as seguintes potências (HP):  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1,  $1\frac{1}{2}$ , 2, 3, 5, 6,  $7\frac{1}{2}$ , 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 125, 150, 200, etc (AZEVEDO NETTO et al., 2018).

Os conjuntos motobomba anfíbias surgem como uma solução para preencher a lacuna de mercado existente no que diz respeito à eficiência hidroenergética. As bombas anfíbias são capazes de operar tanto dentro quanto fora da água e seu conceito monobloco, faz com que o fluido bombeado percorra o motor, garantindo uma troca térmica excepcional, contribuindo para seu desempenho energético. A versatilidade na instalação desses equipamentos possibilita a operação em condições hídricas extremas, resultando em reduções significativas nos impactos ambientais, nos custos de energia elétrica e nos gastos com a manutenção do sistema (SOUZA; GUEDES; ROGGEN, 2021).

Figura 5 - Captação de água através de bombas anfíbias



Fonte: Helibombas (2023)

A interligação entre as unidades da captação pode ser feita por condutos livres ou forçados, ou até mesmo canais abertos, sendo a melhor solução imposta pelas condições topográficas. Para controle do fluxo e facilidade na operação do sistema, são utilizadas comportas e válvulas, que permitem o fechamento da passagem de água e consequente interrupção do fluxo. Esses mecanismos vão variar de acordo com o porte do sistema, influenciando no material, dimensões e método de abertura e fechamento.

Em um projeto de sistema de abastecimento de água, a Funasa (2017) determina que a caracterização física da unidade de captação de água deverá conter algumas informações, em função da escolha do tipo de manancial, tal como:

- Captação superficial (projetada ou existente): informar as cotas e coordenadas geográficas com a locação do ponto de captação; descrever as estruturas e dispositivos para tomada de água; apresentar estudos hidrológicos, hidráulicos e estruturais para barragem de nível ou de acumulação, quando couber; identificar a necessidade de pré-sedimentação em função da qualidade de água bruta, quando couber; e outros elementos que caracterizem e justifiquem a forma de captação de água adotada.
- Captação em adutora existente: apresentar autorização do operador do sistema existente para a interligação em adutora, especificando as coordenadas geográficas, vazão e pressão disponível no ponto de derivação.

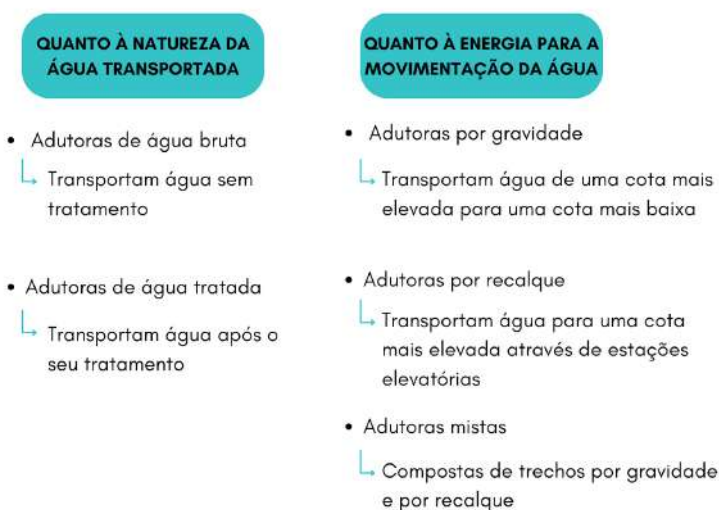
- Poço tubular: apresentar o projeto de poço tubular, informando método de perfuração, os materiais e insumos a serem empregados, as características hidrodinâmicas estimadas de vazão, níveis estático e dinâmico e coordenadas geográficas de localização, bem como ART e orçamento.

Cada um dos tipos de captação possui suas particularidades e métodos de concepção do projeto. Assim, devem ser observadas algumas normas vigentes que fixam condições exigíveis para a elaboração do projeto, como a NBR 12.212/2017 - Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea, e a NBR 12.213/1992 - Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público.

### 2.1.2 Adutoras de água

Uma adutora é definida como o conjunto de canalizações, tubulações, conexões e peças especiais destinadas ao transporte da água em um sistema de abastecimento, podendo interligar: a captação ao reservatório, à ETA ou à rede de distribuição; a ETA ao reservatório ou à rede; o reservatório à rede ou o reservatório a outro reservatório, nunca exercendo o papel de distribuição da água aos consumidores finais. Há casos em que a adutora principal de um sistema possui ramificações, conhecidas como subadutoras, que conduzem a água até outros pontos mais distantes (TSUTIYA, 2006). No geral, as adutoras são classificadas quanto à natureza da água transportada e quanto à energia utilizada para a movimentação da água, como mostra o esquema abaixo:

Figura 6 - Classificação das adutoras



Fonte: Tsutiya (2006)

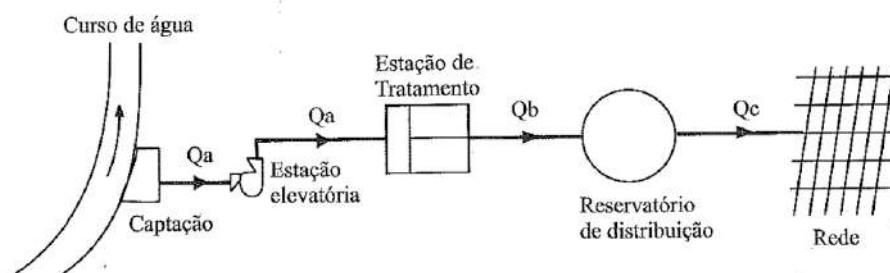
Para projetos de adutoras, a Funasa (2017) determina que devem ser informadas as principais características das adutoras (água bruta e tratada), descrevendo diâmetro, comprimento, tipo de material das tubulações, dispositivos especiais e acessórios e indicando cotas, pressões e vazões. Na definição do traçado das adutoras, deve ser considerada a topografia local, bem como as travessias de cursos d'água, ferrovias e rodovias. Em questões de padronizações e condições necessárias, deve ser observada a NBR 12.215-1/2017 - Projeto de adutora de água Parte 1: Conduto forçado.

### 2.1.2.1 Vazões de projeto

Segundo Tsutiya (2006), para os cálculos da vazão de dimensionamento de uma adutora é necessário conhecer alguns fatores intervenientes como o horizonte de projeto, a vazão de adução e o período de funcionamento da adução. Primeiramente, o horizonte de projeto indica o tempo para o qual serão feitos os cálculos de dimensionamento, normalmente situado entre 20 e 50 anos, levando em conta a vida útil e o custo da obra, a evolução da demanda de água, a flexibilidade na ampliação do sistema e o custo de energia elétrica.

A vazão de adução está diretamente relacionada com a população a ser abastecida, do consumo *per capita*, do número de horas de adução e dos coeficientes de variação da vazão. Além disso, a vazão de adução vai variar de acordo com a posição da adutora no sistema de abastecimento de água, conforme Figura 7.

Figura 7 - Vazões a serem veiculadas nas adutoras



Fonte: Tsutiya (2006)

Assim, as vazões  $Q_a$ ,  $Q_b$  e  $Q_c$ , em L/s, podem ser dadas pelas seguintes equações:

$$Q_a = \left( \frac{K_1 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_e \right) \cdot C_{ETA} \quad Q_b = \frac{K_1 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_e \quad Q_c = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot P \cdot q}{86400} + Q_e$$

Onde:

$P$  = População atendida (habitantes);

$q$  = Consumo médio *per capita* (L/hab.dia);

$K_1$  = Coeficiente do dia de maior consumo;

$Q_e$  = Vazão de consumo especial;

$C_{ETA}$  = Consumo na ETA

No cálculo das vazões citadas foi utilizado um período de adução de 86.400 s, equivalente a 24 horas. Porém, se for considerado um intervalo inferior, a vazão de adução será maior. Em casos de adutoras por recalque é comum utilizar o período de bombeamento de 16 a 20 horas por dia, considerando condições de queda como energia elétrica e manutenção dos equipamentos, bem como os gastos com energia elétrica no horário de ponta estabelecido pelas concessionárias, que, no caso de Alagoas, corresponde ao período entre as 17:30 as 20:30.

O Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) cita que não existe sistema de distribuição sem perdas de água. O grau de perdas de água está diretamente relacionado às condições da infraestrutura que foi implantada e à eficácia na gestão operacional e comercial deles. Assim, para garantir a eficiência do sistema de abastecimento, essas perdas devem ser consideradas e a gestão da operação deve ser orientada pela busca de sua maior redução possível. Essas perdas podem ser físicas, como vazamentos, ou aparentes, que ocorrem devido a irregularidades ou submedição. O SNIS (2021) aponta que os índices de perdas variam de 34,2%, no Centro-Oeste, a 51,2%, no Norte, e registra para o Estado de Alagoas um índice de 43%.

### 2.1.2.2 Perdas de carga

A principal questão em um projeto de tubulação é determinar a quantidade de energia necessária para conduzir a quantidade de água desejada entre dois pontos dessa tubulação. Engenheiros e pesquisadores da área buscaram por muito tempo uma fórmula prática que resolvesse esse problema (AZEVEDO NETTO et al., 2018).

A fórmula de Darcy-Weisbach é considerada a equação universal da perda de carga, porém o seu inconveniente está na necessidade um coeficiente de atrito  $f$ , que nem sempre é modificável de uma situação para outra. Com isso, diversos pesquisadores buscaram desenvolver equações empíricas a partir do lançamento de dados observados na prática em



gráficos. Devido a sua tradição de bons resultados e simplicidade de uso via planilhas, a fórmula empírica mais consagrada pelo uso é a de Hazen-Williams (AZEVEDO NETTO et al., 2018).

A fórmula de Hazen-Williams determina a perda de carga unitária e foi proposta pelo engenheiro civil e sanitarista Allen Hazen e pelo professor de Hidráulica Gardner S. William. A fórmula é apresentada, no Sistema Internacional de Unidades, como:

$$J = \frac{10,643 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}}$$

Onde:

J = Perda de carga unitária (m/m);

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

D = Diâmetro da tubulação (m);

C = Coeficiente adimensional de rugosidade que depende da natureza do tubo

Tabela 1 - Valores do coeficiente C sugeridos para a fórmula de Hazen-Williams

<b>Tubos</b>	<b>Novos</b>	<b>Usados ± 10 anos</b>	<b>Usados ±20 anos</b>
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	—	—
Aço galvanizado roscado	125	100	—
Aço rebitado, novos	110	90	80
Aço soldado, comum	125	110	90
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Chumbo	130	120	120
Cimento-amianto	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto, bom acabamento	130	—	—
Concreto, acabamento comum	130	120	110
Ferro fundido, revestimento epóxico	140	130	120
Ferro fundido, revestimento de argamassa de cimento	130	120	105
Grés cerâmico, vidrado (manilhas)	110	110	110
Latão	130	130	130
Madeira, em aduelas	120	120	110
Tijolos, condutos bem executados	100	95	90
Vidro	140	—	—
Plástico (PVC)	140	135	130

Fonte: Azevedo Netto et al. (2018)

A perda de carga contínua de adução é encontrada através da multiplicação da perda de carga unitária pelo comprimento total da adutora:  $h_f = J \times L$ .

A perda de carga localizada é aquela advinda das conexões, peças especiais e demais singularidades existentes em uma tubulação, que pode ser calculada através do método dos comprimentos virtuais ou equivalentes. O método consiste em acrescentar valores de comprimentos fictícios, para simples efeito de cálculo, específicos para cada diâmetro e peça presente, que representam a perda de carga que essas peças causariam na tubulação (TOLENTINO JR, 2023). A tabela 2 apresenta o comprimento equivalente de algumas peças.

Tabela 2 - Comprimentos equivalentes a perda localizadas ( $L_e$ ) em metros de canalização retilínea

DIÂMETRO D		COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MÉDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D = 1/2	CURVA 90° R/D = 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAFETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ÂNGULO ABERTO	TÉ PASSAGEM DIRETA	TÉ SAÍDA DE LADO	TÉ SAÍDA BILATERAL	VALVULA DE PE E CRIVO	SADA DA CANALIZAÇÃO	VALVULA DE RETENÇÃO TIPO LEVE	VALVULA DE RETENÇÃO TIPO PESADO
mm	pol.																			
13	½	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19	¾	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	1 ¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	1 ½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	2 ½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

Fonte: Azevedo Netto et al. (2018)

### 2.1.2.3 Transientes hidráulicos

Transientes hidráulicos, também conhecidos como golpes de aríete, são fenômenos transitórios que ocorrem em sistemas de tubulações de água e outros fluidos quando o movimento do líquido é modificado bruscamente. Essas mudanças abruptas podem ser causadas por diversas razões, como o fechamento rápido de uma válvula, o desligamento de uma bomba ou até mesmo o movimento rápido de um pistão em uma tubulação (AZEVEDO NETTO et al., 2018). Essas mudanças abruptas causam alterações na pressão interna da

tubulação, seja negativa ou positiva, e precisam ser estudados para que sejam implementadas medidas mitigadoras.

Uma tubulação conduz água a uma determinada velocidade. Com o fechamento do registro, a primeira lâmina é comprimida e sua energia de velocidade é convertida em pressão por determinado período, propagando-se uma onda de pressão pelas próximas lâminas, sendo essa velocidade de propagação da onda denominada de celeridade (AZEVEDO NETTO et al., 2018).

O estudo da onda de golpe de aríete pode ser realizado pelo cálculo da celeridade utilizando a fórmula de Allievi, calculando-se em seguida a amplitude da onda do golpe e as sobrepressões máxima e mínima.

$$C = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + \frac{D.K}{e}}}$$

$$\Delta h = (C \times v) / g$$

$$SP_{\max.\min} = Hg \pm \Delta h$$

Onde:

C = Celeridade da onda (m/s)

D = Diâmetro dos tubos (m)

e = Espessura dos tubos (m)

k = Coeficiente que leva em conta o módulo de elasticidade ( $10^{10}/E$ )

$\Delta h$  = Amplitude da onda (m)

v = Velocidade de escoamento (m/s)

g = Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

#### 2.1.2.4 Materiais e peças especiais

No geral, os materiais empregados em canalizações de água são agrupados em três categorias principais: tubulações, conexões e peças especiais.

As tubulações são classificadas de acordo com seu material de fabricação, tipo de junta e pressão de serviço. Os materiais mais comuns encontrados são: ferro fundido dúctil (FoFo), polietileno de alta densidade (PEAD), cloreto de polivinil (PVC), concreto simples ou armado, aço soldado ou rebitado e fibra de vidro. A escolha do material mais adequado se dá em concordância com as pressões encontradas em projeto, tendo em vista que os fabricantes

oferecem tubos com diferentes resistências, classificados geralmente por *classes*, como no caso do PVC (Tabela 3).

Tabela 3 - Classes e pressões correspondentes para tubos de PVC

CLASSE	PRESSÃO DE SERVIÇO (kgf/cm <sup>2</sup> )
8	40
10	50
12	60
15	75
20	100

Fonte: Tigre (2023)

Além desse fator, alguns outros, como durabilidade, custo de aquisição, transporte e montagem e facilidade de instalação, também são bastante relevantes na especificação do tubo (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007).

Gama, Souza e Callado (2019) citam que o dimensionamento de sistemas adutores passa, sobretudo, pela determinação de um diâmetro que atenda às necessidades do sistema e acarrete menores custos anuais de instalação e operação e que dentre as metodologias existentes para determinação do diâmetro econômico, a Fórmula de Bresse ainda é comum entre projetistas. Trabalho desenvolvido por esses autores, visando analisar a eficiência da Fórmula de Bresse, do Método Baseado no Peso do Tubo (MBPC) e do Método da Variação Linear do Custo do Tubo (MVLCT), comparando com o Método da Avaliação Real dos Custos (MARC), e verificou que o MBPC e o MVLCT não devem ser utilizados pelos projetistas, que para adutoras de pequeno porte, é possível a utilização da Fórmula de Bresse, desde que seja utilizada com um valor adequado, variável em função do material, para o seu coeficiente  $k$ . Para o PEAD, os autores propõem  $k= 1,17$  ou  $k= 1,18$ . Para o PVC DEFoFo e PRFV, sugerem-se os intervalos de 1,19 a 1,23 e 1,29 a 1,32, respectivamente. Tratando-se de adutoras com dimensões maiores, recomenda-se a utilização do MARC para determinação do diâmetro econômico, por não ser possível encontrar um valor apropriado ao coeficiente de Bresse.

Assim como as classes, existem os diâmetros nominais disponíveis no mercado, que também vão variar de acordo com o material escolhido, sendo os principais (em mm): 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, entre outros. Quanto às juntas utilizadas na ligação entre dois tubos, elas podem ser do tipo elásticas ou flexíveis com anel de borracha,

soldadas, soldadas com solda elétrica, flangeadas, travadas ou mecânicas, sendo cada tipo de junta específica para determinados materiais.

As conexões são responsáveis pela ligação entre tubos ou segmentos de tubos, permitindo a mudança na direção, alterações de diâmetro, derivações, entre outros, devendo ser adequadas aos tubos e juntas aos quais serão instaladas, pois cada variação tem propriedades que garantem uma maior eficiência na condução da água e também durabilidade para a conservação da estrutura. As conexões mais utilizadas em um sistema de abastecimento são curvas, tês, cruzetas, capeamentos, reduções, junções e luvas (GUIMARÃES; CARVALHO; SILVA, 2007).

Acessórios operacionais como válvulas destinam-se a regular a passagem da água pelas tubulações, de forma manual ou mecanizada, e podem estar situadas em diversas posições e ser de variados tipos, sendo alguns deles (AZEVEDO NETTO et al., 1998):

- Válvula de gaveta: Composta por uma cunha ou gaveta que quando aberta permite a passagem total do fluido, portanto destinam-se a funcionar na posição aberta ou fechada e são para pouca frequência de uso;
- Válvula borboleta: Composta por um disco preso a um eixo que realiza movimento de 90°, ficando alinhado ao eixo do escoamento ou fechando a tubulação;
- Válvula redutora de pressão: Caso de válvula automática, utilizada em casos onde há pressões máximas a fim de evitar o rompimento de ligações e tubos;
- Válvula de retenção: Válvula que permite o escoamento apenas em uma direção, utilizada principalmente em bombeamentos para evitar o fluxo inverso da água em casos de parada das bombas;
- Ventosa: Tipo de dispositivo automático que exerce função de admissão e expulsão do ar das tubulações em pressão, localizada nos pontos altos de perfis sinuosos;
- Descarga: Permite o esvaziamento e limpeza das tubulações, localizada nos pontos mais baixos.

