

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CAMPUS LAGOA DO SINO

PEDRO ROBERTO ARAUJO LISBOA

**Projeto de uma estação de tratamento de água
usando Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) para o
Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema-SP
adaptado às demandas dos assentados**

BURI-SP
2025

PEDRO ROBERTO ARAUJO LISBOA

Projeto de uma estação de tratamento de água usando Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) para o Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema-SP adaptado às demandas dos assentados

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal São Carlos (UFSCar), Centro de Ciências da Natureza (CCN), campus Lagoa do Sino. Elaborado em parceria com a comunidade do assentamento e com o Centro de Extensão e Pesquisa em Água e Efluentes (CEPAE).

Orientador: Jorge L. R. Pantoja Filho

Co-orientadora: Beatriz C. Gonzalez

Buri-SP

2025

Lisboa, Pedro Roberto Araújo

Projeto de uma Estação de Tratamento de Água usando Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) para o Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema-SP adaptado às demandas dos assentados / Pedro Roberto Araújo Lisboa -- 2025.
64f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho
Banca Examinadora: Beatriz Cruz Gonzalez, Danilo Santiago Gomes Lucio
Bibliografia

1. Tratamento de água. 2. FiME. 3. Assentamento rural.
I. Lisboa, Pedro Roberto Araújo. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Folha de Aprovação


Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do candidato **Pedro Roberto Araújo Lisboa**, realizada em 28/01/2025:

Documento assinado digitalmente
 **JORGE LUIS RODRIGUES PANTOJA FILHO**
Data: 28/01/2025 18:17:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho – Orientador
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente
 **BEATRIZ CRUZ GONZALEZ**
Data: 28/01/2025 18:27:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Beatriz Cruz Gonzalez
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente
 **DANILO SANTIAGO GOMES LUCIO**
Data: 30/01/2025 15:14:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Danilo Santiago Gomes Lucio
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha amada mãe Isabel Araujo da Silva, um exemplo a ser seguido e grande fonte de inspiração e coragem. Sou muito grato por todo suporte e apoio ao longo de minha vida e tenho muito orgulho do caminho que trilhou, te amo MÃE.

Agradecimentos

Em primeiro lugar meus agradecimentos vão a minha mãe Isabel e meus irmãos Arthur e Felipe. É indescritível a intensidade do amor e vontade de ver o sucesso de vocês, mesmo ficando distante durante esse período de graduação sempre tive vocês presente em memória e sentimento. Eu amo vocês.

Um agradecimento mais do que especial pra Sueli Rosa. Suca, eu tive o privilégio de viver sob seus cuidados e carinho, eu não tenho problema nenhum em dizer que tenho duas mães, porque é essa a intensidade do amor e carinho que tenho por você. Você é minha alma gêmea, eu te amo.

Ao longo desses anos de graduação pude passar por muitos desafios e superá-los. Muitas dessas superações não seriam possíveis sem estar ao lado dessa incrível companheira que tanto amo e tenho intenção de formar família e envelhecer ao lado. Larissa Maffeis, você me motiva a ser cada dia melhor, você me inspira com toda sua garra e disposição, eu te amo.

Gostaria também de agradecer a toda comunidade Lagoa do Sino, alunos, professores, técnicos, terceirizados do campus e todos que fazem parte dessa linda história do nosso *campus*. Foi convivendo com toda essa diversidade étnico cultural que cresci como pessoa e passei a admirar e entender pontos de vista que nunca tinha percebido. Eu te amo Lagoa do Sino.

Um agradecimento especial aos professores do *campus*, a proximidade entre docente e discente na Lagoa do Sino é notável o que é extremamente gratificante e engrandecedor.

E para finalizar gostaria de agradecer de maneira generalizada a todos meus amigos, busquei citar o menor número de pessoas possível para ninguém se sentir excluído, mas preciso citar grandes amigos que formaram minha personalidade e que hoje mesmo distantes se fazem presente no meu coração: Matheus, Nicholas e Luizinho, eu amo vocês.

Epígrafes

“A história da sociedade até os nossos dias é a história da luta de classes.”

(Karl Marx)

“Por um mundo melhor eu mantenho minha fé, menos desigualdade”

(Marcelo D2)

“As oportunidades de mudança estão no presente, não espere o futuro mudar sua vida.”

(Racionais MC's)

“Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de gigantes”

(Isaac Newtons)

RESUMO

O presente trabalho é fruto da parceria entre Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), mediada pelo Centro de Extensão e Pesquisa em Água e Efluentes (CEPAE), com a gestão do Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema-SP. O assentamento não possui acesso a água potável e o modelo de tratamento de água sugerido no projeto parte da caracterização da água bruta da Represa Jurumirim e conta com adaptação às demandas levantadas pela comunidade através de assembleias. O modelo de Estação de Tratamento de Água (ETA) sugerido é por Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) usando caixas d'água como tanque e conta com as etapas de pré filtração dinâmica em pedregulho, pré filtração de fluxo vertical ascendente em pedregulho e areia e filtração lenta com areia fina, carvão ativado e duas mantas sintéticas. Como adaptação às demandas foram dimensionadas estações elevatórias de água bruta e tratada e redimensionado os tanques para construção em alvenaria.

Palavras-chave: Tratamento de água, Água potável, saneamento rural, filtração lenta, troca de saberes, assentamento, ETA, FiME.

ABSTRACT

This work is the result of a partnership between the Federal University of São Carlos (UFSCar), mediated by the Center for Extension and Research in Water and Effluents (CEPAE), and the management of the Bela Vista Paranapanema-SP Rural Settlement. The settlement has no access to drinking water and the water treatment model suggested in the project is based on the characterization of the raw water from the Jurumirim Dam and is adapted to the demands raised by the community through assemblies. The Water Treatment Plant (WTP) model suggested is Multi-stage Filtration using water tanks as a tank and includes the stages of dynamic pre-filtration in pebbles, vertical upward flow pre-filtration in pebbles and sand and slow filtration with fine sand, activated carbon and two synthetic blankets. In order to adapt to the demands, the raw and treated water pumping stations were sized and the tanks were resized for masonry construction.

Keyword: Water treatment, drinking water, rural sanitation, slow filtration, exchange of knowledge, settlement. WTP; multi-stage filtration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista de corte de um esquema de Pré Filtro Dinâmico	07
Figura 2 - Vista de corte de um esquema de Pré Filtro Vertical Ascendente	09
Figura 3 - Vista de corte de um esquema de Filtro Lento	10
Figura 4 - Mapa do Assentamento Bela Vista Paranapanema/SP	11
Figura 5 - : Mosaico de fotos dos dias de amostragem da água da Represa Jurumirim	13
Figura 6 - Vista superior simplificada das linhas de tratamento da estação piloto	14
Figura 7 - Vista de corte FL4 de uma estação piloto	19
Figura 8 - Participação da comunidade UFSCar Lagoa do Sino na assembleia do Assentamento Bela Vista Paranapanema-SP	20
Figura 9 - Fotografia do dia da panfletagem	21
Figura 10 - Esquema da ETA em versão para panfletagem	22
Figura 11 - Gráfico com os valores de turbidez obtidos	24
Figura 12 - Boxplot dos dados de turbidez obtidos	24
Figura 13 - Esquema 3D dos reservatórios e tanques de filtração em caixa d'água	25
Figura 14 - Fluxograma das etapas de filtração e elevação da água	26
Figura 15 - Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do PFD-1	28
Figura 16 - Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do PFD-2	29
Figura 17 - Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do PFVA-1	30
Figura 18 - Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do PFVA-2	31
Figura 19 - Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do FL	32