#### **2.1.2.5 Blocos de ancoragem**

As forças de empuxo hidráulico surgem em uma canalização sob pressão a cada mudança de direção, diâmetro e extremidade. Nesses pontos, as forças de empuxo devem ser equilibradas a fim de evitar a desmontagem das juntas, podendo utilizar juntas travadas ou blocos e ancoragem (SAINT-GOBAIN, 2018). Segundo a fórmula geral:

$$F = K * P * S$$

Onde:

F = Força de empuxo (N)

P = Pressão interna máxima (Pa)

S = Seção transversal (m<sup>2</sup>)

K = Coeficiente (1,414 para as curvas 90°, 0,765 para as curvas 45°, 0,390 para as curvas 22° 30', 0,196 para as curvas 11° 15', 1 para flanges cegos, caps, tês)

A técnica mais comumente empregada para contrabalançar os esforços de empuxo hidráulico em uma canalização com bolsas sob pressão é o uso de blocos de ancoragem de concreto. Diferentes variedades de blocos de ancoragem podem ser empregadas, contudo, é imperativo observar as configurações dos tubos, a capacidade de resistência do solo, sua composição e a possível presença de lençol freático, pois estes são calculados levando em consideração o atrito e a resistência de apoio sobre o terreno (SAINT-GOBAIN, 2018).

A pressão de trabalho, para efeito de determinação do maior empuxo (força resultante) possível de acontecer, é determinada pela diferença entre as cotas piezométricas e a cota do terreno, nas condições de funcionamento normal e com Golpe de Ariete. Os blocos de ancoragem vão absorver os empuxos e transmiti-los ao solo que os absorverão pela força de atrito bloco/solo e pela reação de apoio sobre a parede da vala (SAINT-GOBAIN, 2018). Para a força de atrito bloco/solo, tem-se:

$$\sigma \text{ (kg/cm}^2\text{)} = F \text{ (kg)} / A \text{ (cm}^2\text{)} \rightarrow A = F \text{ (kg)} / \sigma \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Para o cálculo a área de contato (A) pode ser considerada a sobrepressão máxima no golpe de ariete e 1 kg/cm<sup>2</sup> para solo entre regular e médio, para o cálculo do comprimento no sentido da vala (C), resultando em:

$$A = L * C \rightarrow F/\sigma = L * C \rightarrow C = F/\sigma / L$$

Onde: L = Largura (cm) e C = Comprimento (cm).

Considerando a reação de apoio sobre a parede da vala, é adotada a condição limite de maximização dos empuxos, onde o bloco deve resistir ao esforço cortante ( $\sigma_c$ ) em sua seção longitudinal, resultante da transmissão do empuxo, calculado por:

$$\sigma_c = F / (C * H) \quad (\sigma_c \text{ não deve ser superior a } 10 \text{ kg/cm}^2)$$

### 2.1.3 Estação de tratamento de água

Uma estação de tratamento de água é a unidade do sistema de abastecimento encarregada da purificação da água bruta, tornando-a segura e adequada para o consumo humano. O processo de tratamento de água envolve uma série de etapas físicas, químicas e biológicas que visam remover contaminantes, partículas suspensas, microrganismos patogênicos e substâncias indesejáveis da água, garantindo que a água atenda aos padrões de qualidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

A tecnologia de tratamento a ser empregada depende da qualidade da água bruta, podendo variar desde uma filtração direta até uma ETA de ciclo completo, a qual é dotada de mistura rápida onde ocorre a coagulação, floculação, decantação, filtração e câmara de contato para desinfecção. A ETA convencional é de ciclo completo e dotada de decantador convencional. A Figura 8 ilustra uma ETA de ciclo completo convencional.

Figura 8 - Etapas de uma estação de tratamento de água convencional



Fonte: Roschild e Guedes (2019)

Após a chegada na unidade, na primeira etapa (mistura rápida) a água recebe um coagulante, normalmente um sal metálico (sulfato de alumínio e cloreto férrico são os mais comuns), para desestabilizar as partículas. Esse processo se dá com a dispersão do coagulante através de uma agitação mais intensa durante 30 segundos, possibilitando a sua aglutinação na etapa seguinte, a floculação.

No floculador a água coagulada é de forma mais lenta para que as partículas possam se unir, fazendo com que as partículas tornem-se flocos maiores e mais pesados. Na decantação, os flocos formados no processo anterior sedimentam e a água decantada segue para os filtros. Os flocos sedimentados formam um lodo no fundo do decantador que é periodicamente removido, desaguado e descartado em aterros sanitários.

A filtração é considerada o coração da ETA, é o ponto do tratamento onde a água passa por filtros responsáveis por reter flocos que não sedimentaram e realizar a completa remoção de outros resíduos menores. Os filtros são compostos normalmente por camadas de cascalho/pedregulho, de areia grossa, areia fina, e antracito.

A última etapa é a câmara de contato onde ocorre a desinfecção pela adição de cloro ou ozônio para eliminação de microrganismos que garante a eliminação de vírus e bactérias. Nela ocorre também a correção do pH da água, e a aplicação de flúor como medida preventiva de cáries na população.

## **2.2 Os sistemas coletivos alagoanos**

A hidrografia alagoana apresenta duas vertentes: a do São Francisco (ocidental) e a do Atlântico (oriental). Na Vertente Oriental, a maioria dos rios é perene e deságua no Oceano Atlântico no total de 29 rios. A Vertente Ocidental é formada em sua maioria por rios temporários e que deságuam no rio São Francisco no total de 23 rios, dificultando o abastecimento de água dessa região.

Para resolver esse problema, a CASAL - Companhia de Saneamento de Alagoas, empresa criada em 1962 que era responsável pelo abastecimento de água de 77, dos 102, municípios alagoanos, implantou os Sistemas Integrados de Abastecimento de Água ou Sistemas Coletivos que abasteciam várias cidades com adutoras e subadutoras com duzentos ou mais quilômetros de extensão e altura manométricas maiores que 250 mca, com captação de água no rio São Francisco (CALLADO e CALLADO, 2018).

Foram implantados três grandes sistemas coletivos, o primeiro deles foi o da Bacia Leiteira, seguido pelos sistemas do Agreste e Sertão, e sistemas coletivos de menores portes tais como o Limeira, carangueja e Delmiro Gouveia (Barreira), na região do semiárido e os sistemas Maribondo-Anadia, Junqueiro-Teotônio Vilela, fora do semiárido, como ilustrado na Figura 9.



Figura 9 - Sistemas coletivos da CASAL



Fonte: CASAL (2018)

O sistema coletivo da Bacia Leiteira foi o primeiro a ser implantado, com seu projeto elaborado em 1964 e sua inauguração completa realizada em 1971. O sistema tinha início em Belo Monte, com a tomada de água no rio São Francisco e seguia pelos municípios do sertão alagoano, inicialmente sem ligações. A concepção do sistema da Bacia Leiteira pode ser considerada um ponto de inflexão na história do abastecimento de água em Alagoas, sendo seguido pelos sistemas do Agreste e do Sertão (CALLADO; CALLADO, 2018).

Atualmente a Bacia Leiteira abastece 19 municípios (Batalha, Belo monte, Cacimbinhas, Carneiros, Dois riachos, Jacaré dos homens, Jaramataia, Major Isidoro, Maravilha, Monteirópolis, Olho D'água das flores, Olivença, Ouro branco, Palestina, Pão de açúcar, Poço das trincheiras, Santana do Ipanema, São José da Tapera e Senador Rui Palmeira) e seus povoados, além de diversas ligações rurais.

Em virtude da atualização do Marco Legal do Saneamento Básico pela União, em meados de 2020, o Governo do Estado de Alagoas deliberou a fase do planejamento e execução de funções públicas atreladas à prestação regionalizada do abastecimento de água e esgotamento sanitário. Por conseguinte, foi firmada uma parceria contratual com o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) objetivando estruturar projetos com a inclusão da participação privada, juntamente com a CASAL e a atuação dos Municípios incluídos no plano (Governo de Alagoas, 2023).

Para tal propósito, foi procedida a constituição de novos blocos regionais, sendo estes: Bloco A - Região Metropolitana de Maceió, contemplando 13 municípios; Bloco B - Agreste do Sertão, integrado por 35 cidades, e Bloco C - Zona da Mata e Litoral Norte, composto por 27 cidades. Entretanto nem todos os municípios aderiram ao planejamento do estado, ficando o Bloco 1 com 13 municípios, o bloco B com 35 municípios, o Bloco C com 27 municípios. Os demais municípios permaneceram sob a responsabilidade da CASAL, excluindo 11 municípios que mantiveram-se com SAAE (serviços autônomos de água e esgoto). Neste planejamento o sistema produtor continua a cargo da CASAL e a distribuição pelas empresas privadas. Assim, as grandes adutoras continuam sob operação da CASAL.

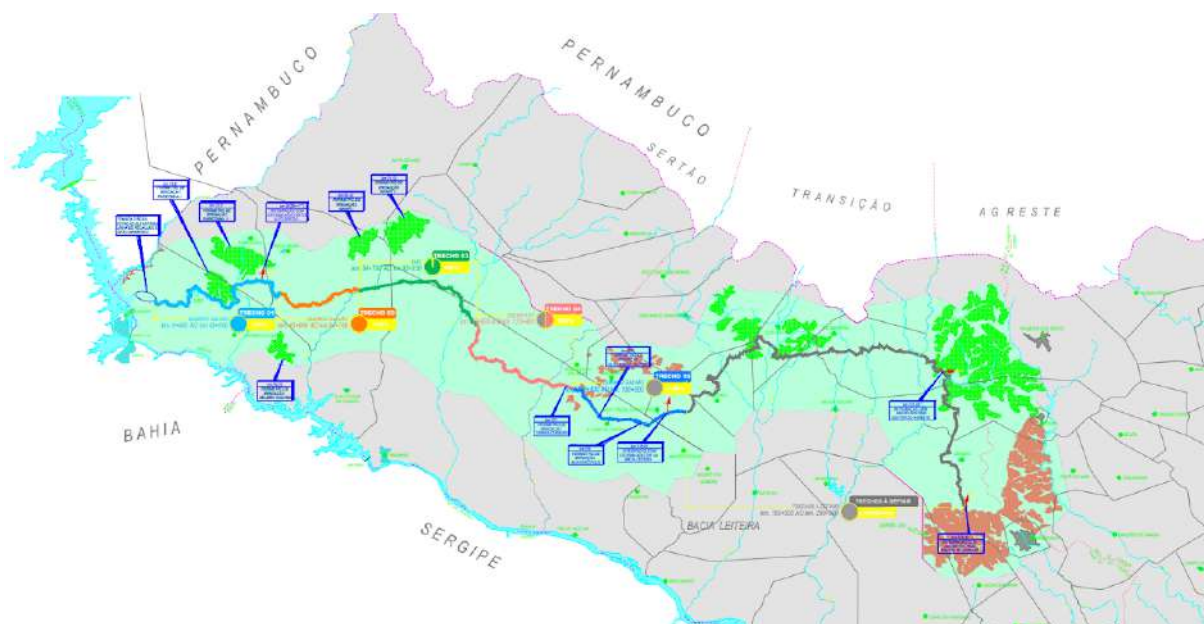
### **2.3 O Canal do Sertão**

No contexto da política de combate à seca e da busca por soluções eficazes para o abastecimento de água, a qualidade de vida e o desenvolvimento no sertão e agreste de Alagoas, na década de 1980, foi idealizado o projeto de um canal que, quando concluído, contemplasse uma área de, aproximadamente, 13.230,30 km<sup>2</sup>, garantindo o abastecimento proveniente da bacia do São Francisco para os municípios do semiárido alagoano, viabilizando água para, além do consumo humano, a irrigação da agricultura familiar e empresarial, perímetros irrigados, dessedentação de animais, piscicultura, indústrias e comércio, com abastecimento de pequenos açudes ou barreiros (SEMARH/AL, 2009).

*O Estudo de Viabilidade do Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Projeto do Sertão Alagoano* foi desenvolvido em 2002 pelo consórcio HYDROS e TECNOSOLO, a pedido da CODEVASF, com o intuito de definir os números de demanda hídrica para o dimensionamento do denominado Canal do Sertão. Com isso, foram destacados os principais grupos de uso da água, sendo estes: aproveitamento hidroagrícola (perímetros de irrigação), demanda rural difusa (perímetros de sequeiro), abastecimento de água rural e urbano e desenvolvimento de piscicultura em tanques.

Inserido no Programa de Aceleração de Crescimento (PAC), o Canal do Sertão é considerado a maior obra hídrica do estado de Alagoas e visa atender, de forma direta, 42 cidades. O empreendimento foi projetado para construção em segmentos individuais a fim de que seus trechos possam ser operados e entrem em funcionamento sem que seja necessário a finalização dos trechos subsequentes. No total, serão 8 trechos construídos, contemplando 250 km de extensão (Figura 10) e estando a execução das obras sob gestão da Secretaria do Estado de Infraestrutura (SEINFRA).

Figura 10 - Traçado completo do Canal do Sertão



Fonte: SEINFRA (2019)

Segundo dados da SEINFRA, a obra se encontra com 4 trechos concluídos e um em andamento, na extensão do quilômetro 0 ao 150, assim dividida:

- Trecho I: Compreende do quilômetro 0 ao 45, concluído em 2013;
- Trecho II: Compreende do quilômetro 45 ao 64, concluído em 2013;
- Trecho III: Compreende do quilômetro 64 ao 93, concluído em 2015;
- Trecho IV: Compreende do quilômetro 93 ao 123, concluído em 2021;
- Trecho V: Compreende do quilômetro 123 ao 150, obra licitada e contratada.

A captação de água inicia na barragem do Moxotó, no município de Delmiro Gouveia, onde fica localizada a estação elevatória projetada para abrigar 12 conjuntos de bombas com potência de 2000 CV cada, totalizando uma vazão nominal de 32 m<sup>3</sup>/s. O recalque ocorre por 4 linhas de adução paralelas de 1.700 m até a caixa de transição, a partir da qual a água percorre por gravidade até o fim do canal, que possui diversas estruturas especiais ao longo de sua extensão, como pontes rodoviárias, sifões invertidos, pontes-canais, túneis, comportas e estruturas de drenagem, sendo a sua forma mais visível um canal trapezoidal com base maior média de 15,2 m e altura d'água de 3,3 m (SEMARH/AL, 2009).

Figura 11 - Canal do Sertão cortando rodovia em Delmiro Gouveia - AL



Fonte: Associação dos Municípios de Alagoas (2019)

De acordo com um estudo realizado pela Secretaria do Planejamento, Gestão e Patrimônio (2017) os perímetros irrigados são os maiores consumidores do empreendimento e demandam uma vazão superior a  $24 \text{ m}^3/\text{s}$ . Atualmente, até o trecho V, é previsto uma oferta máxima de  $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , devido a maior parte das áreas irrigáveis estarem localizadas nos últimos 100 km projetados.

Os sistemas coletivos existentes e em funcionamento em Alagoas sofrem com dificuldades comerciais e operacionais, além das diferenças de altitude dos municípios abastecidos superiores a 300 m em relação ao nível da captação no rio São Francisco acarretarem na elevação de custos do serviço (SEMARH/AL, 2008). Nesse cenário, o Canal do Sertão surge na região como uma solução para esse e outros problemas dos sistemas que operam no abastecimento de água do estado.

Tendo como base os trechos construídos e em operação, torna-se perceptível a eficiência e a importância do Canal do Sertão, como também evidencia a necessidade de um maior engajamento e articulação entre os órgãos públicos envolvidos, devendo haver uma gestão qualificada dos recursos hídricos e financeiros e aumentando a fiscalização e a conscientização do uso adequado da água proveniente do Canal, para que a sua construção possa ser finalizada e atinja o potencial para o qual foi projetado, gerando cada vez impactos positivos maiores na vida da população sertaneja alagoana.

O Canal encontra-se, atualmente, sob a coordenação do comitê gestor, formado pelas Secretarias de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), de Infraestrutura (SEINFRA) e de Agricultura e Pecuária (SEAGRI). Recentemente foi encaminhado pelo Governo do Estado um projeto de lei à Assembleia Legislativa que incorpora o Canal do Sertão ao patrimônio da CASAL. Caso o projeto seja aprovado, haverá a cobrança do uso da água através de uma política tarifária a ser implantada, com a criação de um fundo de manutenção, garantindo a sustentabilidade do empreendimento. Usuários de grande e médio porte, incluindo a Companhia, que utiliza a água para tratamento, contribuirão para o fundo (CASAL, 2023).

## 2.4 Modelagem hidráulica

A American Society of Civil Engineers (ASCE, 2000) define a modelagem hidráulica como sendo um método de representação física empregado para examinar o projeto e funcionamento de sistemas na engenharia hidráulica. Dessa forma, é possível reconhecer os pontos críticos do sistema, permitindo a simulação de diferentes cenários de intervenção destinados a aprimorar a eficiência operacional. Isso inclui medidas como reforçar a infraestrutura da rede, implantar Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs), utilizar boosters ou executar projetos de setorização (CHAVES, 2023).

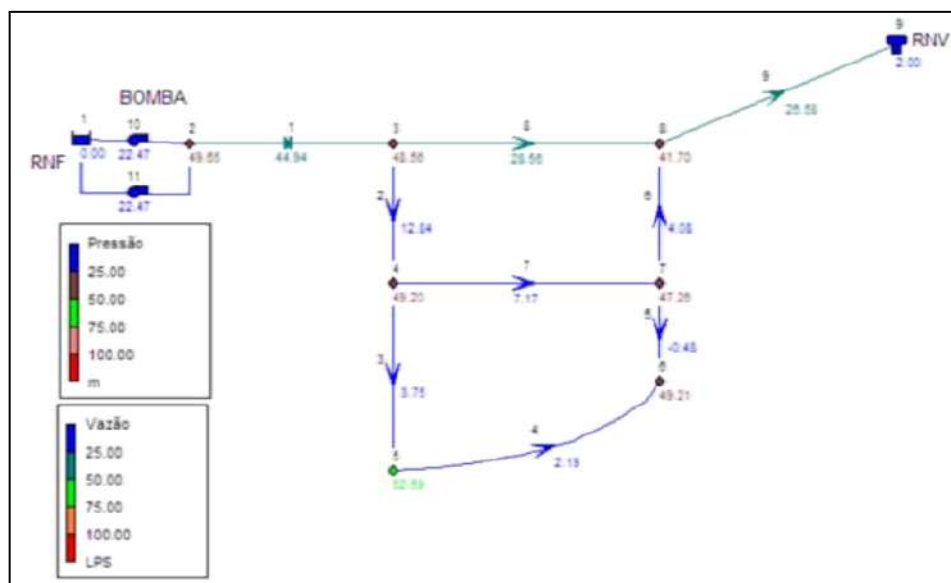
Nos modelos hidráulicos, são estabelecidos os tamanhos e traçados das tubulações, as especificações operacionais das bombas, reservatórios e válvulas, bem como outros elementos relevantes. Com base nesses parâmetros, são utilizadas equações hidráulicas para calcular diversos aspectos, como a vazão e a perda de carga nas tubulações, bem como a pressão da água nos pontos nodais do sistema, por exemplo (CHAVES, 2023).

Dentre os *softwares* de modelagem hidráulica está o EPANET (*Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool*), que foi desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos e sua versão em português foi uma iniciativa do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba.

O EPANET pode ser aplicado em diversas situações em que seja necessário realizar simulações de sistemas de distribuição sob pressão, abrangendo a criação de cenários de projeto, como a expansão de uma rede já existente, a calibração de modelos hidráulicos, a análise da redução do teor de cloro residual e a avaliação do consumo de recursos. O

programa pode ser uma ferramenta valiosa para analisar estratégias de gestão alternativas visando aprimorar a qualidade da água no sistema (EPA, 2000).

Figura 12 - Exemplo de mapa de resultados gerados pelo EPANET



Fonte: Gomes (2007)

Dentre o conjunto de ferramentas de cálculo para simulação hidráulica, encontram-se (EPA, 2000):

- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning;
- Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos;
- Modelagem de bombas de velocidade constante ou variável
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;
- Modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão;
- Modelagem de reservatórios de armazenamento de nível variável de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo/
- Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores;
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples.

Em seu livro, Erich Kellner (2022) explica o funcionamento da ferramenta de curvas no EPANET, conceituado estas como sendo pares de dados que buscam representar uma

relação entre duas grandezas. Um modelo simulado pode utilizar 4 tipos de curvas: curva da bomba, curva de rendimento, curva de volume e curva de perda de carga. A curva de uma bomba pode ser definida a partir de 3 maneiras:

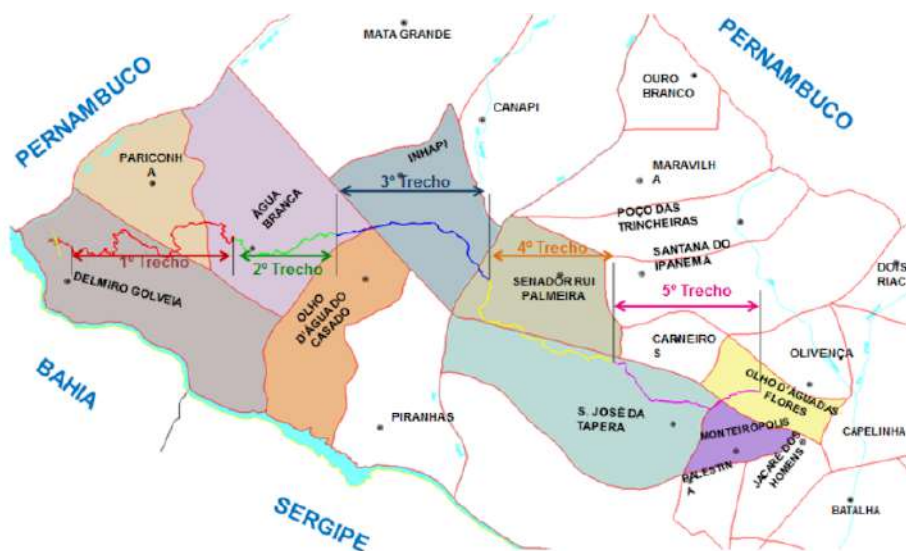
- a) Curva com um ponto: Neste caso basta fornecer um único par de valores de vazão – altura manométrica, referente ao ponto ótimo de funcionamento da bomba. O EPANET adiciona automaticamente dois pontos à curva, estabelecendo que a bomba seja desligada para uma vazão nula, correspondente a uma carga que é 133% da carga nominal e que a vazão máxima, para uma altura manométrica nula, com o dobro da vazão nominal. Deste modo, a curva é traçada como uma curva com três pontos.
- b) Curva com três pontos: Neste caso é necessário fornecer três pontos de operação: ponto de Vazão Mínimo (vazão e carga para o ponto de vazão nulo ou mínimo), ponto de Vazão Nominal (vazão e carga para o ponto ótimo de funcionamento), ponto de Vazão Máximo (vazão e a carga para o ponto de vazão máximo). O EPANET ajusta uma função contínua do tipo  $H_{\text{elevação}} = A - B \cdot Q^c$ , onde  $H_{\text{elevação}}$  é a altura de elevação da bomba, A, B, c são constantes e Q é a vazão bombeada.
- c) Curva com múltiplos pontos: Uma curva deste tipo é definida se forem fornecidos quatro ou mais pontos com valores de vazão – altura manométrica. O EPANET cria uma curva completa ligando os vários pontos entre si por segmentos de reta.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende os últimos pontos do quinto trecho do Canal do Sertão (Figura 13) e a região próxima às coordenadas geográficas UTM 687090.22 m E e 8946941.73 m S, no município de Olho d'Água das Flores, onde está sendo construída a nova estação de tratamento de água do sistema coletivo da Bacia Leiteira.

Figura 13 - Traçado dos 5 trechos do Canal do Sertão



Fonte: SEINFRA (2016)

Figura 14 - Localização da ETA na área urbana do município de Olho d'Água das Flores



Fonte: Google Earth Pro (2019)



O município de Olho d'Água das Flores, está na região centro-oeste do estado de Alagoas, que faz fronteira com alguns outros municípios, como São José da Tapera e Jacaré dos Homens. O clima no município é do tipo tropical semiárido, com precipitação média anual de 431,8mm, e, atualmente, o abastecimento de água é proveniente do sistema coletivo da Bacia Leiteira, operado pela CASAL.

A ETA é um empreendimento da Secretaria de Estado de Infraestrutura de Alagoas (SEINFRA), junto a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), e foi projetada para tratar de forma tradicional a água que será distribuída para os 19 municípios da Bacia Leiteira, com uma vazão de dimensionamento de 800 L/s, dos quais 720 L/s são provenientes do sistema adutor e 80 L/s são provenientes do retorno da água da lavagem dos filtros.

### **3.2 Levantamento compilado de dados técnicos**

O levantamento compilado de dados técnicos do canal do Sertão e do sistema coletivo da Bacia Leiteira, envolveram basicamente parâmetros hidráulicos e topográficos de projeto e foi realizado através de fontes oficiais dos órgãos responsáveis: CASAL e SEINFRA. Foram coletados dados sobre o canal do Sertão e sobre sistema coletivo da Bacia Leiteira, incluindo a estação de tratamento de água, a fim de obter os parâmetros necessários à elaboração da proposta da captação e da adutora para alimentar a nova ETA em construção.

Do canal do Sertão foram levantados o caminhamento, a velocidade, o controle de nível, seção típica, vazões de projeto e população atendida.

Do sistema coletivo foram levantadas informações sobre a atual infraestrutura do sistema de abastecimento de água na região, como traçado de adução, diâmetros, potências de bombas, reservação, vazões, entre outras.

Para a ETA foram levantados a tecnologia implantada, a vazão de projeto, sua vida útil e população a ser atendida durante o seu período de vida útil.

### **3.3 Estudo de demandas**

O estudo de demandas futuras teve por objetivo a determinação das vazões de dimensionamento das unidades que compõem o sistema adutor de água bruta (elevatória e linha adutora). Tendo em vista que o sistema deve ser projetado para atender a vida útil de no mínimo 20 anos, é necessário efetuar a projeção populacional.

- **Estimativa populacional**

Para o estudo de demandas, além dos dados de geração per capita, faz-se necessário realizar um estudo da tendência de crescimento da população dos 19 municípios que são abastecidos a partir da estação de tratamento de água, ao longo da vida útil de projeto.

O crescimento populacional depende de fatores políticos, econômicos e sociais, como também dos recursos naturais disponíveis e existem diversos métodos para a determinação da sua projeção, os quais devem ser estudados de maneira a se adotar o mais adequado ao projeto em questão.

Para tal, foram utilizados os dados dos Censos Demográficos dos anos de 1970, 1980, 1991, 2000, 2010 e 2022 disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da população total, urbana e rural, visto que o sistema coletivo atende a toda população da região. Vale ressaltar que o município de Senador Rui Palmeira teve sua origem em 1983 após a emancipação política do município de Santana do Ipanema. Assim para esses municípios os dados dos censos de 1970 e 1980 foi estimado com base na proporção da população do município desmembrado em relação ao município de origem observado nos demais censos, e da população do IBGE do município de origem dos anos de 1970 e 1980 foi descontada a estimativa da população do município desmembrado. A partir desses dados a população foi estimada através dos seguintes métodos:

**Método 1:** Utilizando os dados de população do IBGE, para cada um dos 19 municípios, foram aplicados os métodos matemáticos de crescimento linear, potencial, exponencial e logarítmico (Tabela 4), com o auxílio de planilhas do Excel. Para verificar qual o método que apresentou o melhor ajuste, foi calculado o coeficiente de correlação ( $R^2$ ), tendo sido adotada a equação de crescimento que apresentou coeficiente de correlação de Pearson mais próximo da unidade (melhor ajuste). A partir da curva de melhor ajuste foi feita a soma da projeção da evolução populacional de cada município para o período de vida útil de projeto da ETA.

Tabela 4 - Equações matemáticas para estimativas de crescimento populacional.

Ajuste	Equação
Linear	$Y = A.X + B$
Potencial	$Y = A.X^B$
Exponencial	$Y = A.e^{BX}$
Logarítmico	$Y = A.ln(X) + B$

**Método 2:** Para o segundo método, foi feito o somatório das populações dos 19 municípios para cada ano dos últimos 6 censos do IBGE. Então, aos dados do somatório foram aplicados aos métodos matemáticos de crescimento linear, geométrico, exponencial e logarítmico, com o auxílio de planilhas do Excel. Para verificar qual o método que apresentou o melhor ajuste, foi calculado o coeficiente de correlação ( $R^2$ ), tendo sido adotada a equação de crescimento que apresentou coeficiente de correlação de Pearson mais próximo da unidade (melhor ajuste). A partir da curva de melhor ajuste foi feita a projeção da evolução populacional para o período de vida útil de projeto da ETA.

Assim, a partir dos modelos matemáticos adotado, foi feito o estudo da população atendida no início de plano, quando a obra começa a operar, com previsão de 5 anos; no meio de plano, com 10 anos a partir do início de plano; e no horizonte de projeto, após os 20 anos de operação. As populações resultantes pelos dois métodos foram comparadas entre si, e a população de saturação (final de plano) foi comparada, também, com a população de saturação utilizada no projeto da ETA.

- **Cálculo das demandas**

Para o cálculo da quantidade de água necessária para suprir as necessidades da população dos municípios da Bacia Leiteira para uso humano foi considerado um período de vida útil de 20 anos, estimando que a ETA entrará em funcionamento em 2028 e tendo o ano de 2048 como fim de plano.

Para a determinação das vazões de consumo ao longo dos anos no horizonte do projeto, foram obedecidas as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 12211 - Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água, para taxa de atendimento de 100% da população (P) considerando a maior população de saturação observada na estimativa populacional. Foram utilizados, também, os mesmos valores de coeficiente *per capita* (PC) e coeficientes de vazão máxima diária (K1) e horária (K2) utilizados no dimensionamento da ETA. Foram então calculadas as vazões médias, máxima diária e máxima horária para início (2028), meio (2038) e final de plano (2048), com as equações seguintes equações:

$$Q_{\text{med}} = (P * C) / 86.400$$

$$Q_{\text{máx,dia}} = Q_{\text{med}} * K_1$$

$$Q_{\text{máx,hor}} = Q_{\text{máx,dia}} * K_2$$

Ainda, para definição da vazão de projeto foram consideradas as perdas no sistema, e aos dados de vazões calculados foram adicionadas as perdas citadas pelo SINIS (2021) registrados para o Estado de Alagoas, e levando em consideração que os gestão da operação devem dos sistemas de abastecimento de água devem ser orientados pela busca de sua maior redução possível, para um cenário pessimista, as vazões do sistema para início, meio e final de plano, foram calculadas taxas com reduções em três faixas consecutivas de 5% de redução de perdas.

### **3.4 Dimensionamento do sistema adutor de água bruta**

Após a coleta de dados e com as informações de vazão definidas no estudo de demandas, utilizando ferramentas como imagens de satélite (Google Earth), planilhas de dimensionamento e AutoCAD, foi elaborada a proposta do sistema adutor de água bruta para alimentar a nova ETA do sistema coletivo da bacia, através das seguintes etapas:

**Estudo do traçado da adutora:** Considerando a topografia da área, o ponto de captação, os obstáculos no percurso e os custos da construção e, utilizando imagens de satélite, será determinado o caminho percorrido pela adutora. Sabendo que o trecho do Canal do Sertão a ser utilizado para o sistema proposto ainda não foi construído, o estudo foi baseado no traçado inicial do projeto do Canal adutor, podendo haver, futuramente, alterações, a depender do nível de urbanização e ocupação da região ou outros motivos circunstanciais. Devido a inviabilidade da realização de levantamento topográfico em campo e de sondagem do terreno para obtenção de informações geotécnicas, foram utilizadas algumas ferramentas para análise do relevo, características do solo e urbanização da região, como o Google Earth, o TessaDEM, e estudos do solo para o município de Olho d'Água das Flores.

**Dimensionamento do sistema:** Dimensionamento da captação e da adutora para a vazão máxima diária acrescida das perdas no sistema e materiais utilizados. Para o diâmetro da adutora foram levados em conta as perdas de carga, pressão e velocidade da água, constantes em Azevedo Netto et al. (2018) e Porto (2006) e comparado às recomendações de Gama, Souza e Callado (2019).

**Estudo dos transientes hidráulicos:** para o estudo da onda de golpe de aríete foi realizado inicialmente o cálculo da celeridade utilizando de Allievi. Em seguida foi feito o cálculo da amplitude da onda do golpe e calculadas as sobrepressões máxima e mínima.

**Dimensionamento dos blocos de ancoragem:** para o dimensionamento dos blocos de ancoragem foi inicialmente identificados os locais que necessitavam desses dispositivos, calculadas as pressões e o empuxo e calculadas as dimensões padrões dos blocos.

A proposta atendeu às seguintes normas técnicas da ABNT:

- NBR 12.211/1992 - Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água
- NBR 12.213/1992 - Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público
- NBR 12.214/1992 - Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público
- NBR 12.215/1991 - Projeto de adutora de água para abastecimento público
- NBR 12.266/1992 - Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana

### **3.5 Modelagem hidráulica**

A modelagem hidráulica foi realizada utilizando o EPANET, devido ao fato de ser um software gratuito e de fácil acesso, sendo bastante utilizado no meio técnico e acadêmico para simular o comportamento hidráulico de redes de distribuição de água, permitindo também uma abordagem sistemática para a modelagem de adutoras de água bruta (GOMES, 2007).

Serão utilizados parâmetros necessários à modelagem, como diâmetros, comprimentos e elevações das tubulações, bem como localizações de bombas e pontos de entrada e saída de água bruta, para criar a representação digital da adutora, incluindo tubulações, bombas, válvulas e pontos de demanda. Definidas as condições iniciais, como os estados e períodos operacionais das bombas, serão executadas as simulações para analisar o comportamento hidráulico da adutora em diferentes cenários, avaliando os níveis de pressão, vazões, velocidades resultantes.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Levantamento técnico compilado

#### 4.1.1 Canal do Sertão

O Canal do Sertão Alagoano tem seu alinhamento básico definido segundo o sentido Oeste-Leste, tendo sido desenvolvido entre as elevações 283 m e 265 m, numa extensão de total de 250 km até a região de Arapiraca. Sua área de abrangência contempla parcialmente 6 microrregiões homogêneas do IBGE, da ordem de 800.000 habitantes, distribuída em 42 municípios. A obra iniciou-se em setembro de 1992.

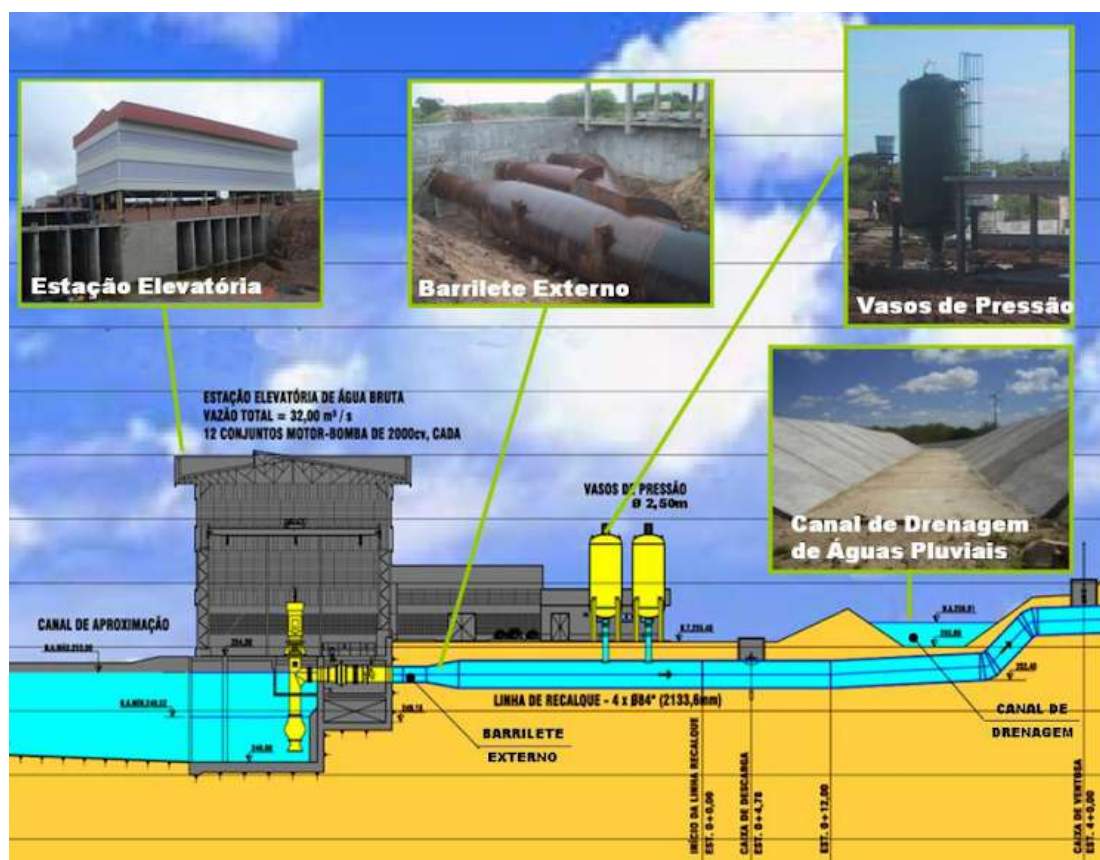
Características básicas:

- A velocidade da água no canal foi limitada entre 0,5 a 1,5 m/s. Embora o canal seja revestido com concreto, maior velocidade é inconveniente, pois resulta em perdas de carga mais elevadas levando a um aprofundamento não desejável da estrutura.
- Devido à necessidade de se eliminar as perdas d'água, toda a extensão do canal será revestida com uma geomembrana de PEAD- Polietileno de Alta Densidade, texturizado. Acima do PEAD haverá uma camada de concreto de 0,05 m para proteção mecânica da geomembrana.
- O controle de nível do canal, quando finalizado, será realizado através de comportas de controle, instaladas ao longo da obra, em média a cada 8 km de distância, permitindo o controle da vazão de trabalho e a manter a lâmina d'água no interior da calha do canal, quando de sua operação.