Figura 20 - Mapa representativo da Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)	33
Figura 21 - Mapa representativo da Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT)	35
Figura 22 - Vista aérea dos reservatórios e tanques de filtração em alvenaria.	36
Figura 23 - Esquema 3D dos tanques de filtração em alvenaria	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre a eficiência de remoção de turbidez, coliformes e sólidos suspensos em diferentes modelos de pré filtração	08
Tabela 2 - Frequência da coleta das amostras, métodos, equipamentos e referências dos testes realizados	12
Tabela 3 - Parâmetros da água bruta e tipo de FiME adotado	14
Tabela 4 - Parâmetros para dimensionamento de PFD	15
Tabela 5 - Espessuras e granulometrias das camadas de PFD	16
Tabela 6 - Características de drenos comerciais	16
Tabela 7 - Parâmetros para dimensionamento de PFVA em série	17
Tabela 8 - Parâmetros para dimensionamento de FL	18
Tabela 9 - Espessuras e granulometrias das camadas de PFD	18
Tabela 10 -Especificações de interesse da manta sintética não tecida	19
Tabela 11 - Parâmetros obtidos pela ACIEPE	23
Tabela 12 - Dimensionamento Pré Filtro Dinâmico 1 (PFD-1)	28
Tabela 13 - Dimensionamento Pré Filtro Dinâmico 2 (PFD-2)	29
Tabela 14 - Dimensionamento Pré Filtro Vertical Ascendente 1 (PFVA-1)	30
Tabela 15 - Dimensionamento Pré Filtro Vertical Ascendente 2 (PFVA-2)	31
Tabela 16 - Dimensionamento Filtro Lento (FL)	32
Tabela 17 - Dimensionamento da Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)	34
Tabela 18 - Dimensionamento da Estação Elevatória de Água tratada (EEAT)	34
Tabela 19 - Dimensões dos tanques de filtração para cada etapa da FiME sugerida em alvenaria	37

LISTA DE SIGLAS

CCN - Centro de Ciências da Natureza
CEPAE - Centro de Extensão e Pesquisa em Água e Efluentes
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EEAB - Estação Elevatória de Água Bruta
EEAT - Estação Elevatória de Água Tratada
ETA - Estação de Tratamento de Água
FiME - Filtração em Múltiplas Etapas
FL - Filtro Lento
ITESP - Instituto de Terras do Estado de São Paulo
ONU - Organização das Nações Unidas
PFD - Pré Filtro Dinâmico
PFVA - Pré Filtro Vertical Ascendente
RAB - Reservatório de Água Bruta
RAT - Reservatório de Água tratada
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SABESP - Saneamento Básico do Estado de São Paulo
UFSCar - Universidade Federal São Carlos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 JUSTIFICATIVA	3
3 OBJETIVOS	4
3.1 GERAL	4
3.2 ESPECÍFICOS	4
3.2.1 Projeto da Estação de Tratamento de Água	4
3.2.2 Estações elevatórias	4
3.2.3 Participação da comunidade	4
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
4.1 TEORIA DO FUNCIONAMENTO DA FIME	5
4.2 PRÉ FILTRO DINÂMICO (PFD)	6
4.3 PRÉ FILTRO VERTICAL ASCENDENTE	7
4.4 FILTRO LENTO (FL)	9
5 MATERIAIS E MÉTODOS	10
5.1 ÁREA DE ESTUDO	10
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA	12
5.3 DEMANDA DE ÁGUA DO ASSENTAMENTO	13
5.4 DIMENSIONAMENTO DA ETA	13
5.4.1 Concepção do sistema	14
5.4.3 Dimensionamento do PFVA	16
5.4.3 Dimensionamento do FL	18
5.5 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS	20
5.6 INTERAÇÃO COM A COMUNIDADE	20
5.6.1 Assembleias	20
5.6.2 Panfletagem e conversa com a comunidade	21
6 RESULTADOS	22
6.1 PARÂMETROS DE DEMANDA E QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA DA REPRESA JURUMIRIM	23
6.1.2 Demanda de água	23
6.1.2 Caracterização da água bruta	23
6.2 PROJETO INICIAL DE CAIXAS D'ÁGUA PARA ETA POR FIME	24
6.2.1 Definição do esquema de tratamento	24
6.2.2 Dimensionamento dos Filtros	27
6.2.2.1 Pré Filtro Dinâmico (PFD)	28
6.2.2.1.1 PFD-1	28
6.2.2.1.2 PFD-2	29
6.2.2.2 Pré Filtro de fluxo Vertical Ascendente (PFVA)	30
6.2.2.2.1 PFVA-1	30
6.2.2.2.2 PFVA-2	31
6.2.2.3 Filtro Lento (FL)	32

6.3 Adaptação ao local de instalação e dimensionamento das estações elevatórias	33
6.3.1 Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)	33
6.3.2 Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT)	34
6.4 ADAPTAÇÃO AO MODELO USANDO TANQUES DE ALVENARIA COMO ALTERNATIVA ÀS CAIXAS D'ÁGUA	35
7 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
ANEXO 1	39

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital para o ser humano e para o planeta Terra. Apesar de 70% da superfície terrestre ser coberta de água, nem toda água é passível de consumo. Da água no mundo, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2007) “97% é salgada, 2% está congelada nas geleiras e 1% disposta em lagos, rios e mananciais subterrâneos”.

O acesso à água potável e saneamento básico é estabelecido como direito humano pela Organização das Nações Unidas (ONU), porém indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apontam em 2022 que 15% dos habitantes brasileiros não possuíam acesso à água potável, e quando analisado o território nacional, pode ser verificado que na Região Norte 35% de sua população não tem acesso a água potável.

A falta de acesso à água potável é intensificada nas áreas rurais. E isso se dá devido a centralização do tratamento da água e da negligência das agências público-privadas de saneamento no Brasil. Sendo a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) a agência de saneamento responsável pelo abastecimento de água da área do estudo.

O Assentamento Bela Vista Paranapanema/SP é mais uma das comunidades rurais do Brasil que não possuem acesso à água potável. Com sua fundação em 2012 o Assentamento foi estabelecido pelo programa Banco da Terra e Piccoli et. al. (2024) afirmam o abandono do programa em relação ao assentamento.

Piccoli et. al. (2024) contextualiza os cenário de falta de acesso à água potável pelo abastecimento e diversos impasses que passaram ao longo da trajetória e que a parceria entre Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e a atual presidência de Valter Nunes foi a iniciativa com melhores resultados.

Para entender a importância socioambiental e cultural que envolve o Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema/SP, se faz necessário a compreensão das questões históricas fundiárias de posse e privatização da terra. A invasão feita pelos europeus na América Latina iniciada em torno de 1500 se faz presente até hoje através da evolução do modelo econômico mundial. A dinâmica colonial estabeleceu uma relação de dominação, onde a metrópole se beneficiava dos recursos da colônia, promovendo a concentração de terras e a exploração dos trabalhadores (Castro, 2021)

Hoffmann (2020) compara a distribuição da área rural do Brasil nos últimos 50 anos e afirma que “As medidas de desigualdade também se revelaram bastante estáveis, mas houve ligeiro aumento da desigualdade da distribuição da posse de terra no país de 2006 para 2017.”.