O canal é composto pelos seguintes elementos construtivos: tomada d'água, estação elevatória de água bruta, adutora de recalque, estrutura de transição recalque-sifão Invertido, sifão invertido, estrutura de transição sifão invertido-canal trapezoidal, além de estruturas especiais como bueiros, túneis, pontes-canal, travessias sobre o Canal, sifões, comportas, e canal retangular.

A Tomada d'água se localiza no povoado São José, Delmiro Gouveia, no Reservatório de Moxotó, no Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso I, II, III, Moxotó e PA IV, onde a estação elevatória possui capacidade final para 32,0 m<sup>3</sup>/s, com sua casa de bombas composta de 12 (doze) conjuntos de bombeamento de 2,67 m<sup>3</sup>/s, cada, correspondendo à potência unitária de 2.000 cv e rotação de 600 rpm.

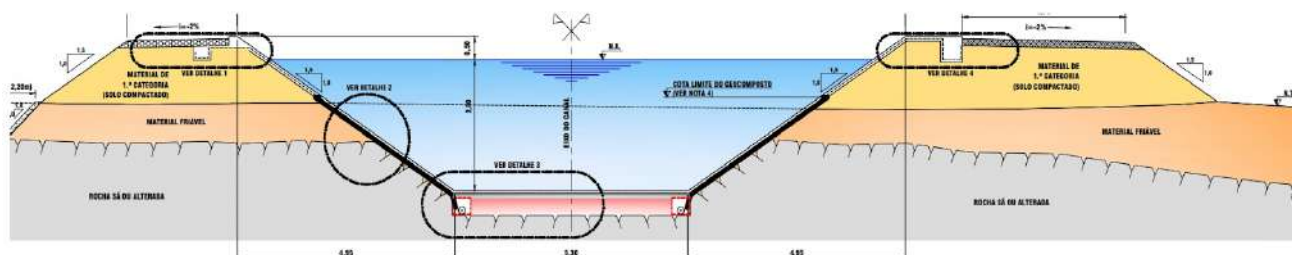
Figura 15 - Estação elevatória e linhas de recalque do Canal do Sertão



Fonte: SEINFRA (2007)

A calha principal do canal possui a forma trapezoidal, cuja base menor é de 5,30 m, base maior de 15,20 m e altura de 3,30 m (Figura 16). O canal foi projetado para uma declividade de 12 cm/km, pois desde o km 0 até o seu destino final é todo por gravidade. A estanqueidade do canal trapezoidal é garantida através da impermeabilização do mesmo.

Figura 16 - Seção trapezoidal típica em corte



Fonte: SEINFRA (2013)

De acordo com o *Estudo de Viabilidade* realizado foram definidas as seguintes vazões para cada um dos usos:

Tabela 5 - Usos da água do canal

<b>Tipo de uso</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
Irrigação	23,5
Sequeiro	4,3
Urbano e Rural	2,0
Perdas	2,2
<b>Total</b>	<b>32,0</b>

Fonte: CONSÓRCIO HYDROS & TECNOSOLO (2002)

Para a interligação aos sistemas coletivos existentes, na fase de projeto foram estabelecidas as vazões para as demandas urbanas e rurais de abastecimento humano apresentadas na tabela 6, onde o sistema coletivo da Bacia Leiteira encontra-se na região de transição.

Tabela 6 - Demanda urbana e rural

<b>Região</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>
Agreste	0,84
Transição	0,84
Sertão	0,32
<b>Total</b>	<b>2,0</b>

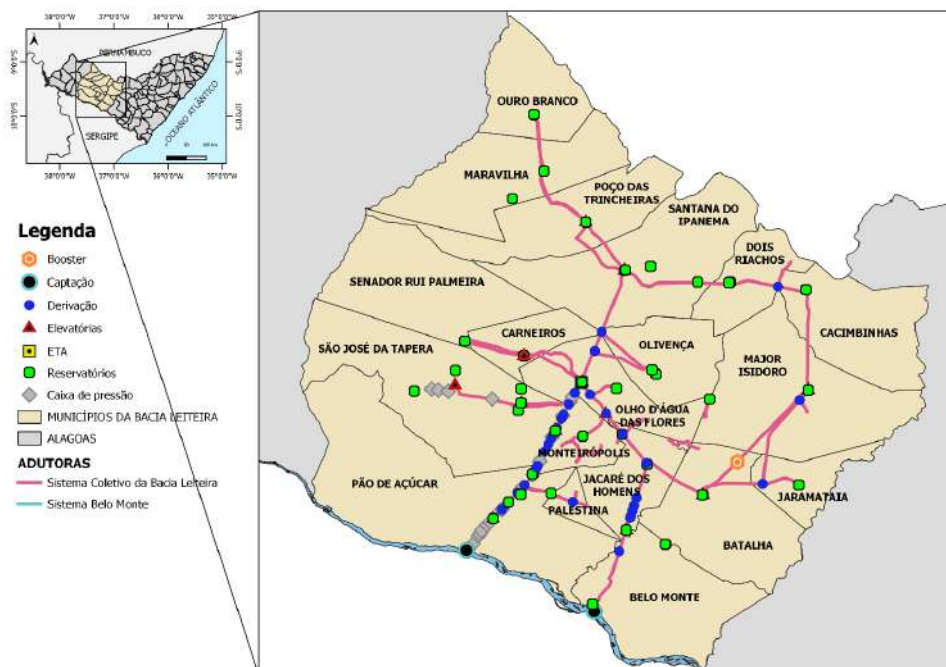
Fonte: CONSÓRCIO HYDROS & TECNOSOLO (2002)

#### 4.1.2 O sistema coletivo da Bacia Leiteira

O sistema da Bacia Leiteira tem início na captação no rio São Francisco no município de Pão de Açúcar, com vazão de captação e distribuição de água de 2.780 m<sup>3</sup>/h, operando 21 horas por dia, totalizando uma produção diária de 58.800 m<sup>3</sup> distribuída para 19 municípios. Ao todo, o sistema é composto por 1 captação, 12 estações elevatórias, 36 reservatórios e 1 estação de tratamento de água, que está em construção.



Figura 17 - Sistema completo da Bacia Leiteira



Fonte: Encibra (2022)

### Captação:

A captação ocorre por meio de tubulões nas coordenadas UTM 669887.70 m E e 8921947.32 m S. O sistema é atualmente composto por quatro bombas, sendo uma reserva, mas apenas duas estão em funcionamento atualmente. Existem projetos de ampliação e reforço da Bacia Leiteira que preveem a troca das bombas existentes na captação, melhorando a vazão e o desempenho do sistema.

Figura 18 - Estação de captação de água bruta da Bacia Leiteira, em Pão de Açúcar



Fonte: CASAL (2023)

### **Estação elevatória 01:**

Da captação, a água é transportada por mais de 6 km através da adutora tronco do sistema, que possui diâmetro de 700 mm em ferro fundido, até uma estação elevatória de água tratada ainda em Pão de Açúcar, situada nas coordenadas UTM 673848.00 m E e 8926702.00 m S a uma cota de 171 m. A EEAT 01 é composta por três bombas centrífugas, sendo uma reserva, e nela a água passa pelo processo de cloração simples

Figura 19 - Estação elevatória de água tratada 01 da Bacia Leiteira



Fonte: CASAL (2022)

### **Derivação para Palestina:**

Entre a EEAT 01 e a EEAT 02 existe, dentre diversas outras, a derivação de água para o município de Palestina com tubulação de 150 mm de diâmetro em PVC DeFoFo, nas coordenadas UTM 678527.36 m E e 8931690.51 m S. A subadutora cruza terrenos privados e se estende por aproximadamente 6 km, atualmente sem reservação.

### **Estação elevatória 02:**

Da EEAT 01, a água é bombeada por mais de 16 km de adutora de 700 mm em ferro fundido até a estação elevatória de água tratada 02, nas coordenadas UTM 683119.00 m E e 8939780.00 m S. A estrutura da EEAT 02 é exatamente igual a da EEAT 01, possuindo três bombas, sendo uma reserva. Dessa estação elevatória, a água segue para os dois reservatórios apoiados de Olho d'Água das Flores, onde está sendo construída a estação de tratamento de água, com reservação de 1.200 m<sup>3</sup> e 2.000 m<sup>3</sup>

Figura 20 - Estação elevatória de água tratada 02 da Bacia Leiteira



Fonte: CASAL (2022)

#### 4.1.3 A estação de tratamento de água

A Estação de Tratamento de Água (ETA) é do tipo ciclo completo convencional e fica localizada na Serra do Parujé, cidade Olho D'Água das Flores, com acesso através de estrada vicinal na BR-130. Foi projetada para vazão de 800 L/s, sendo 720 L/s oriundos do sistema adutor e 80 L/s provenientes do retorno de água de lavagem dos filtros, a partir dos seguintes parâmetros:

População de saturação .....	384.000 hab.
Consumo <i>per capita</i> .....	150 l/hab.dia
Coefficientes do dia de maior consumo .....	K1 = 1,2
Coefficiente da hora de maior consumo .....	K2 = 1,5
Consumo médio diário .....	666,66 l/s
Consumo máximo diário .....	800 l/s
Consumo máximo horário .....	1200 l/s

Sua estrutura é um bloco hidráulico composto por dois módulos iguais e simétricos que funcionará 24 horas diárias.

Para garantir uma medição contínua das vazões de água bruta de chegada, foi instalada calha Parshall com medidor ultrassônico de nível, com dimensão de 91,5 cm (36"). Posteriormente a floculação hidráulica será realizada por meio de chicanas, com movimento vertical, contemplando também sedimentação convencional horizontal, contendo 3 módulos.

A ETA possui filtração rápida por gravidade, totalizada em 10 unidades. Sua lavagem é realizada por meio de injeção de ar e água a contracorrente, ou seja, com o fluxo contrário ao de filtração. O reservatório de lavagem tem volume de 550 m<sup>3</sup>, alimentado por meio de bombas centrífugas com vazão de 550 m<sup>3</sup>/h e altura manométrica de 25 mca. O controle de nível do reservatório é realizado pelo mesmo sistema de automação mencionado que dá partida das motobombas. O efluente de lavagem dos filtros é encaminhado ao tanque de equalização e a parte líquida sobrenadante é destinada à caixa de chegada da ETA para recirculação.

Para retirada de microrganismos patogênicos, a desinfecção é realizada por cloro a gás, possuindo quatro cloradores com capacidade de 10 kg/h com controle automático, e bombas auxiliares de água, centrífugas, acionadas por motores elétricos, contendo vazão de 4 m<sup>3</sup>/h e altura manométrica de 60 mca.

O reservatório de distribuição tem um volume de 2.000 m<sup>3</sup>, com duas cédulas de 1.000 m<sup>3</sup> cada, que é alimentado por uma tubulação de diâmetro de 800 mm de ferro dúctil. O reservatório de saída é alimentado por uma tubulação de diâmetro de 800 mm, de ferro fundido, no qual será instalado um medidor eletromagnético de vazão para monitoramento da água filtrada pelo sistema.

Para a limpeza dos filtros, decantadores e dos tanques de preparo de produtos químicos, o efluente é destinado a um tanque de equalização com capacidade de 350 m<sup>3</sup>, em formato cônico, onde posteriormente o material sobrenadante retornará ao sistema e o lodo é encaminhado para três lagoas de desidratação, conectados por uma tubulação de diâmetro de 250 mm, equipada com uma válvula borboleta com acionamento elétrico, para operação de esgotamento do lado armazenado no tanque após a lavagem de cada filtro.

As elevatórias instaladas para que supra a demanda de lavagem dos filtros, é composta por duas bombas centrífugas submersíveis, acionadas por motor elétrico, vazão de 80 l/s e altura manométrica de 18 mca e tubulação de recalque tendo diâmetro de 250 mm. O controle das bombas é acionado através de medidor ultrassônico de nível que será instalado no reservatório. O material posteriormente decantado será encaminhado às lagoas de desidratação do lodo por gravidade.

## 4.2 Estudo de demandas

A Tabela 7 apresenta os dados de população utilizados no estudo da tendência de crescimento da população total dos 6 últimos censos e contagens realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) dos 19 municípios que compõem o sistema coletivos da Bacia Leiteira.

Tabela 7 - Dados populacionais dos municípios da Bacia Leiteira

Município	População total					
	1970	1980	1991	2000	2010	2022
Batalha	9.082	10.584	13.033	14.799	17.076	16.448
Belo Monte	4.738	5.757	7.067	6.822	7.030	5.936
Cacimbinhas	9.420	10.590	13.721	9.552	10.195	10.476
Carneiros	5.104	5.459	5.687	6.585	8.290	8.999
Dois Riachos	6.244	8.004	10.011	11.066	10.880	9.805
Jacaré dos Homens	3.739	3.914	4.746	5.720	5.413	5.083
Jaramataia	2.371	3.162	4.372	5.788	5.558	4.985
Major Isidoro	14.332	16.252	17.257	17.639	18.897	17.700
Maravilha	8.245	11.900	11.380	13.687	10.284	9.534
Monteirópolis	4.758	5.438	6.140	7.240	6.935	7.184
Olho d'Água das Flores	10.870	13.978	15.653	19.417	20.364	20.695
Oliveira	8.667	9.581	10.130	10.369	11.047	10.812
Ouro Branco	6.277	8.821	9.346	10.077	10.912	11.446
Palestina	2.310	2.532	3.628	4.523	5.112	4.325
Pão de Açúcar	16.841	19.205	21.506	24.351	23.811	23.823
Poço das Trincheiras	10.386	10.823	11.489	13.222	13.872	12.518
Santana do Ipanema	27.302	31.997	36.088	41.485	44.932	46.220
São José da Tapera	20.738	24.934	27.413	27.562	30.088	30.604
Senador Rui Palmeira	7.537	8.875	9.413	11.979	13.047	12.302
<b>Total</b>	<b>178.961</b>	<b>211.806</b>	<b>238.080</b>	<b>261.883</b>	<b>273.743</b>	<b>268.895</b>

Fonte: IBGE (2022)

Em 1970, foi registrada a população da Bacia Leiteira com 178.961 habitantes, saltando para 211.806 habitantes em 1980 e para 238.080 em 1991. Posteriormente, no censo de 2000 a população alcança 261.883 habitantes e passa a ser de 273.743 em 2010, correspondendo a 8,8% do estado de Alagoas. Atualmente, segundo os primeiros dados do censo de 2022, houve uma diminuição na população, chegando a 268.895 habitantes. Os

municípios de Batalha, Belo Monte, Dois Riachos, Jacaré dos Homens, Jaramataia, Major Isidoro, Maravilha, Palestina, Poço das Trincheiras e Senador Rui Palmeira apresentaram queda na população de 2010 para 2022. O município mais populoso é Santana do Ipanema com 46.220 habitantes e o menos populoso é Palestina, com apenas 4.325 habitantes.

Utilizando o método 1 para a projeção populacional, a partir do ajuste dos dados do IBGE, para cada um dos municípios, foi verificada a equação de crescimento que apresentou o melhor ajuste com o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) mais próximo de 1, sendo esta utilizada para o cálculo de projeção populacional. A equação mais adequada, bem como as populações estimadas para início, meio e final de plano (saturação) estão apresentadas na Tabela 8.

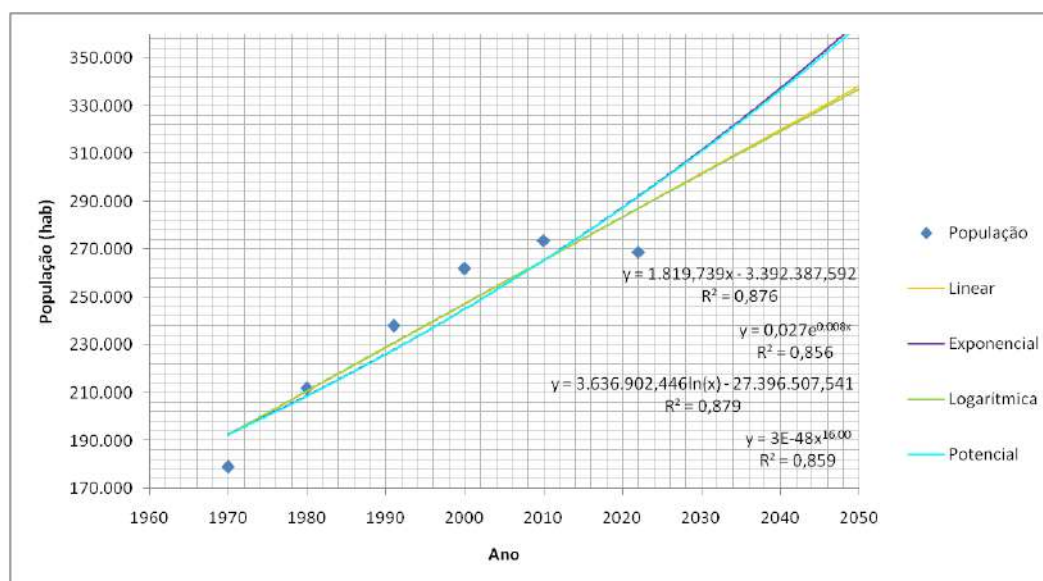
Tabela 8 - Populações de projeto segundo o método 1

Município	Equação	População total			
		Atual (2023)	Início de plano (2028)	Meio de plano (2038)	Fim de plano (2048)
Batalha	Logarítmica	17.902	18.693	20.270	2.1838
Belo Monte	Potencial	8.933	9.140	9.567	10.011
Cacimbinhas	Potencial	10.675	10.691	10.722	10.752
Carneiros	Exponencial	9.029	9.576	10.771	12.115
Dois Riachos	Exponencial	11.736	12.277	13.434	14.701
Jacaré dos Homens	Potencial	5.505	5.710	6.141	6.602
Jaramataia	Potencial	5.567	6.014	7.015	8.176
Major Isidoro	Logarítmica	18.910	19.251	19.931	20.608
Maravilha	Potencial	11.062	11.128	11.263	11.398
Monteirópolis	Logarítmica	7.626	7.867	8.348	8.827
Olho d'Água das Flores	Logarítmica	22.285	23.266	25.221	27.166
Olivença	Logarítmica	11.265	11.475	11.892	12.307
Ouro Branco	Logarítmica	11.979	12.429	13.325	14.216
Palestina	Potencial	6.155	6.629	7.684	8.902
Pão de Açúcar	Logarítmica	25.493	26.195	27.594	28.986
Poço das Trincheiras	Potencial	13.782	14.124	14.829	15.566
Santana do Ipanema	Logarítmica	48.537	50.432	54.207	57.963
São José da Tapera	Logarítmica	31.738	32.628	34.401	36.166
Senador Rui Palmeira	Potencial	13.294	14.006	15.539	17.231
<b>Total</b>		<b>291.473</b>	<b>301.531</b>	<b>322.154</b>	<b>343.531</b>

Fonte: Autora (2023)

Utilizando o método 2, a partir do ajuste dos dados do IBGE, verificou-se que a equação de crescimento do somatório populacional que apresentou o melhor ajuste com o coeficiente de correlação ( $R^2$ ) mais próximo de 1, e que foi utilizada para o cálculo de projeção populacional, é a logarítmica, como apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Gráfico das linhas de tendência do crescimento populacional da Bacia Leiteira



Fonte: Autora (2023)

Considerando o planejamento de início de projeto para 2028 (5 anos a partir de 2023) e um horizonte de 20 anos, aplicando-se a curva de crescimento logarítmico, tem as populações estimadas para início, meio e final de plano (saturação), apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Populações de projeto segundo o método 2

Ano	População	Ano	População
2027	296.003	2038	<b>315.686</b>
<b>2028</b>	<b>297.797</b>	2039	317.470
2029	299.590	2040	319.253
2030	301.382	2041	321.036
2031	303.173	2042	322.817
2032	304.963	2043	324.598
2033	306.752	2044	326.378
2034	308.541	2045	328.156
2035	310.329	2046	329.935
2036	312.115	2047	331.712
2037	313.901	<b>2048</b>	<b>333.488</b>

Fonte: Autora (2023)

Com isso, foram obtidas as seguintes populações de projeto:

Tabela 10 - Populações totais obtidas pelos métodos de projeção adotados

	2028	2038	2048
<b>Método 1</b>	301.531	322.154	343.531
<b>Método 2</b>	297.797	315.686	333.488

Fonte: Autora (2023)

Pelo método 1, tem-se uma população final de 343.531 habitantes e pelo método 2 de 333.488 habitantes. Portanto, para a proposta do trabalho, visando a segurança hídrica do sistema, foi considerada a maior população, de **343.531 habitantes**, para os 19 municípios da Bacia Leiteira.

#### 4.3 Vazões de projeto

Conforme as estimativas demográficas, levando em consideração o padrão de atendimento estabelecido, os coeficientes de variação dos volumes máximos de consumo diário e horário, bem como o consumo per capita previamente determinados, foram calculadas as vazões de projeto da Tabela 11.

Tabela 11 - Vazões de projeto

	2028	2038	2048
<b>Vazão média (L/s)</b>	523,49	559,30	596,41
<b>Vazão máxima diária (L/s)</b>	628,19	671,15	715,69
<b>Vazão máxima horária (L/s)</b>	942,28	1.006,73	1.073,53

Fonte: Autora (2023)

Dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) de 2021 registraram uma média de 43% de perdas para o Estado de Alagoas, dentre perdas reais e aparentes. Levando em consideração a extensão do sistema proposto em detrimento dos sistemas adutores existentes no Estado e que este deve ser dimensionado de modo a buscar a diminuição de perdas, para um cenário pessimista, foram calculadas taxas com reduções em faixas a cada 5%, resultando em 43%, 38% e 33% para as perdas na Bacia Leiteira, considerando a adução, o tratamento e a distribuição. Desse modo, visando o bom funcionamento e atendimento do sistema, tem-se as vazões de captação da Tabela 12.



Tabela 12 - Vazões de projeto com acréscimo das perdas em L/s

Perda	2028	2038	2048
43%	748,59	799,79	852,86
38%	722,42	771,83	823,04
33%	696,24	743,86	793,22

Fonte: Autora (2023)

Por conseguinte, considerando uma média de 38% de perdas, o sistema adutor proposto será dimensionado para captar **830 L/s** do Canal do Sertão, próximo a demanda reservada no planejamento do Canal para a região da Bacia Leiteira, que é de 844 L/s. Embora a ETA tenha sido dimensionada para uma vazão de tratamento de 800 L/s, dos quais 720 L/s são oriundos do sistema adutor, será levado em conta o tempo desde que seu projeto foi desenvolvido e o trabalho seguirá com a margem de segurança para garantir o atendimento das demandas calculadas, sendo aconselhada futura ampliação da ETA. Assim, a vazão de recalque será controlada a partir do número de horas em funcionamento das bombas, bem como na entrada da ETA, a partir das válvulas de controle. Para os cálculos, será considerado um período de funcionamento de 24 horas por dia.

#### 4.4 Descrição do sistema proposto

O sistema projetado consiste apenas nas estruturas e componentes necessários à alimentação da estação de tratamento de água (ETA), envolvendo a tomada de água no Canal do Sertão Alagoano, composta por uma estação elevatória e a adutora de água bruta, que seguirá por recalque até a chegada na ETA.

Cada componente integrante desse sistema deve ser cuidadosamente projetado, considerando a adequação da alternativa tecnológica escolhida para atender às demandas específicas da região, tanto em termos sociais quanto econômicos. Ainda, deve ser concebido em consonância com as exigências específicas da estação de tratamento e garantir sua longevidade substancial e facilidade nas operações de manutenção, uma vez que o sistema é projetado para suportar uma operação contínua e eficaz ao longo do tempo.

No presente documento será apresentado o memorial de cálculo do dimensionamento do sistema.

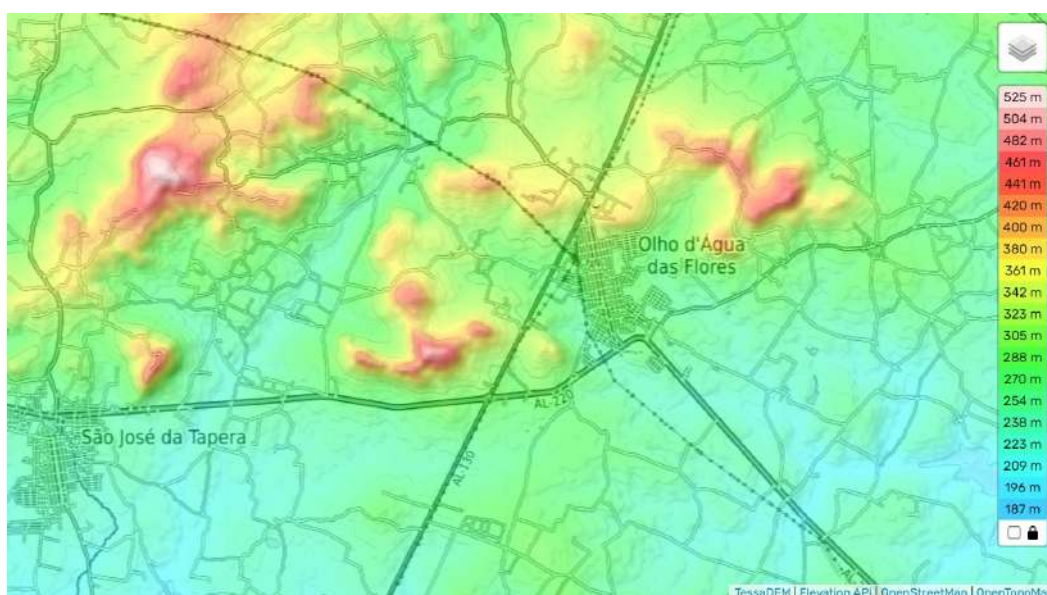
#### 4.5 Traçado da adutora

A depender de sua dimensão, a adução é uma das unidades de um sistema de abastecimento de água que pode representar um custo substancial na sua implantação. Os fatores predominantes que exercem influência nos custos associados a uma adutora compreendem: a tubulação, em função do seu diâmetro e material adotado; a escavação necessária para a sua instalação, primordialmente dependente da natureza do solo presente no local; e o comprimento das tubulações, essencialmente relacionado com o traçado definido para a adutora. Além disso, qualquer interrupção que esta venha a sofrer causará impactos adversos no fornecimento de água à comunidade (AMARAL; CIRILO; NETO, 2020).

A definição do traçado da adutora deve ocorrer em função das seguintes condicionantes: características do terreno; situação topográfica e urbanística da área de projeto; faixas de servidão ou desapropriação; e localização e perfil da adutora.

A Figura 22 apresenta o mapa topográfico da região próxima a Olho d'Água das Flores retirado da base de dados de elevação do TessaDEM, onde é possível observar um aumento gradual da elevação de acordo com a proximidade com a estação de tratamento de água.

Figura 22 - Mapa topográfico no município de Olho d'Água das Flores e adjacências

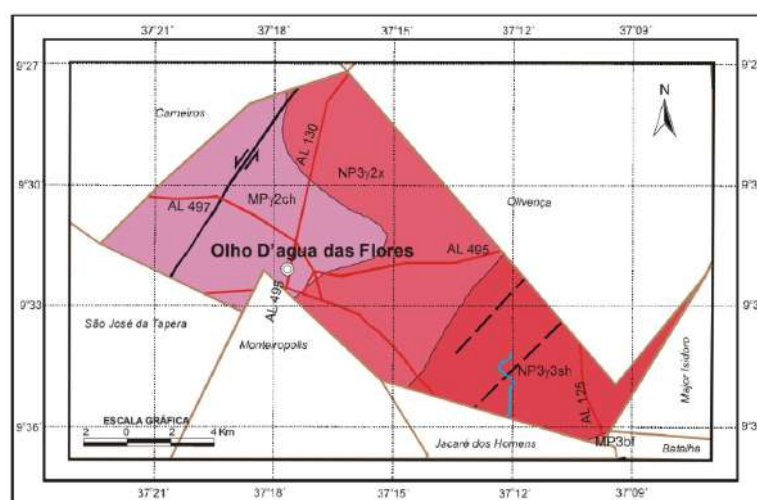


Fonte: TessaDEM (2023)

Em 2005, foi realizado pelo Ministério de Minas e Energia o Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, onde foi levantado o diagnóstico de

características físicas e demais dados dos municípios de Alagoas. No Diagnóstico do Município de Olho d'Água das Flores, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) apresentou os seguintes resultados geológicos: O município encontra-se geologicamente inserido na Província Borborema, abrangendo rochas do embasamento gnáissico-migmatítico, datadas do Arqueano ao Paleoproterozóico e a sequência metamórfica oriunda de eventos tectônicos. Na zona urbana, apresenta principalmente Suíte Chorochó (Figura 23).

Figura 23 - Mapa geológico do município de Olho d'Água das Flores



#### CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

##### UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

###### Neoproterozóico

- NP3y3sh** Suíte shos/hornítica Saiguelo/Terra Nova (sh): biotita-hornblenda-quartzo monzonítico e granito
- NP3y2x** Suíte peraluminosa Xingó: leucogranilo e granocitio, feição migmatítica local

###### Mesoproterozóico

- MP3ch** Suíte Chorochó (ych): augengnaíse quartzo monzoniorítico a granítico
- MP3bf** Complexo Belém do São Francisco: leuco-ortognaíse tonalítico-granodiorítico migmatizado, enclaves de supracrustais (1070 Ma Rb-Sr)

##### UNIDADES ESTRUTURAIS

- Contato geológico
- ≡ Falha ou Zona de Cisalhamento Transcorrente Sinistral
- - - Lineamentos estruturais (Traços de Superfícies)

##### CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

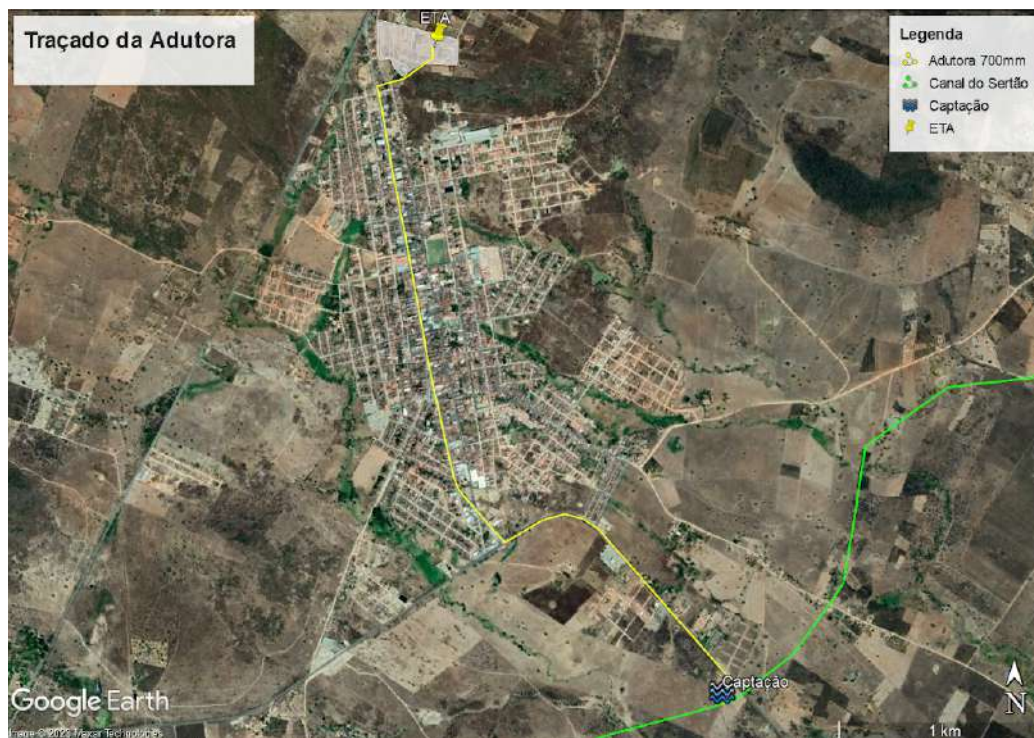
- ⊙ Sede Municipal
- Rodovias
- Limites Intermunicipais
- Rios e riachos
- Açude/barragem

Fonte: CPRM (2005)

É imprescindível que a adutora conecte eficientemente a fonte de água à estação de tratamento, minimizando perdas e garantindo um suprimento estável de água. Para tal, foram consideradas as características topográficas e geológicas da região e o traçado dos trechos do Canal do Sertão que serão construídos para evitar traçados mais longos, que podem exigir bombeamento adicional e aumentar os custos operacionais, bem como foram analisados os possíveis impactos ambientais. Ainda, o trabalho deu preferência à passagem por ruas e terrenos públicos a fim de evitar o acesso a propriedades privadas, o que comumente dificulta

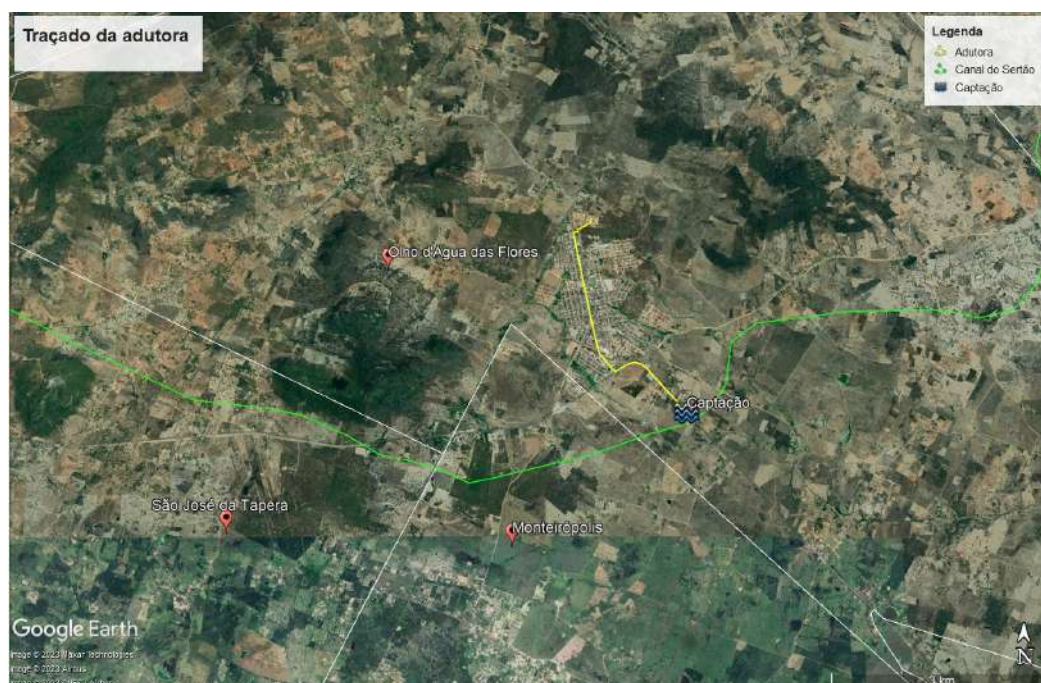
a fiscalização na área, aumentando e facilitando o furto da água transportada. Por fim, foi traçado o caminho da adutora (Figuras 24 e 25).