Segundo Valter Nunes, atual presidente do assentamento, a comunidade presente deveria contar com água subterrânea extraída de poços artesianos, em um projeto executado pela Federação dos Trabalhadores na Agricultura Familiar do Estado de São Paulo (FETAESP), o qual, por diversos motivos não foi executado a contento, haja visto que após a escavação dos poços constatou-se que a água do manancial subterrâneo é salobra. Em um segundo momento, recursos para a escavação de outros poços foram viabilizados por parlamentares estaduais, no entanto o mesmo foi desviado por meio de manobra política para outros fins.

Sendo assim, a comunidade encontra-se num cenário no qual cada morador tenta individualmente resolver o problema com relação à falta d'água. A Universidade Federal de São Carlos UFSCar, por meio do Centro de Extensão e Pesquisa em Água e Efluentes (CEPAE), tomou medidas paliativas (com remoção da parcela da turbidez, correção do pH e desinfecção), que não resolvem completamente o problema, apenas o mitigam, não sendo soluções definitivas para o problema.

Como se pode notar, vê-se a necessidade de aplicar a captação e tratamento de água de outra fonte para que a comunidade tenha acesso a água potável. Assim como é estabelecido pela ONU nos objetivos para o desenvolvimento sustentável, objetivo 6: “é de direito fundamental de todos o acesso à água potável e a falta de acesso a ela acarreta doenças e dificuldade para prosperar.”

Dentre os modelos usuais de tratamento de água, o modelo de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) é consolidado em comunidades rurais por seu baixo custo de instalação e operação quando comparado ao modelo tradicional com coagulação química. A sua capacidade de tratamento quanto à quantidade de água tratada por minuto é limitada, o que impede a instalação de estações de tratamento do mesmo modelo para aplicação em larga escala. (Di Bernardo, 2008).

Para definir o modelo de tratamento de água a ser aplicado, Di Bernardo (1999) explica que “deve-se assegurar a sustentabilidade do sistema, que desempenha papel importantíssimo na continuidade do projeto”. Ou seja, é necessário conciliar a) as tecnologias de tratamento, quanto à disponibilidade de

recursos na região, custo e eficiência do tratamento; b) a comunidade, quanto à demanda de água, os padrões de consumo e mão de obra; c) o meio ambiente, quanto a influência da captação no volume do manancial, aos impactos ambientais e ao desenvolvimento sustentável.

Di Bernardo em 1999 afirma que “a tecnologia FiME é uma alternativa tecnológica com grande potencial de uso, devido às eficiências de remoção apresentadas para fontes superficiais com níveis de turbidez até 100 uT e 100.000 UFC/100 mL de coliformes”. Sendo a localização do Assentamento às margens da Represa Jurumirim a qual abastece diversas cidades da região.

Logo, para garantir a eficiência de um tratamento utilizando FiME é necessário estudar as características da água a ser tratada e assim escolher quantas e quais serão as etapas de pré tratamento para que a filtração lenta possa ser eficiente.

Tendo o assentamento Bela Vista como único usuário desta rede de abastecimento e uma fonte de água superficial no local define se então a possível aplicabilidade da sugerida Estação de Tratamento de Água (ETA) através da Filtração em Múltiplas Etapas (FiME).

2 JUSTIFICATIVA

Para a permanência e desenvolvimento socioeconômico do assentamento rural Bela Vista é de suma importância o acesso à terra como propriedade e o acesso à água potável, direitos fundamentais estes que não são obtidos devido a cadeia histórica de acontecimentos. O dado projeto visa auxiliar o assentamento a ter acesso à água potável estudando a qualidade da água a ser captada, a demanda de água do assentamento e sugerindo a instalação de uma ETA.

A escolha do método de FiME para esta ETA é baseada em sua eficácia comprovada na remoção de contaminantes presentes na água, sua adaptabilidade a espaços compactos e sua capacidade de operação eficiente com recursos limitados.

O Assentamento Rural Bela Vista enfrenta desafios significativos em relação ao abastecimento de água potável devido à sua localização remota e à falta de infraestrutura adequada. Sendo assim, o projeto de uma ETA utilizando o método FiME visa atender às necessidades específicas do Assentamento Rural Bela Vista de forma eficiente e sustentável. Ao adotar uma abordagem compacta, pode-se

maximizar a utilização do espaço disponível, minimizar custos de construção e operação, além de simplificar a manutenção do sistema.

Além disso, a escolha do método de FiME como tecnologia de tratamento de água é respaldada pela sua eficácia na remoção de uma ampla gama de contaminantes, incluindo sedimentos, microrganismos patogênicos e substâncias químicas indesejadas. Isso garantirá que a água tratada atende aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação vigente, proporcionando à comunidade do Assentamento Rural Bela Vista acesso a água potável segura e de qualidade.

Ao garantir o acesso contínuo a água potável de qualidade, contribui-se para a saúde, segurança e bem-estar dos residentes locais, além de fomentar o progresso socioeconômico da comunidade como um todo.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Desenvolver um projeto completo de uma ETA capaz de suprir a demanda de água potável da comunidade do Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema/SP em sua totalidade, contando com a participação da comunidade nas tomadas de decisões e adaptações do projeto.

3.2 ESPECÍFICOS

3.2.1 Projeto da Estação de Tratamento de Água

- Definir a demanda de água potável do assentamento rural Bela Vista;
- Caracterizar a água da Represa Jurumirim no ponto de captação;
- Dimensionar filtros e definir material de suporte;
- Dimensionar reservatórios de água bruta e de água tratada;
- Definir alturas piezométricas.

3.2.2 Estações elevatórias

- Dimensionar estação elevatória de água bruta;
- Dimensionar estação elevatória de água tratada;
- Definir bombas;
- Estimar o custo energético do funcionamento da ETA.

3.2.3 Participação da comunidade

- Participar em assembleias e reuniões e ouvir a comunidade;

- Tornar acessível o entendimento sobre o funcionamento e manutenção da ETA;
- Adaptar o projeto ao local as decisões e demandas da comunidade.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 TEORIA DO FUNCIONAMENTO DA FIME

A filtração é um processo essencial para o tratamento de água, envolvendo a passagem de água por um meio granular para remover impurezas físicas, químicas e biológicas. Esse processo ocorre devido a mecanismos distintos, como transporte, aderência e oxidação, que promovem a retenção de partículas ao longo do leito filtrante (Veras, 1999).

Um tratamento de água por FiME depende da diferença de nível entre cada etapa do processo. O escoamento se dá pela gravidade e as vazões são controladas por válvulas nas entradas e saídas dos reservatórios e filtros (Terin, 2021).

De acordo com Di Bernardo (1999) a ação mais importante na remoção de impurezas no tratamento por FIME ocorre na etapa de filtração lenta nas camadas superiores de material composta por areia fina, onde há a formação de uma camada microbiológica ativa, chamada de “*schmutzdecke*”.