Figura 24 - Traçado da adutora de água bruta



Fonte: Autora via Google Earth (2023)

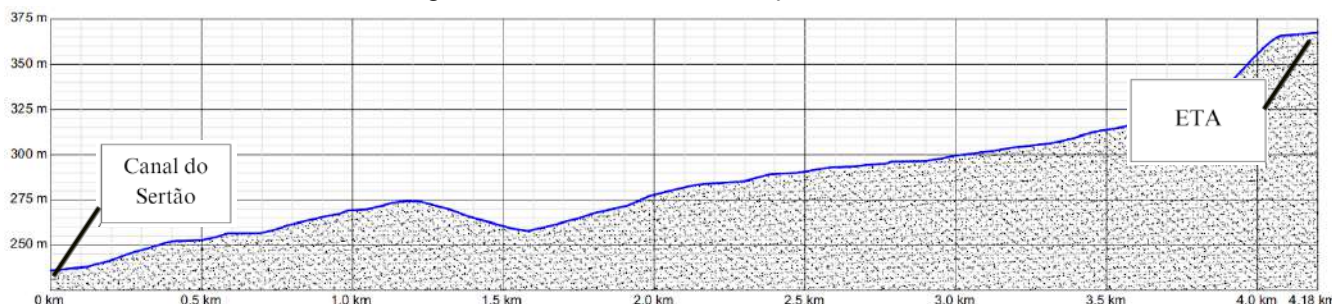
Figura 25 - Localização da adutora em relação aos municípios de Olho d'Água das Flores, São José da Tapera e Monteirópolis



Fonte: Autora via Google Earth (2023)

Para o caminhamento traçado, tem-se o perfil do terreno apresentado na Figura 26. Destaca-se que a ETA tem cota do terreno de 373 metros, porém o nível de chegada da água é de 389 metros.

Figura 26 - Perfil do terreno no traçado da adutora



Fonte: Autora (2023)

Com isso, o sistema adutor de água bruta para alimentação da estação de tratamento de água com vazão de 830 L/s terá início na captação no Canal do Sertão, nas coordenadas UTM 688573.00 m E e 8943941.00 m S e na cota de 236 m, através de uma estação elevatória de água localizada às margens do Canal. A adutora por recalque seguirá pela Rodovia AL-220 e pela Avenida Rui Barbosa até a chegada na ETA, nas coordenadas UTM 687251.00 m E e 8946994.00 m S e na cota de chegada de 389 m, totalizando uma extensão de 4.180 m.

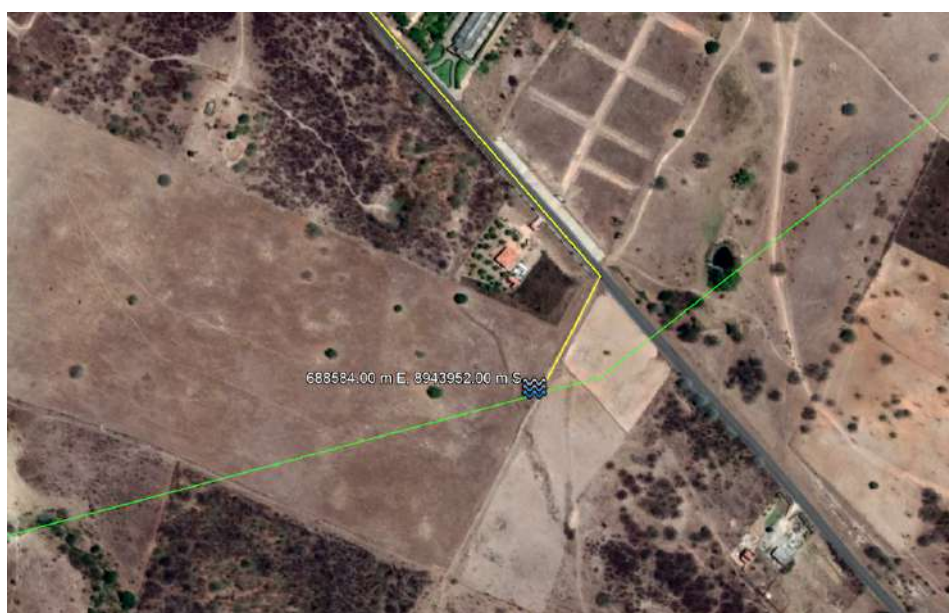
## 4.6 Dimensionamento do sistema

### 4.6.1 Captação de água (EEAB)

O Canal Adutor do Sertão Alagoano foi dimensionado preliminarmente de forma tradicional, ou seja, foi considerado o somatório das demandas ao longo de sua extensão. As vazões previstas visam atender as áreas de irrigação, agropecuária de sequeiro, abastecimento de água urbano e rural e piscicultura. O *Estudo de Viabilidade do Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Projeto Sertão Alagoano* determinou, no estudo de demandas, três Sistemas Integrados de Abastecimento de Água: Sistema Coletivo da Zona do Sertão, Sistema Coletivo da Zona de Transição, onde encontra-se a Bacia Leiteira, e Sistema Coletivo da Zona do Agreste.

Para uso humano urbano e rural na região da Bacia Leiteira, o Estudo determinou uma oferta de 844 L/s, atendendo à demanda do projeto. Assim, o sistema adutor proposto captará a água bruta do Canal do Sertão, aproximadamente no km 147, que seguirá por recalque até o ponto de chegada na ETA em construção. A Figura 27 ilustra a localização do ponto de captação no canal do sertão.

Figura 27 - Localização do ponto de captação no Canal do Sertão

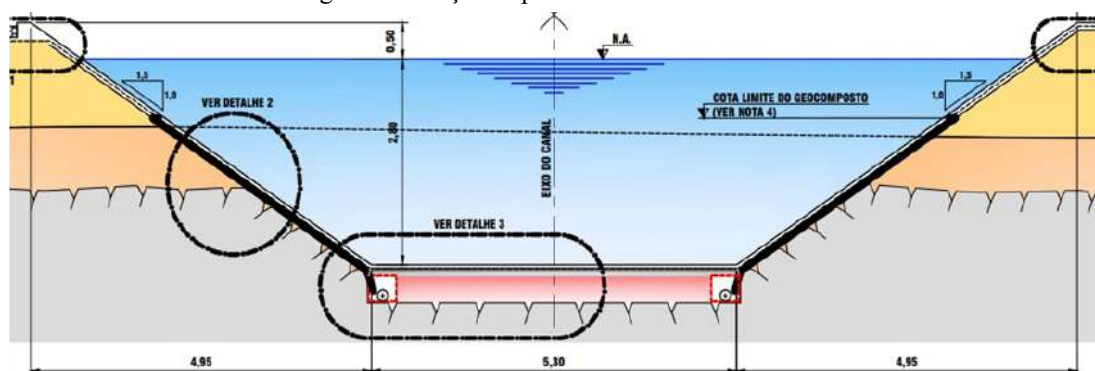


— Canal do Sertão — Adutora

Fonte: Autora via Google Earth (2023)

Ressalta-se que o traçado do Canal do Sertão Alagoano utilizado para determinação do ponto de tomada d'água e do caminho de adução foi o mesmo definido em projeto há alguns anos, onde o trecho 5 passaria pelo município de Olho d'Água das Flores, podendo ocorrer mudanças significativas na urbanização da região e, conseqüentemente, em seu traçado. Para essa situação a proposta, a captação de água será feita na própria calha do canal através da instalação de um conjunto de 2 motobombas centrífugas anfíbias, funcionando em paralelo, com uma bomba reserva em uso alternado, e uma edificação construída ao lado para abrigo dos quadros de comando e subestação elétrica. Para o projeto, foi considerada a seção típica trapezoidal do canal, com base maior de 15,2 m, base menor de 5,3 m e altura da lâmina líquida de 2,8 m, conforme Figura 28.

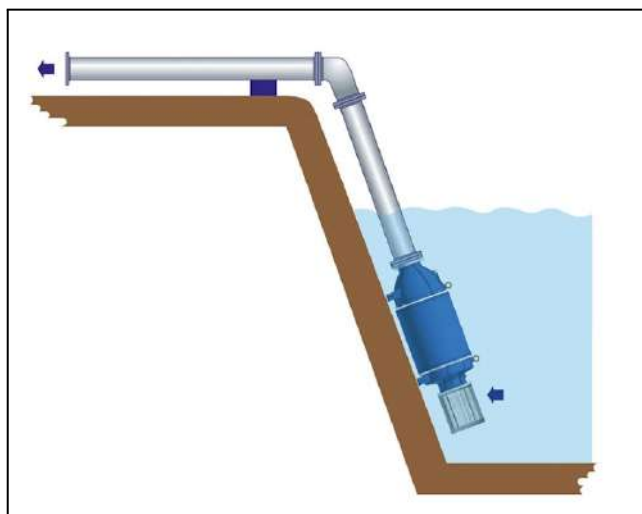
Figura 28 - Seção trapezoidal do Canal do Sertão



Fonte: SEINFRA (2013)

A Figura 29 ilustra como ocorre a instalação da bomba anfíbia no canal do sertão.

Figura 29 - Instalação de bomba anfíbia submersa em corte



Fonte: HIGRA (2023)

Cota do terreno na captação .....	236 m
Cota $N_{A,min}$ .....	233 m
Cota de chegada na ETA .....	389 m
Vazão total .....	830 L/s = 2.988 m <sup>3</sup> /h

Obtenção do diâmetro:

Para a escolha do diâmetro, foram analisados os de 600, 700 e 800 mm (Tabela 13).

Tabela 13 - Perda de carga, velocidade e características de bombeamento em função do diâmetro

Diâmetro (mm)	Perda de carga unitária (m/m)	Velocidade (m/s)	Altura manométrica (m)
600	0,01114	2,936	205
700	0,00526	2,157	179
800	0,00274	1,651	168

Fonte: Autora (2023)

Portanto, considerando os custos da aquisição de tubulações e equipamentos, características para o bombeamento e o valor máximo para perda de carga unitária, de acordo com recomendações bibliográficas, a exemplo de Porto (2006), de 0,01 m/m, foi escolhido o diâmetro nominal de 700 mm, que conduz ao menor custo global.

Utilizando a fórmula de Bresser para comparação, tem-se:

$$k = D / \sqrt{Q}$$

$$k = 0,7 / \sqrt{0,83} = 0,768$$

$$D = k * \sqrt{Q}$$

$$D = 1,15 * \sqrt{0,83} = 1,05 \text{ m}$$

É possível observar que o valor de k encontrado é relativamente baixo, porém quando é empregado um coeficiente médio de 1,15, o diâmetro encontrado é demasiadamente majorado, sendo economicamente inviável e comprovando não ser possível encontrar um valor apropriado ao coeficiente. Com isso, para o dimensionamento do trabalho, foi mantido o diâmetro calculado de 700 mm.

Características da adutora de água bruta:

Comprimento de recalque .....	4.180 m
Diâmetro nominal .....	700 mm
Material .....	Ferro fundido
Rugosidade (Hazen-Williams) .....	130

Altura geométrica:

$$H_g = C_f - C_i$$

$$H_g = 389 - 233 = 156 \text{ m}$$

Perda de carga na linha de adução:

$$J = \frac{10,643 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot D^{4,87}}$$

$$J = (10,643 * 0,83^{1,85}) / (130^{1,85} * 0,7^{4,87})$$

$$J = 0,00526 \text{ m/m}$$

$$H_f = 4.180 * 0,00526$$

$$H_f = 21,984 \text{ m}$$

Perda de carga localizada:



Tabela 14 - Peças e comprimentos equivalentes na captação (EEAB)

Qtd.	Peça	Comp. equivalente (m)
1	Ampliação gradual DN700	12*0,7 = 8,4
2	Curva 45° DN750	2*15*0,7 = 21
1	Válvula de retenção DN700	100*0,7 = 70
1	Registro de gaveta DN700	8*0,7 = 5,6
1	Curva 90° DN700	30*0,7 = 21
1	Tê de passagem lateral DN700	50*0,7 = 35
<b>Total</b>		<b>161</b>

$$H_f = 161 * 0,00526$$

$$H_f = 0,847 \text{ m}$$

Altura manométrica:

$$H_m = H_g + \Delta H$$

$$H_m = 156 + 0,847 + 21,984$$

$$H_m = 178,83 \text{ m} \rightarrow H_m = 179 \text{ mca}$$

Cálculo da potência:

$$P = \frac{w \times Q \times H_{man}}{75 \times \eta}$$

$$P = (1000 * 0,415 * 179) / (75 * 0,8) = 1.238,08 \text{ cv}$$

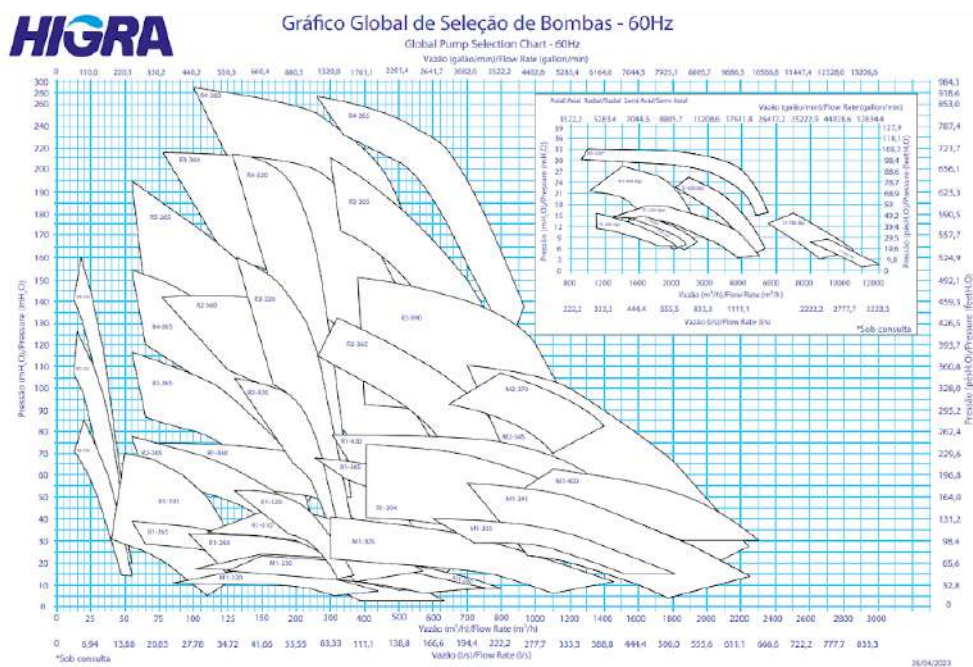
$$P_{\text{útil}} = 1.238,08 * 1,1$$

$$P_{\text{útil}} = 1.361,89 \text{ cv} \rightarrow P_{\text{comercial}} = 1400 \text{ cv}$$

Características para seleção do conjunto motor-bomba:

Vazão por bomba .....	415 L/s (1.494 m³/h)
Altura manométrica .....	179 mca
Número de bombas em funcionamento .....	2
Número de bombas reservas .....	1
Tipo de bomba .....	Anfíbia

Figura 30 - Gráfico de seleção de bombas anfíbias HIGRA



Fonte: HIGRA (2023)

Para a proposta, pode ser adotada a bomba anfíbia R3-365 da HIGRA ou optar pela bomba feita sob encomenda, devendo ser avaliado o melhor custo benefício.

Cálculo do funcionamento das bombas ao longo da vida útil do sistema:

$$Q_{2028} = 730 \text{ L/s} \rightarrow V = 63.072 \text{ m}^3$$

$$T = 63.072 / 1.494 = 42,22 \text{ horas}$$

Opção 1: 2 bombas com funcionamento paralelo de 21 horas por dia

Opção 2: 1 bomba com funcionamento de 24 horas por dia e 2 bombas intercaladas funcionando 9 horas por dia cada uma.

$$Q_{2038} = 780 \text{ L/s} \rightarrow V = 67.392 \text{ m}^3$$

$$T = 67.392 / 1.494 = 45,11 \text{ horas}$$

Opção 1: 2 bombas com funcionamento paralelo de 22,5 horas por dia

Opção 2: 1 bomba com funcionamento de 24 horas por dia e 2 bombas intercaladas funcionando 10,5 horas por dia cada uma.

Para a vazão do horizonte de projeto de 830 L/s, sugere-se o funcionamento paralelo de 2 bombas 24 horas por dia ou 1 bomba com funcionamento de 24 horas por dia e 2 bombas intercaladas funcionando 12 horas por dia cada uma.

#### 4.6.2 Adutora de água bruta (AAB)

A adutora de água bruta para alimentação da estação de tratamento de água da Bacia Leiteira parte da estaca 0, no Canal do Sertão, na cota de 233 m, e segue até o ponto de chegada na ETA, localizado na estaca 209, com cota de 289 m, totalizando uma extensão de 4.180 em ferro fundido.

Características finais da AAB:

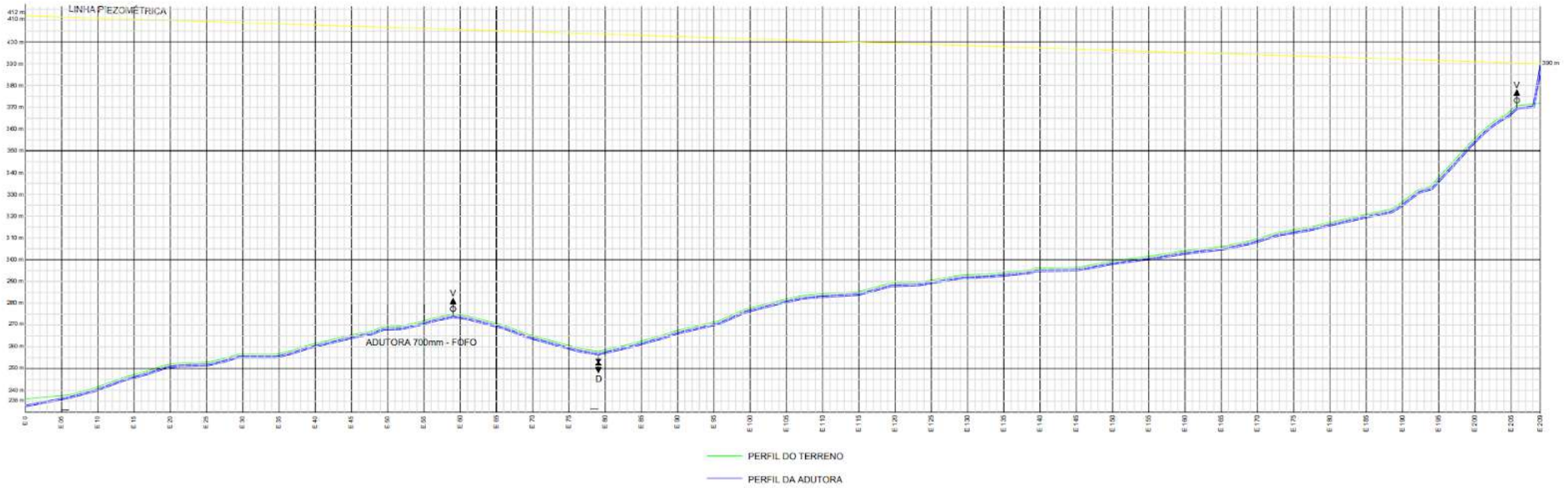
Vazão .....	830 L/s
Cota inicial .....	233 m
Estaca inicial .....	0
Cota final .....	389
Estaca final .....	209
Comprimento total .....	4.180 m
Diâmetro .....	700 mm
Material .....	Ferro fundido dúctil
Perda de carga unitária média .....	0,00526 m/m
Perda de carga total .....	21,984 m
Altura manométrica .....	179 m

Tabela 15 - Planilha de dimensionamento da Adutora de Água Bruta

Trecho	Estaca		L (m)	Vazão (m³/s)	D (m)	V (m/s)	J (m/m)	H (m)	Cota do terreno (m)		Cota piezométrica (m)		Pressão (mca)		
	Inicial	Final							Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante	
1	0	9	180	0,830	0,7	2,157	0,00526	0,947	233	241	412	411,05	179	170,05	
2	9	19	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	241	251	411,05	410,00	170,05	159,00	
3	19	29	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	251	257	410,00	408,95	159,00	151,95	
4	29	39	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	257	262	408,95	407,90	151,95	145,90	
5	39	49	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	262	269	407,90	406,85	145,90	137,85	
6	49	59	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	269	275	406,85	405,79	137,85	130,79	
7	59	69	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	275	266	405,79	404,74	130,79	138,74	
8	69	79	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	266	258	404,74	403,69	138,74	145,69	
9	79	89	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	258	266	403,69	402,64	145,69	136,64	
10	89	99	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	266	277	402,64	401,59	136,64	124,59	
11	99	109	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	277	284	401,59	400,53	124,59	116,53	
12	109	119	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	284	289	400,53	399,48	116,53	110,48	
13	119	129	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	289	293	399,48	398,43	110,48	105,43	
14	129	139	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	293	296	398,43	397,38	105,43	101,38	
15	139	149	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	296	299	397,38	396,33	101,38	97,33	
16	149	159	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	299	304	396,33	395,28	97,33	91,28	
17	159	169	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	304	309	395,28	394,22	91,28	85,22	
18	169	179	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	309	317	394,22	393,17	85,22	76,17	
19	179	189	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	317	325	393,17	392,12	76,17	67,12	
20	189	199	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	325	353	392,12	391,07	67,12	38,07	
21	199	209	200	0,830	0,7	2,157	0,00526	1,052	353	389	391,07	390,02	38,07	1,02	
		<b>Total 4.180</b>												<b>Total 21,984</b>	

Fonte: Autora (2023)

Figura 31 - Perfil da Adutora de Água Bruta e linha piezométrica



Fonte: Autora (2023)

### 4.6.3 Cálculo dos transientes hidráulicos

Para os tubos de ferro fundido a serem utilizados na adução do projeto, foram utilizados como base os tubos de ferro fundido dúctil classe K9 da Saint-Gobain, considerando um diâmetro de 700 mm com espessura de 10,8 mm e  $k=1$ .

$$C = 9.900 / \sqrt{(48,3 + ((0,7 * 1) / 0,0108))}$$

$$C = 930,84 \text{ m/s}$$

Cálculo da amplitude da onda:

$$\Delta h = (C * v) / g$$

$$\Delta h = (930,84 * 2,157) / 9,81$$

$$\Delta h = 204,67 \text{ mca}$$

Cálculo da sobrepressão máxima

$$SP_{\max} = H_g + \Delta h$$

$$SP_{\max} = 156 + 204,67$$

$$SP_{\max} = 360,67 \text{ mca}$$

Essa sobrepressão de 360,67 mca é absorvível pela tubulação K9 JGS DN 700, cuja pressão máxima de serviço, com inclusão do golpe de aríete, é de 4,1 MPa (417,8 mca) (SAINT-GOBAIN, 2021).

Cálculo da subpressão mínima:

$$SbP_{\min} = H_g - \Delta h$$

$$SbP_{\min} = 156 - 204,67$$

$$SbP_{\min} = -48,67 \text{ mca}$$

A subpressão negativa indica uma redução na pressão do sistema abaixo da pressão de vapor do líquido transportado, que leva à formação de vácuo na tubulação e pode ocasionar o colapso por cavitação. Para controle da subpressão, recomenda-se o uso de conjuntos de ventosas de trílice função.

#### 4.6.4 Dimensionamento dos blocos de ancoragem

Nas tubulações sob pressão, em qualquer material com junta elástica, é necessário que as conexões sejam ancoradas por meio de um bloco de concreto simples ou armado, para se evitar que se desloquem sob a ação do empuxo, sendo de extrema importância na garantia de que a tubulação trabalhe perfeitamente por um longo tempo.

A linha piezométrica de uma canalização é uma linha virtual que une os pontos representativos das pressões das cotas piezométricas de montante e jusante. As Tabelas 13 e 14 mostram as características das linhas piezométricas em funcionamento normal, por recalque, e para a situação mais crítica, considerando o golpe de aríete.

Tabela 16 - Linha piezométrica em funcionamento normal

Cota piezométrica de montante (m)	412,00
Perda de carga total (m)	21,984
Cota piezométrica de jusante (m)	390,02
Gradiente	0,00526

Tabela 17 - Linha piezométrica com golpe de aríete

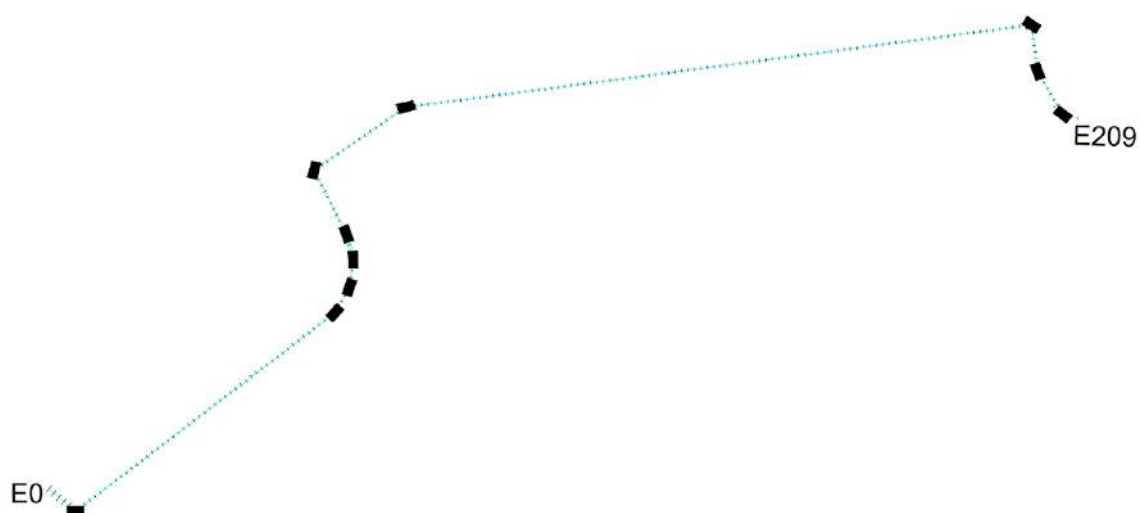
Cota geométrica (m)	233,00
Amplitude da onda do golpe (m)	204,67
Cota piezométrica com onda de golpe (m)	437,67
Cota piezométrica de jusante (m)	389,61
Gradiente	0,0115

A partir da localização e tipo das singularidades na adutora, do diâmetro e das pressões, foram calculadas as forças de empuxo resultante, apresentadas na Tabela 17.

Tabela 18 - Cálculo das forças de empuxo nas singularidades

Bloco	Estaca	P (mca)	$\alpha$ (graus)	K	D (m)	F (kg)
1	5+6,16	173,58	90°	1,414	0,7	94457,20
2	55	134,28	22° 30'	0,390	0,7	20154,03
3	59+10,00	130,93	22° 30'	0,390	0,7	19651,23
4	63+15,8	133,47	22° 30'	0,390	0,7	20032,46
5	67+14,5	137,12	11° 15'	0,196	0,7	10342,91
6	78+11,00	145,67	90°	1,414	0,7	79269,39
7	95+12,00	129,98	22° 30'	0,390	0,7	19508,64
8	191+17,7	60,44	90°	1,414	0,7	32889,69
9	199	38,64	22° 30'	0,390	0,7	5799,46
10	206+12,7	19,26	22° 30'	0,390	0,7	2890,73

Figura 32 - Localização dos blocos de ancoragem no traçado da adutora



Fonte: Autora (2023)

Foi admitido que os blocos serão em paralelepípedo, com volume de H (altura) \* L (largura) \* C (comprimento). Para o cálculo do comprimento dos blocos, foi considerada a tensão admissível de 1,5 kg/cm<sup>2</sup>, para solos regulares e médios e a altura de 100 cm. Através da fórmula  $C = (F / \sigma_{\text{solo}}) / L$ , foram obtidas as dimensões dos blocos (Tabela 18).

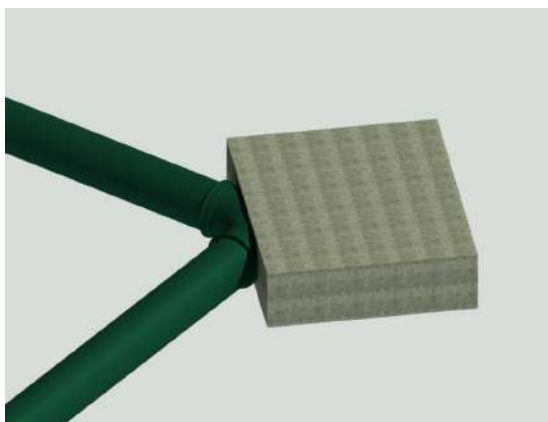
Tabela 19 - Dimensões dos blocos de ancoragem

Bloco	Estaca	F (kg)	H (cm)	L (cm)	C <sub>calculado</sub> (cm)	C <sub>adotado</sub> (cm)	Cortante (kg/cm <sup>2</sup> )
1	5+6,16	94457,20	90	300	314,86	350	3,00
2	55	20154,03	90	150	134,36	150	1,49
3	59+10,00	19651,23	90	150	131,01	150	1,46
4	63+15,8	20032,46	90	150	133,55	150	1,48
5	67+14,5	10342,91	90	150	68,95	150	0,77
6	78+11,00	79269,39	90	300	264,23	300	2,94
7	95+12,00	19508,64	90	150	130,06	150	1,45
8	191+17,7	32889,69	90	200	164,45	200	1,83
9	199	5799,46	90	100	57,99	100	0,64
10	206+12,7	2890,73	90	100	28,91	100	0,32

Fonte: Autora (2023)



Figura 33 - Bloco 1 (300x350cm)



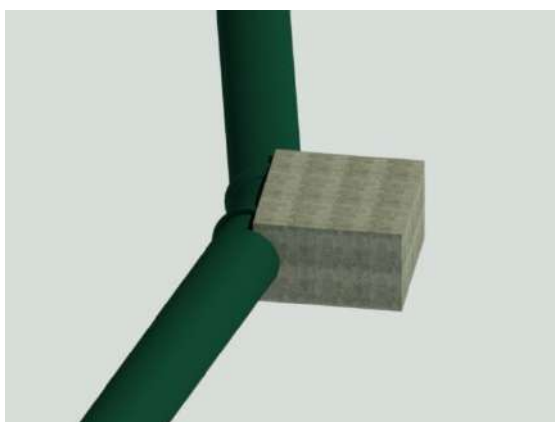
Fonte: Autora (2023)

Figura 34 - Bloco 2 (150x150cm)



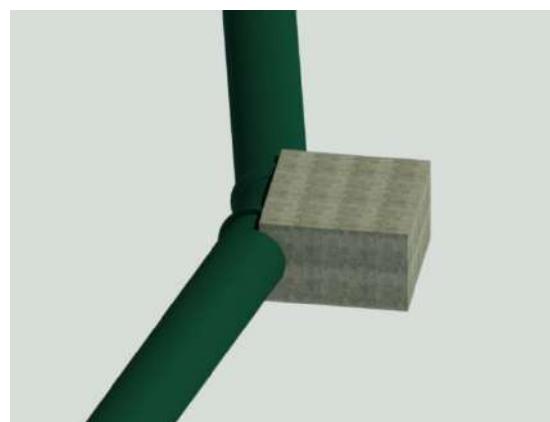
Fonte: Autora (2023)

Figura 35 - Bloco 3 (150x150cm)



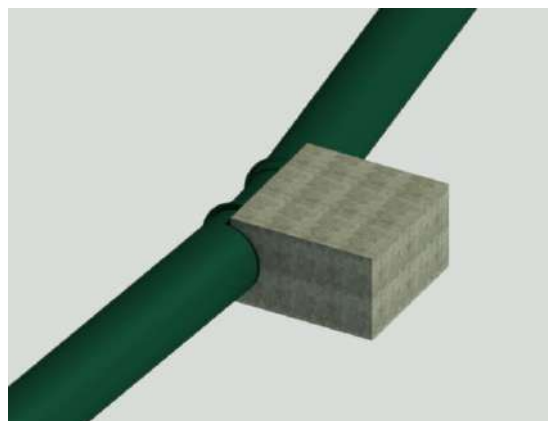
Fonte: Autora (2023)

Figura 36 - Bloco 4 (150x150cm)



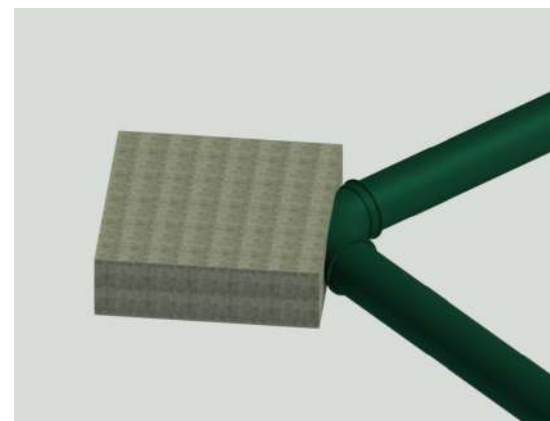
Fonte: Autora (2023)

Figura 37 - Bloco 5 (150x150cm)



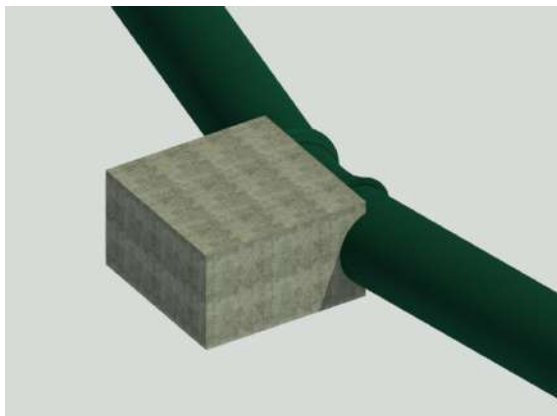
Fonte: Autora (2023)

Figura 38 - Bloco 6 (300x300cm)



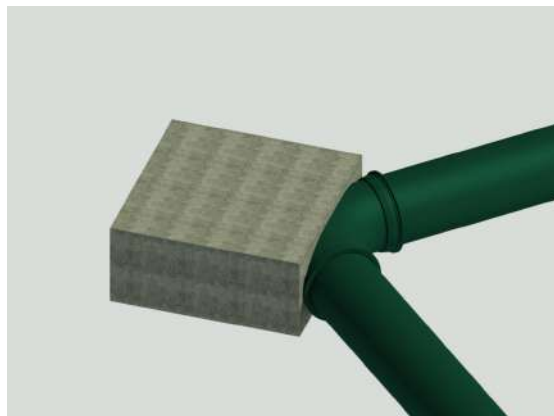
Fonte: Autora (2023)

Figura 39 - Bloco 7 (150x150cm)



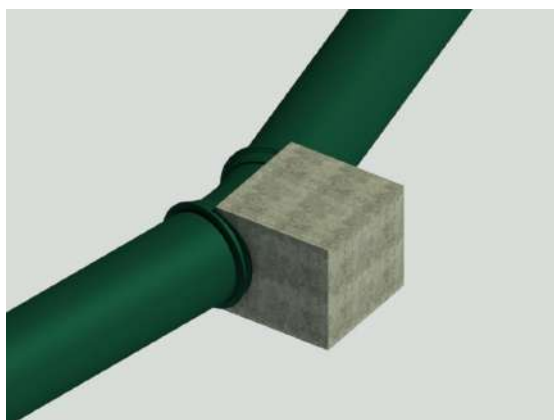
Fonte: Autora (2023)

Figura 40 - Bloco 8 (200x200cm)



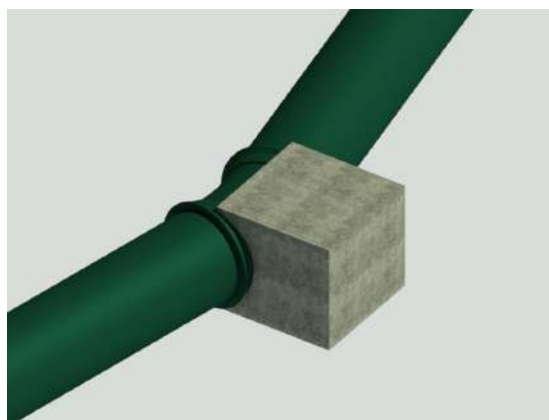
Fonte: Autora (2023)

Figura 41 - Bloco 7 (100x100cm)



Fonte: Autora (2023)

Figura 42 - Bloco 8 (100x100cm)