Porém o filtro lento e a camada de *schmutzdecke* tem sua eficiência limitada a baixos índices de impurezas. Devido a isso faz-se a adição de etapas de pré-filtração, preparando assim a água bruta para que a filtração lenta apresente os resultados esperados e dando multiplicidade às etapas de filtração.

A FiME é eficiente para remover gradualmente diferentes tipos de impurezas, desde sólidos grosseiros até partículas coloidais e microrganismos. Ela combina várias barreiras que atuam de forma sequencial, começando pelo pré-tratamento, onde filtros de areia grossa ou pedregulho removem sólidos maiores (Veras, 1999).

Di Bernardo (2008) destaca que águas superficiais devem passar por pelo menos duas etapas: pré-filtração dinâmica, para remoção de sólidos grosseiros, e filtração lenta, para partículas finas e microrganismos, complementada pela cloração.

O sistema FiME é adequado para águas com turbidez média de até 80 uT (com picos de até 700 uT) e cor verdadeira de até 60 uC. Sua simplicidade,

eficiência na remoção de partículas e microrganismos, e custos reduzidos tornam essa tecnologia vantajosa em determinados cenários, embora limitada por características específicas da qualidade da água bruta (Di Bernardo, 1999).

O custo benefício da FiME é muito bom para vazões pequenas, de até 350 m³/dia, a partir desse volume a demanda de área e manutenção do sistema faz com que o custo passe a ser maior do que o modelo convencional com coagulação química (Veras, 1999).

Para a primeira etapa da FiME o pré filtro dinâmico é o que apresenta maiores relações de custo benefício, seu custo de implementação e manutenção é o menor dentre as etapas de pré filtração, outra característica fundamental para ser a primeira etapa é a grande capacidade de amortizar picos de impurezas na água bruta (Terin, 2021)

Para outras etapas da FiME pode-se optar por diferentes direções de fluxo d'água, horizontal ou vertical, ascendente ou descendente. Di Bernardo (1999) afirma que a pré filtração de fluxo vertical ascendente é a que apresenta os melhores resultados na remoção de impurezas enquanto o custo de manutenção e instalação é similar aos outros modelos.

4.2 PRÉ FILTRO DINÂMICO (PFD)

A pré-filtração dinâmica desempenha um papel fundamental no tratamento inicial da água bruta, sendo responsável pela remoção de impurezas de maior tamanho e densidade. Sua operação se baseia principalmente no mecanismo de sedimentação, que ocorre devido à grande área superficial da sub camada superior composta por pedregulho fino, que é a principal responsável pela retenção das impurezas (Di Bernardo, 2008).

Veras (1999) aponta que a remoção média de turbidez e coliformes na etapa de pré filtração dinâmica quando funcionando em taxa de filtração menor do que 72 m³/m².dia é de 50%.

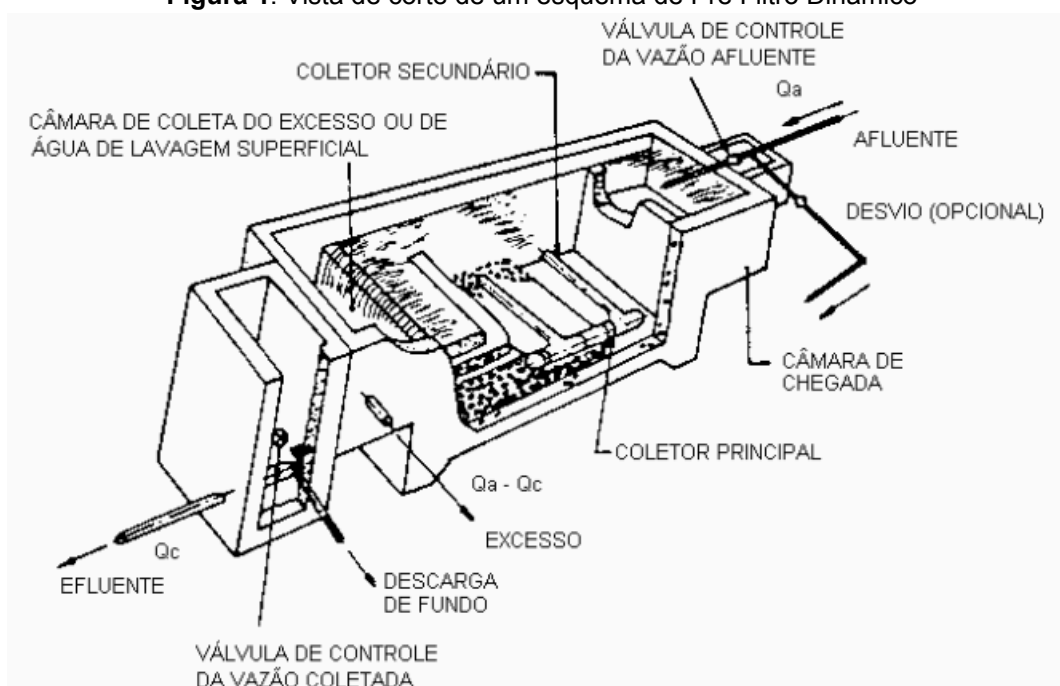
A presença do PFD é recomendada também devido ao fato da granulometria superficial ser pequena o que faz com que, caso haja picos de turbidez e impurezas na água bruta, a camada superficial fique obstruída e impeça a contaminação dos filtros seguintes (Di Bernardo, 1999).

Uma instalação de PFD é composta por diversos elementos estruturais que garantem a eficiência do processo e o controle do fluxo hidráulico. A caixa de

chegada e divisão de vazão distribui de forma uniforme o afluente entre as diferentes unidades de filtração, como ilustrado na Figura 1 .

a) estrutura de entrada com válvula para ajuste de vazão de entrada, permitindo também o desvio de fluxos excedentes em situações de manutenção ou sobrecarga. b) A câmara de filtração contendo o meio granular e o sistema de drenagem. c) A estrutura de saída com válvula para controle de vazão de saída, para assegurar a eficiência do filtração, e saída da água tratada para as etapas subsequentes do tratamento.

Figura 1: Vista de corte de um esquema de Pré Filtro Dinâmico



Fonte: (Di Bernardo, 1999)

Dessa forma, a PFD desempenha um papel importante na redução da carga de sólidos em suspensão, preparando a água para as etapas subsequentes do tratamento, como a pré-filtração de fluxo ascendente em série e a filtração lenta.

4.3 PRÉ FILTRO VERTICAL ASCENDENTE

O pré filtração vertical tem por característica possuir maior número de camadas de material de suporte, com diferentes granulometrias, variando de pedregulho a areia grossa, em alguns casos com uso de areia média. O fluxo pode ser descendente ou ascendente. (Veras 1999).

Devido ao elevado número de camadas, foi verificado que a separação desse processo em 2 ou mais unidades, apresenta eficiência semelhante, Di Bernardo

1999 diz que:

“Adicionalmente, observou-se que a eficiência das três linhas de pré-filtros de pedregulho com escoamento ascendente apresentaram desempenho praticamente igual, em termos de remoção de turbidez, sólidos suspensos totais, cor aparente, coliformes fecais e totais para taxas de aplicação entre 8 e 16 m/d.” (Di Bernardo, 1999, p.52)

A eficiência de remoção das impurezas no PFVA é significativa quando relacionada com a eficiência total do sistema e seus índices de remoção são altos. Galvis et. al, (1996) relacionou a eficiência com filtros de escoamento horizontal a nível de comparação e como mostrado na Tabela 1 abaixo o PFVA em série apresenta os melhores resultados.

Tabela 1: Comparação entre a eficiência de remoção de turbidez, coliformes fecais e sólidos suspensos em diferentes modelos de pré filtração

Parâmetro	Eficiência de remoção (%)		
	PFA em série	PFH em série	PFH
Coliformes Fecais	99,4	95,6	95,4
Turbidez	80	66	68,4
Sólidos suspensos	97	94	93

Sendo que:

PFA em série = pré-filtro com escoamento ascendente constituído por três unidades em série

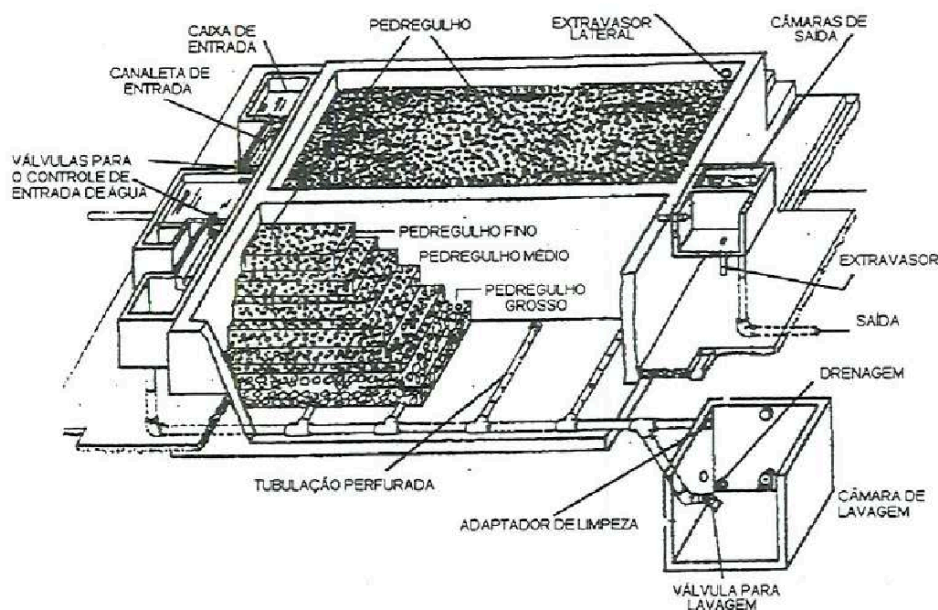
PFH em série = pré-filtro com escoamento horizontal constituído por três unidades em série;

PFH = pré-filtro com escoamento horizontal.

Fonte: (Galvis et. al., 1996)

O esquema de funcionamento de uma unidade dividida em dois módulos de PFVA está demonstrado na Figura 2 a seguir, a divisão modular é essencial para que a manutenção dos tanques não tenha grande impacto na vazão de água tratada assim como na qualidade. Pode-se notar a presença da caixa de entrada e saída com desvios de fluxo para caso seja necessário (Di Bernardo, 1999).

Figura 2: Vista de corte de um esquema de Pré Filtro Vertical Ascendente



Fonte: (Di Bernardo, 1999)

4.4 FILTRO LENTO (FL)

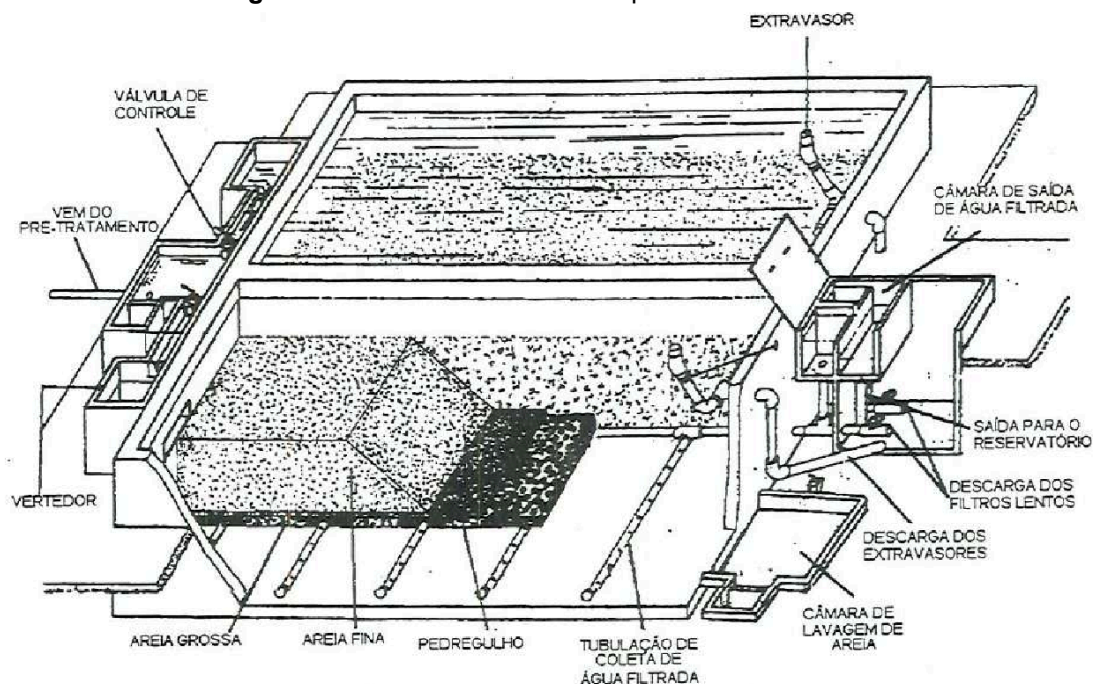
Diferente das etapas anteriores, a filtração lenta recebe este nome devido à baixa taxa de filtração que apresenta, isso se dá devido ao fato de suas maiores camadas serem constituídas de areia fina. A areia fina juntamente com fluxo lento de água forma um ambiente propício à formação de uma camada de microrganismos, *schmutzdecke* (Di Bernardo, 2008).

Veras (1999) afirma que a areia fina também proporciona a filtração de partículas menores presentes no afluente, sendo altamente eficiente na remoção física, química e biológica das partículas. A faixa de taxa de filtração segundo Galvis et. al. (1996) é entre 2,4 a 12 m³/m².dia. Na Figura 3 a seguir pode-se ver um esquema de funcionamento de um FL de fluxo descendente.

. Para melhoria na eficiência do FL foi realizado pela autora Veras (1999) um estudo que comprova a melhoria na eficiência quando adicionado uma camada de carvão ativado entre a camada de areia fina, e também quando utilizado mantas sintéticas não tecidas acima da areia fina.

Di Bernardo (1999) afirma que a eficiência dos diferentes tipos de FL instalados está relacionado com o uso de carvão ativado, uso de mantas sintéticas e realização das devidas manutenções. Na Figura 3 a seguir o esquema de FL disposto não contém a camada de carvão ativado por entre a camada de areia fina e também não contém a manta sintética.