Fonte: Autora (2023)

Tabela 20 - Volume dos blocos de ancoragem

Bloco	Volume final (m <sup>3</sup> )
1	6,756
2	0,870
3	0,870
4	0,870
5	0,870
6	5,791
7	0,870
8	2,061
9	0,130
10	0,130

#### 4.7 Modelagem hidráulica básica

A modelagem hidráulica do sistema proposto limitou-se à verificação do que foi calculado previamente na etapa de dimensionamento, tais como velocidades, pressões e perda de carga, a fim de garantir que o sistema atenda às demandas de projeto. Para tal, foi utilizado o software EPANET, seguindo as seguintes etapas:

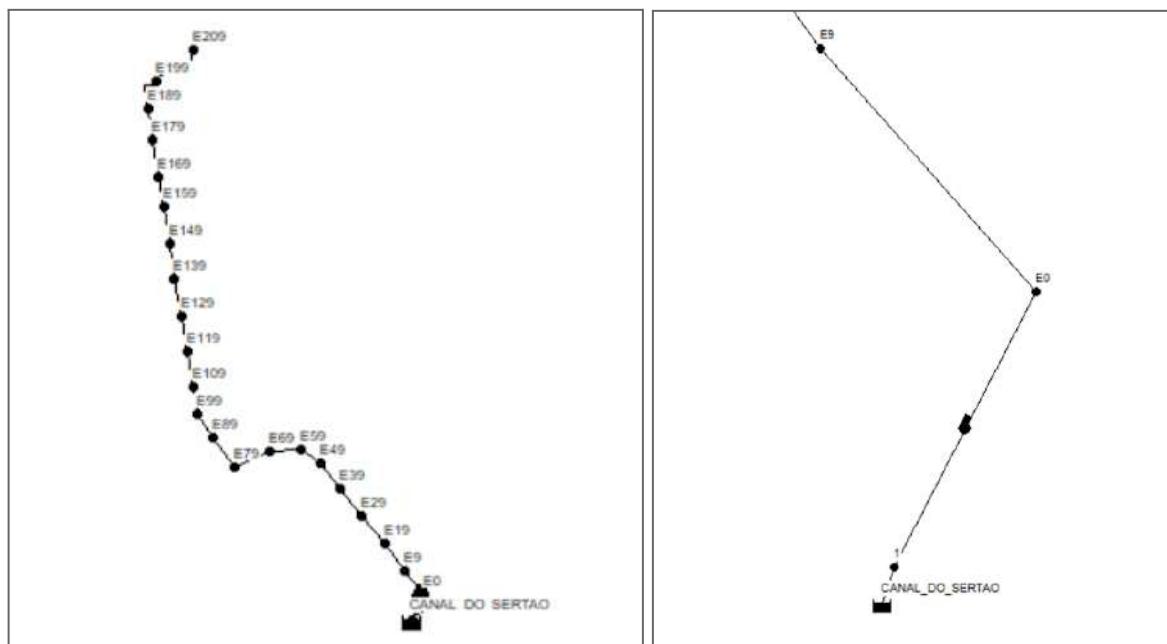
1. Desenho da rede: Foi utilizada uma imagem de fundo representativa para o desenho no simulador e então inseridas as estruturas principais, tais como reservatório de nível fixo, bombas, nós e tubulações.
2. Introdução dos parâmetros hidráulicos: das tubulações (comprimento, diâmetro e rugosidade); dos nós (cota e consumo-base); do reservatório (nível de água); e das bombas (curva).
3. Curva das bombas: Para a estação elevatória de água bruta foi aplicada a curva característica das bombas (vazão x altura manométrica).
4. Execução das simulações: Por fim, foram gerados os resultados, como planilhas e gráficos.

Considerações de modelagem:

- Para as tubulações foi considerado o diâmetro de 700 mm e o coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams de 130 para tubos novos de ferro fundido dúctil;
- Considerando que a adutora será expressa, ou seja, não haverá interligações ao longo de sua extensão, foi utilizado o consumo-base como sendo zero nos nós;
- O Canal do Sertão foi considerado como um Reservatório de Nível Fixo, tendo em vista que esse é considerado como um reservatório de grande capacidade que a demanda por água não provoca diminuição considerável em seu nível, como também pode ser entendido como um manancial, superficial ou subterrâneo;
- Período de funcionamento de 24 horas;
- A curva da bomba foi obtida através da inserção de um único par de valores, relativo à altura manométrica (179 mca) e à vazão total de projeto (830 L/s);
- Não foi empregada a curva de eficiência da bomba, uma vez que esta é apenas utilizada para cálculos energéticos e que a não utilização dessa curva não afeta o comportamento da simulação hidráulica.

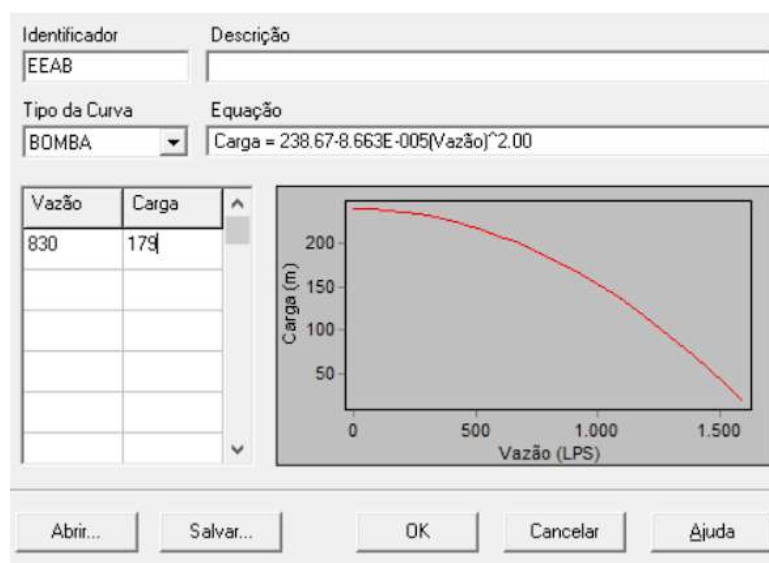
A representação gráfica da captação e da adutora no *software*, onde os nós foram nomeados de acordo com as estacas, é apresentada na Figura 32.

Figura 43 - Representação gráfica do sistema adutor no EPANET



Com a introdução dos valores da altura manométrica e da vazão, foi encontrada a curva da bomba representada pela equação  $H_m = 238,67 - 8,663 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2$  (Figura 33).

Figura 44 - Curva da bomba gerada a partir de um ponto



A simulação executada resultou nos dados de carga hidráulica e pressão nos nós da adutora (Figura 34) e nos valores de velocidade e perda de carga nos seus trechos (Figura 35).

Tabela 21 - Relatório nos nós

Identificador do Nó	Consumo LPS	Carga Hidráulica m	Pressão m	Identificador do Nó	Consumo LPS	Carga Hidráulica m	Pressão m
Nó E0	0.00	411.99	178.99	Nó E109	0.00	400.61	116.61
Nó E9	0.00	411.05	170.05	Nó E119	0.00	399.57	110.57
Nó E19	0.00	410.01	159.01	Nó E129	0.00	398.52	105.52
Nó E29	0.00	408.96	151.96	Nó E139	0.00	397.48	101.48
Nó E39	0.00	407.92	145.92	Nó E149	0.00	396.43	97.43
Nó E49	0.00	406.87	137.87	Nó E159	0.00	395.39	91.39
Nó E59	0.00	405.83	130.83	Nó E169	0.00	394.35	85.35
Nó E69	0.00	404.79	138.79	Nó E179	0.00	393.30	76.30
Nó E79	0.00	403.74	145.74	Nó E189	0.00	392.26	67.26
Nó E89	0.00	402.70	136.70	Nó E199	0.00	391.21	38.21
Nó E99	0.00	401.65	124.65	Nó E209	830.00	390.17	1.17

Fonte: EPANET (2023)

Tabela 22 - Relatório nos trechos da adutora

Identificador do Trecho	Comprimento m	Diâmetro mm	Rugosidade	Vazão LPS	Velocidade m/s	Perda de Carga m/km	Fator de Atrito
Tubulação TRECHO-1	180	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-2	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-3	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-4	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-5	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-6	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-8	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-9	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-10	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-11	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-12	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-13	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-14	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-15	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-16	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-17	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-18	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-19	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-20	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015
Tubulação TRECHO-21	200	700	130	830.00	2.16	5.22	0.015

Fonte: EPANET (2023)

Os resultados encontrados na simulação puderam comprovar o dimensionamento realizado através de planilha, apresentando valores muito próximos.

Tabela 23 - Comparativo dos dados encontrados em dimensionamento e no EPANET

Planilha de dimensionamento				EPANET			
Cota piezométrica (m)		Perda de carga (m/m)	Velocidade (m/s)	Cota piezométrica (m)		Perda de carga (m/m)	Velocidade (m/s)
Montante	Jusante			Montante	Jusante		
412	1,02	0,00526	2,16	411,99	1,17	0,00522	2,16

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como foco central a elaboração de uma proposta de adutora de água bruta destinada a suprir a demanda da estação de tratamento do sistema coletivo da Bacia Leiteira, tendo como ponto de captação o Canal do Sertão Alagoano. Ao longo das etapas de pesquisa e análise, foram explorados diversos aspectos que abrangem desde a fundamentação teórica até as perspectivas de dimensionamento desse projeto, que revela-se de extrema relevância para a região em questão.

Fundamentado nas pesquisas e revisões bibliográficas realizadas, foi evidenciada a atual situação de abastecimento de água nos municípios da Bacia Leiteira, que há anos enfrenta desafios críticos, como a carência de qualidade da água disponível e intermitência do seu fornecimento. O levantamento de dados a respeito das estruturas dos sistemas existente e futuro e do Canal do Sertão permitiu colher informações fundamentais ao andamento do trabalho, tais quais a vazão de dimensionamento da ETA, as demandas e trechos futuros do Canal e demais dados técnicos apresentados nos resultados do levantamento compilado.

Com base nas tendências de avaliação do crescimento populacional e nos padrões de consumo de água na região para um horizonte de projeto de 20 anos, foi encontrada uma população de 343.531 habitantes e uma vazão de 830 L/s, sendo esta superior à vazão de projeto da estação de tratamento de água, quando há a consideração das perdas ao longo de todo sistema. Com isso, haverá necessidade de uma futura ampliação da ETA, bem como a vazão de recalque poderá ser controlada através da regulação do horário de funcionamento das bombas e do controle da entrada da água na ETA no decorrer dos anos, a fim de assegurar a eficiência no abastecimento de água. Assim, para o dimensionamento do sistema, foi utilizada uma vazão de 830 L/s, equivalentes a vazão de projeto acrescidos 38% de perdas.

Na etapa de definição e dimensionamento do sistema adutor, para a captação foi calculada uma altura manométrica de 179 metros e uma vazão total de bombeamento de 2.988 m<sup>3</sup>/h. Considerando a extensão de 4.180 metros de adução com DN 700 em ferro fundido, foi encontrada uma perda de carga total de 21,98 metros e uma velocidade de 2,16 m/s na linha de adução. A adoção das bombas anfíbias otimiza o serviço de bombeamento e, no que diz respeito ao traçado, foram priorizadas as menores distâncias e a utilização de terrenos e vias públicas com o fito de evitar empecilhos em uma possível implantação, diminuir os custos energéticos e minimizar ou extinguir os desvios de água na adutora decorrentes da passagem por propriedades privadas, sendo mais vantajoso quando comparado ao sistema existente.

Atualmente, a modelagem hidráulica desempenha um papel fundamental nos projetos de abastecimento de água, possibilitando a melhoria contínua e minimizando os erros no processo de dimensionamento de adutoras e redes. Para o trabalho, o uso do EPANET exerceu o papel de verificação dos parâmetros calculados no dimensionamento, como pressões e perdas de carga ao longo da linha adutora. Com base nos resultados obtidos no *software*, é possível concluir que a modelagem hidráulica foi bem-sucedida, exibindo valores bem próximos aos encontrados no dimensionamento.

Embora viável, é importante reconhecer que a concretização da proposta elaborada não estará isenta de desafios. A alocação de recursos financeiros, a superação de obstáculos técnicos e a coordenação de esforços entre instituições governamentais, órgãos ambientais e a comunidade serão elementos fundamentais para a sua materialização. É imperativo também considerar a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade da água e da regularização e fiscalização do serviço para garantir a eficiência do sistema ao longo do tempo.

Em síntese, o objetivo geral do trabalho pôde ser atendido através da proposta de adutora de água bruta que representa uma resposta sólida a um problema premente. Tratando-se da escassez de água, da qualidade inadequada deste recurso e do histórico técnico do sistema existente, esta proposta não apenas oferece uma solução viável, mas também lança as bases para um futuro mais sustentável e favorável para a região. Portanto, conclui-se que este trabalho não é a finalização, mas sim o início de uma jornada em direção à conscientização e a discussão sobre a importância do investimento em infraestrutura hídrica para o benefício da população e sustentabilidade dos sistemas de abastecimento no Estado.

Por fim, perdura a sugestão a pesquisadores e projetistas futuros do aprofundamento dos estudos sobre a implementação da adutora proposta, realizando uma análise econômica detalhada a fim determinar o retorno do investimento e os custos para implantação e operação, bem como os impactos ambientais, técnicos e econômicos da proposta e a elaboração de um projeto integral.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, F. E.; CIRILO, J. A.; NETO, A. R. **Uso de técnicas de geoprocessamento na otimização do traçado de sistemas adutores de abastecimento de água com a utilização de uma base de dados de alta definição.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2020.

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de Hidráulica.** 9ª ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2018.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)> Acesso em: 01 de Maio de 2023.

BRK AMBIENTAL. **Conheça as etapas do processo de tratamento da água.** 2021. Disponível em: < <https://blog.brkambiental.com.br/etapas-tratamento-de-agua/>>. Acesso em: 09 de agosto de 2023.

CALLADO, M. B.; CALLADO, N. H. **Sistema Coletivo da Bacia Leiteira: Um Ponto de Inflexão na Concepção das Grandes Adutoras.** XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, 2018.

CARAVELA DADOS E ESTATÍSTICAS. **Panorama Econômico: Olho d'Água das Flores-AL.** 2023.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARAÍBA (CODEVASF). **São Francisco.** Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/sao-francisco>>. Acesso em: 29 de Abril de 2023.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS (CASAL). **U.N. Bacia Leiteira.** Disponível em: <<https://www.casal.al.gov.br/u-n-bacia-leiteira/>>. Acesso em: 19 de Abril de 2023.

CHAVES, V. T. **Modelagem Hidráulica de Sistemas de Abastecimento de Água.** Portal Saneamento Básico, 2023. Disponível em:



<<https://saneamentobasico.com.br/acervo-tecnico/abastecimento-de-agua-acervo-tecnico/mod-elagem-hidraulica-sistema-abastecimento/>>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPANET 2 User's Manual**. USA, 2000. Tradução: Heber Pimentel Gomes e Moisés Menezes Salvino, Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da UFPB, Paraíba, 2009.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de Orientações Técnicas para Elaboração e Apresentação de Propostas e Projetos para Sistemas de Abastecimento de Água**. 2017. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL\\_PROPOSTAS\\_SAA\\_10\\_03\\_2017.pdf/9c649bec-f5f4-4b4e-9a63-fac73f248c38](http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PROPOSTAS_SAA_10_03_2017.pdf/9c649bec-f5f4-4b4e-9a63-fac73f248c38)>. Acesso em: 01 de agosto de 2023.

GAMA, C. H. A.; SOUZA, V. C. B.; CALLADO, N. H. **Análise de metodologias para determinação do diâmetro econômico de adutoras**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 2019.

GONÇALVES, C. U.; OLIVEIRA, C. F. **Rio São Francisco: As Águas Correm para o Mercado**. B.goiano.geogr, Goiânia, v. 29, n. 2, p. 113-125, 2009.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. Instituto de Tecnologia – UFRJ, 2007. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Capit%204%20parte%202.pdf>>. Acesso em: 01 de agosto de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Olho d'Água das Flores - Alagoas: Panorama**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/olho-dagua-das-flores/panorama>>. Acesso em: 19 de Abril de 2023.

KELLNER, E. **Introdução ao EPANET: Simulação e dimensionamento de sistemas de abastecimento de água**. Comissão Permanente de Publicações Oficiais e Institucionais da UFSCar, São Carlos, 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea: Diagnóstico do município de Olho d'Água das Flores**. Recife, 2005.

NAZARÉ, A. V. B. **Modelagem e Simulação do Sistema Adutor Principal da Bacia Leiteira em Alagoas Utilizando o EPANET**. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL. Maceió-AL, 2012.

PEDROSA, V. A.; ALMEIDA, V. M. **A Gestão do Canal do Sertão de Alagoas**. I Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Juazeiro-BA, 2016.

RODRIGUES, D. F.; PEDROSA, V. A. **Canal do Sertão Alagoano: O Custo da Água**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió-AL, 2011.

SAINT-GOBAIN. **Empuxos hidráulicos e Blocos de ancoragem**. Artigos Saint-Gobain Canalização, Rio de Janeiro, 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO, GESTÃO E PATRIMÔNIO (SEPLAG). **Estudo Sobre o Canal do Sertão**. NEP/SEPLAG, Maceió, 2017.

SILVA, W. M. M.; SILVA, P. R. F. **Do Território da Seca à Territorialização do Canal do Sertão em Alagoas**. Geo UERJ, 2020, 21p.

SOUZA, S.; GUEDES, M.; ROGGEN, L. **Melhoria Energética no Sistema de Bombeamento COPASA Cataguases/MG, Brasil**. 15º Congresso da Água. Lisboa, 2021.

TESSADEM. **Mapa Topográfico de Alagoas**. Disponível em: <<https://pt-br.topographic-map.com/map-8zjgp/Alagoas/?zoom=12&center=-9.54252%2C-37.37934>>. Acesso em: 14 de setembro de 2023.

TOLENTINO JR, J. B. **Hidráulica Agrícola**. Centro de Ciências Rurais da Universidade de Santa Catarina, Santa Catarina, 2023. Disponível em: <<https://hidraulica.tolentino.pro.br/>>. Acesso em: 01 de agosto de 2023.

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

VENTURINI, M. A. A. G.; BARBOSA, P. S. F.; JÚNIOR, E. L. **Estudo de Alternativas de Reabilitação para Sistemas de Abastecimento de Água**. XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracajú, 2001.