Figura 3: Vista de corte de um esquema de Filtro Lento



Fonte: (Di Bernardo, 1999)

5 MATERIAIS E MÉTODOS

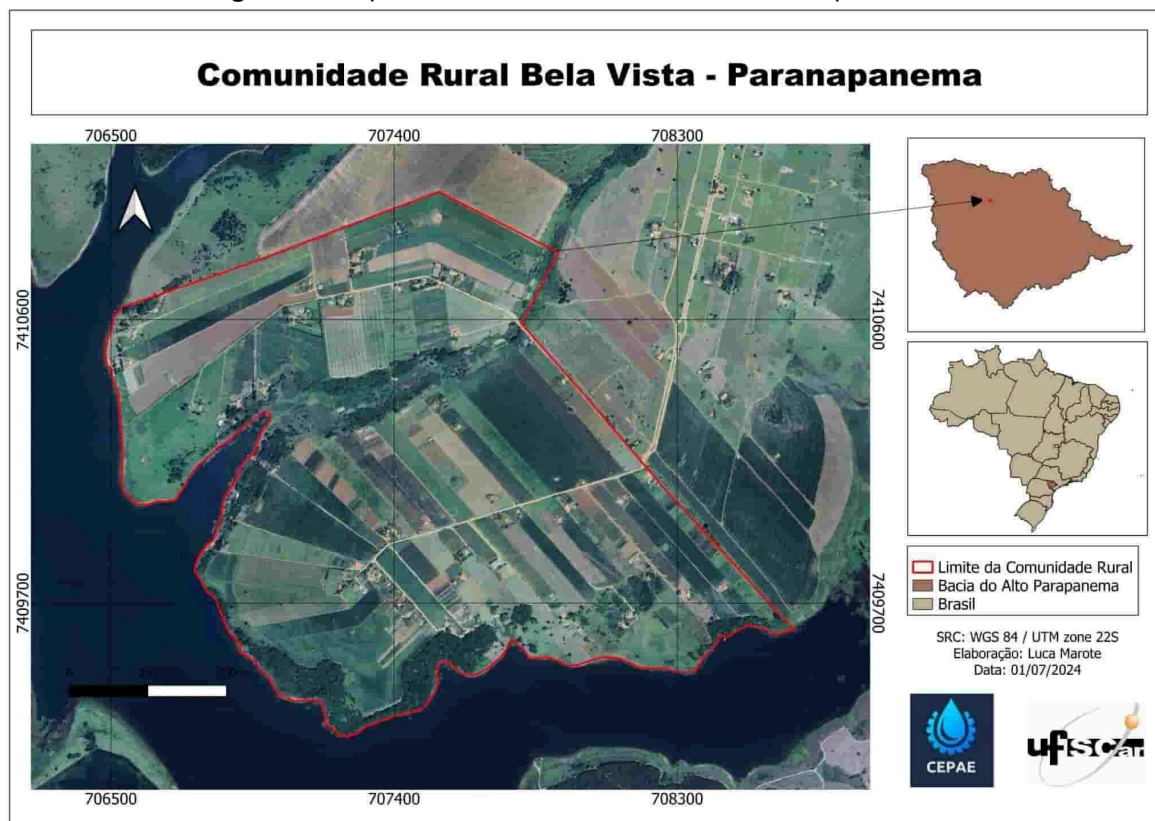
5.1 ÁREA DE ESTUDO

O assentamento Bela Vista, objeto deste estudo, situa-se no município de Paranapanema, localizado no sudoeste do estado de São Paulo. O município possui uma área territorial de 1.018,7 km² e uma população de 19.395 habitantes, conforme dados do IBGE (2023).

A área de estudo abrange aproximadamente 219,6 km², estando a cerca de 40 km do principal núcleo urbano do município e a 17 km do distrito de Campos de Holambra, o centro urbano mais próximo. A comunidade encontra-se localizada às margens de um afluente do rio principal da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema e seu território está mostrado na Figura 4 a seguir.

A Bacia do Alto Paranapanema apresenta características distintas, incluindo um clima tropical úmido com variações discretas e solos variados, como Latossolos Vermelho Escuro, Solos Hidromórficos (com predominância em áreas de várzea), Terra Roxa Legítima e Terra Roxa Estruturada, os quais são amplamente utilizados em cultivos intensivos de milho, soja, café e cana-de-açúcar. Além disso, há a presença de solos arenosos, que apresentam maior vulnerabilidade à erosão (CBH ALPA, 2022).

Figura 4 : Mapa do Assentamento Bela Vista Paranapanema/SP



Fonte: (Picolli et al., 2024)

O assentamento Bela Vista, criado em 2013, foi originalmente dividido em 61 lotes de 3,6 hectares. Atualmente, após subdivisões de alguns desses lotes, abriga aproximadamente 71 famílias. Entre os moradores, cerca de 25 pessoas participam ativamente da Associação de Produtores Rurais de Bela Vista, um coletivo fundado em 2015. Sob a liderança do atual diretor-presidente, Valter Nunes, desde 2021, a associação tem alcançado avanços significativos, com foco na luta pelo acesso à água potável.

Os agricultores de Bela Vista buscam sustentar-se exclusivamente pela produção agrícola, que é profundamente vinculada à identidade e à cultura da comunidade. Entretanto, a agricultura familiar enfrenta desafios recorrentes, como a escassez de recursos, a ausência de suporte técnico e a dificuldade de acesso a políticas públicas. Esse cenário é agravado no caso dos assentamentos vinculados ao Programa Nacional de Crédito Fundiário (PNCF), que não possuem o reconhecimento oficial como assentamentos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

Para caracterização da água do projeto foram coletadas 30 amostras de água para medição da turbidez e o projeto contou com apoio da ACIEPE “Saneamento rural para comunidades em situação de vulnerabilidade. Processo: 23112.046001/2023-33”, na qual foram realizados testes laboratoriais da água da Represa Jurumirim para os para os parâmetros pH, turbidez, OD e coliformes (totais e termotolerantes) de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Frequência da coleta das amostras, métodos, equipamentos e referências dos testes realizados

Parâmetro	Método	Equipamento	Referência	Frequência
Turbidez	Nefelométrico	Turbidímetro	APHA (2012)	A cada dois dias durante 2 meses
pH	Potenciométrico	Sonda Multiparâmetro (HANNA Instruments)	APHA (2012)	Única
OD	Potenciométrico	Sonda Multiparâmetro (HANNA Instruments)	APHA (2012)	Única
Coliformes Totais	Tubos Múltiplos	Tubos Múltiplos	Silva et. al. (2006)	Única
<i>E. Coli</i>	Tubos Múltiplos	Tubos Múltiplos	Silva et. al. (2006)	Única

Fonte: (Autorial)

O tratamento de água por FiME têm limitações quanto a turbidez e presença de coliformes, segundo o estudo feito por Di Bernardo (1999), a associação de duas etapas de pré filtração junto a filtração lenta é capaz de lidar com uma turbidez média máxima de aproximadamente 80 uT e coliformes de até 100NMP/mL. As coletas de água foram realizadas entre Maio e Julho de 2024 (período de seca) e a foto da Figura 5 foi retirada logo após uma das coletas.

Em virtude de limitações de equipamentos e de transporte, não foi possível coletar amostras no período chuvoso, quando a turbidez tende a ser mais elevada; no entanto, isso foi considerado no dimensionamento da ETA, a partir da adoção de intervalos de segurança.

Figura 5: Mosaico de fotos dos dias de amostragem da água da Represa Jurumirim



Fonte: (Autoral)

5.3 DEMANDA DE ÁGUA DO ASSENTAMENTO

A estimativa da demanda de água foi realizada a partir da equação 1. O valor da cota per capita foi estipulado de acordo com a FUNASA (2016).

$$Q_p = \text{Cota per capita} \cdot N^{\circ} \text{ máximo de habitantes (Equação 1.)}$$

Sendo que:

$$Q_p = \text{Vazão de projeto}$$

5.4 DIMENSIONAMENTO DA ETA

Para concepção do esquema da ETA teve-se como principal modelo de referência a instalação piloto (Veras, 1999) e o estudo feito por Di Bernardo (1999) que reúne informações em formato de manual para dimensionamento, instalação e manutenção de estações com uso de FiME.

5.4.1 Concepção do sistema

Di Bernardo (1999) recomenda que a escolha das etapas da FIME com base nas características da água bruta, como dado na Tabela 3 a seguir, quanto maiores as concentrações de impurezas, mais etapas de filtração são adicionadas ao sistema. Sendo o primeiro um tratamento apenas com o FL, o segundo uma sequência de PFD e FL e o terceiro uma sequência de PDF, PFVA e FL.

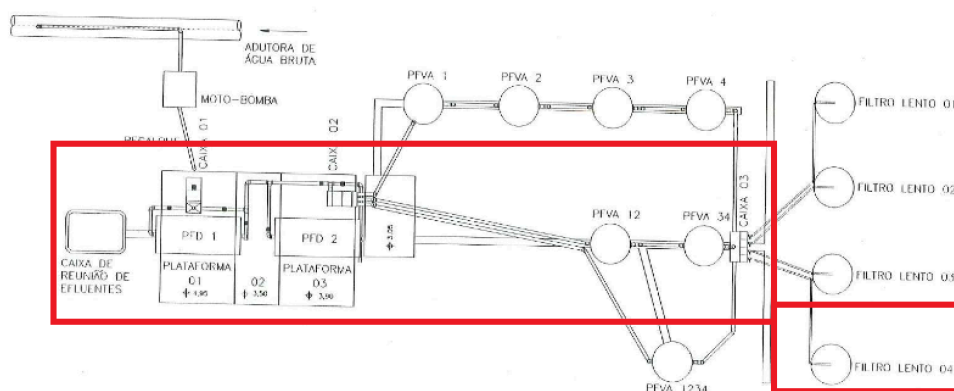
Tabela 3: Parâmetros da água bruta e tipo de FiME adotado

Características da Água Bruta	FL	PFD FL	PFD PFPAC ou PFPAS FL
Turbidez (uT)	100 % < 25 uT 95 % < 10 uT	100 % < 50 95 % < 25	100 % < 200 95 % < 100
Cor Verdadeira (uC)	100 % < 10 95 % < 5	100 % < 25 95 % < 10	100 % < 25 95 % < 10
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	100 % < 25 95 % < 10	100 % < 50 95 % < 25	100 % < 200 95 % < 100
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	100 % < 1 000 95 % < 500	100 % < 10 000 95 % < 5 000	100 % < 20 000 95 % < 10 000
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	100 % < 500 95 % < 250	100 % < 5 000 95 % < 1 000	100 % < 10 000 95 % < 5 000
Concentração de Ferro Total (mg/L)	100 % < 1,5 95 % < 1,0	100 % < 3,0 95 % < 2,0	100 % < 5,0 95 % < 3,0
Concentração de Algas (UPA/mL)	100 % < 500 95 % < 250	100 % < 1 500 95 % < 1 000	100 % < 5 000 95 % < 2 500

Legenda : FL = filtração lenta ; PFD = pré-filtração dinâmica ; PFPAC = pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente em subcamadas ; PFPAS = pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente em unidades em série;

Fonte: (Di Bernardo, 1999)

Figura 6: Vista superior simplificada das linhas de tratamento da estação piloto



Fonte: (Veras, 1999)

Levando em consideração os valores médios de turbidez e os outros parâmetros de qualidade de água obtidos no projeto e considerando também o intervalo de segurança devido a limitação da amostragem, foi estabelecido o uso da FiME com uso de PDF, PFVA e FL similar a uma das linhas da estação piloto de Veras (1999), demarcado na Figura 6.

5.4.2 Dimensionamento do PFD

Para dimensionamento do PFD levou-se em consideração os parâmetros recomendados por Di Bernardo (1999) disposto na Tabela 4 e a vazão de projeto sendo de 70m³/dia.

Tabela 4: Parâmetros para dimensionamento de PFD

Parâmetro	Recomendação ou Valor Recomendado
Método de Operação	contínuo
Taxa de Aplicação (m/d)	18 a 60
Número Mínimo de Unidades em Paralelo	2
Área Máxima em Planta por Unidade (m ²)	10 m ²
Largura Máxima (m)	1,5
Velocidade Média do Escoamento Superficial para a Limpeza	0,1 a 0,3
Meio Granular	
- número de subcamadas	3
- espessura mínima e material granular : subcamada inferior	0,2 m ;19 a 31 mm
- subcamada intermediária	0,2 m ;7,9 a 15,9 mm
- subcamada superior	0,2 m ;3,2 a 6,4 mm
Altura da Lâmina Líquida sobre a Superfície do Meio Granular	2 a 5

Fonte: (Di Bernardo, 1999)

Assim como na ETA piloto implementada por Veras (1999), a taxa de filtração de projeto do PFD foi definida 36m³/m².dia, assim como as alturas das camadas de material de suporte e diferença de altura piezométrica entre etapas. A diferença de altura piezométrica adotada segue as indicações de Di Bernardo (1999) e é de 50 a 150cm em relação ao reservatório de água bruta.

$$Q_p = \text{Taxa de filtração PFD} \cdot \text{Área superficial do filtro (Equação 2.)}$$

Sendo que:

$$Q_p = \text{Vazão de projeto}$$

Para escolha das alturas das camadas levou-se em consideração o volume do modelo de a caixa d'água de 3000 L, a qual possui área superficial de 2,32m², e se encaixou melhor na demanda do projeto foi levado em consideração a altura das camadas e de Veras (1999) como dado na Tabela 5 abaixo e os materiais adaptados aos padrões comercializados na região de Paranapanema-SP.

Tabela 5: Espessuras e granulometrias das camadas de PFD

Unidades	Tamanho (mm)	espessura da camada (m)
PFD 1	15,9 – 25,4	0,4
	12,7 – 19,0	0,25
	6,4 - 12,7	0,25
PFD 2	19,0 – 25,4	0,4
	9,6 – 15,9	0,25
	4,8 – 9,6	0,25

Fonte: (Veras, 1999)

Para dimensionamento dos tubos de saída foi usada a Tabela 6 a seguir, na qual derivam características de tubos perfurados comerciais. Pode-se usar a vazão de projeto para encontrar a quantidade em metros de drenos necessária para cada módulo do pré filtro dinâmico.

Tabela 6: Características de drenos comerciais

Diâmetro do Tubo (mm)	Diâmetro dos Orifícios (mm)	Número de Orifícios por Seção	Número de Orifícios por Metro Linear	Área Total dos Orifícios por Metro (10 ⁻⁴ m ² /m)	Vazão Coletada por Metro de Tubo (L/s m)
50	4,5	6	158	24,8	0,124
75	4,5	12	312	49,6	0,248
100	5,0	12	312	61,25	0,306
150	6,0	12	312	88,22	0,441

Fonte: (Di Bernardo, 1999)

Para adaptação do modelo de caixa d'água para alvenaria foram mantidas as alturas das camadas de suporte e de linha d'água. Di Bernardo (1999) aponta que a proporção de 2:1 na relação entre comprimento e largura é o mais indicado para pré filtros dinâmicos.

5.4.3 Dimensionamento do PFVA

Para dimensionamento do PFVA levou-se em consideração os parâmetros recomendados por Di Bernardo (1999) disposto na Tabela 7 e a vazão de projeto sendo de 70m³/dia.

A taxa de filtração de projeto do PFVA foi definida $16\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e através da Equação 2. dada anteriormente, fez-se a aproximação para a divisão das unidades em dois módulos cada, constituídas no total por 4 Caixas D'água de 3000L, cada uma sendo um módulo. A diferença de altura da linha d'água em relação à etapa anterior e entre cada unidade do PFVA é de 50cm.

Tabela 7: Parâmetros para dimensionamento de PFVA em série

Parâmetro	Recomendação ou Valor Recomendado - PFPAS
Método de Operação	Contínuo
Taxa de Aplicação (m/d)	12 a 36
Número Mínimo de Unidades em Paralelo	2
Altura Mínima da Lâmina Líquida sobre Topo do Meio Granular de cada Câmara (cm)	20
Taxa Mínima de Descarga para Limpeza (m/d)	400
Espessura das Subcamadas e Material Granular - primeira câmara camada suporte camadas filtrantes - segunda câmara camada suporte camada filtrante - terceira câmara camada suporte camada filtrante	0,2 a 0,3 m ; 19,0 a 31,0 mm 0,1 a 0,2 m ; 12,7 a 19,0 mm 0,4 a 0,6 m ; 6,4 a 12,7 mm 0,2 a 0,3 m ; 19,0 a 31,0 mm 0,1 a 0,2 m ; 12,7 a 19,0 mm 0,1 a 0,2 m ; 6,4 a 12,7 mm 0,4 a 0,6 m ; 3,2 a 6,4 mm 0,2 a 0,3 m ; 19,0 a 31,0 mm 0,1 a 0,2 m ; 12,7 a 19,0 mm 0,1 a 0,2 m ; 6,4 a 12,7 mm 0,1 a 0,2 m ; 3,2 a 6,4 mm 0,4 a 0,6 m ; 1,68 a 3,20 mm

Fonte: (Di Bernardo, 1999)

Para as alturas das camadas de material suporte teve-se como orientação o estabelecido na estação piloto de Veras (1999) o qual está disposto na Tabela 8 a seguir, sendo que as granulometrias do material de suporte foram adaptadas aos padrões comercializados na região de estudo. A diferença de altura da linha d'água adotada segue as indicações de Di Bernardo (1999) em relação à etapa anterior é de 50cm.

Tabela 8: Espessuras e granulometrias das camadas de PFD

Unidades	Tamanho (mm)	espessura da camada (m)
PFVA 12	50 – 75	0,25
	19,0 – 25,4	0,4
	9,6 - 15,9	0,4
PFVA 34	31,4 – 50	0,25
	3,2 - 6,4	0,4
	1,41 - 3,2	0,4

Fonte: (Veras, 1999)

Para adaptação do modelo de caixa d'água para alvenaria foram mantidas as alturas das camadas de suporte e de linha d'água. Di Bernardo (1999) aponta que a proporção de 2:1 na relação entre comprimento e largura é o mais indicado para PFVA assim como para PFD.

5.4.3 Dimensionamento do FL

Para dimensionamento do FL levou-se em consideração os parâmetros recomendados por Di Bernardo (1999) disposto na Tabela 9 e a vazão de projeto sendo de 70m³/dia.

Tabela 9: Parâmetros para dimensionamento de FL

Parâmetro	Recomendação ou Valor Recomendado
Período de funcionamento diário (h/d)	24
Número mínimo de unidades	2
Taxa de filtração (m/d)	3 a 6
Meio filtrante (*) Areia	
- tamanho dos grãos (mm)	0,08 a 1,0
- tamanho efetivo (mm)	0,15 a 0,25
- coeficiente de desuniformidade	2 a 5
- espessura inicial da camada (m)	0,8 a 1,0
Camada suporte	
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 1 (mm)	10 a 15 ; 19,0 a 31,0
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 2 (mm)	5 a 10 ; 12,7 a 19,0
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 3 (mm)	5 a 10 ; 6,4 a 12,7
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 4 (mm)	5 a 10 ; 3,2 a 6,4
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 5 (mm)	5 a 10 ; 1,41 a 3,2
Borda livre (m)	0,1 a 0,2
Área máxima (em planta) de uma unidade (m ²)	200

(*) no caso de previsão do uso de mantas sintéticas não tecidas, deve-se verificar sua disponibilidade no mercado a um custo razoável.

Fonte: (Di Bernardo, 1999)

A taxa de filtração de projeto do PFVA foi definida 16m³/m².dia e através da Equação 2. dada anteriormente encontrou-se a área superficial total de FL, equivalente a 3 módulos de Caixa D'água de 7000L.

Para as alturas das camadas de material suporte teve-se como orientação o estabelecido na estação piloto de Veras (1999) como FL4 o qual está disposto na Figura 7 a seguir, sendo que as granulometrias do material de suporte foram adaptadas aos padrões comercializados na região de estudo.

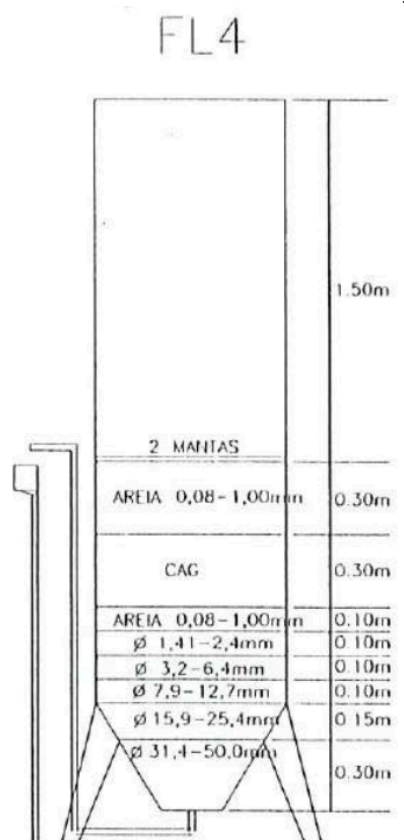
A escolha dos parâmetros das mantas utilizadas no projeto se baseia na Tabela 10, sendo que pode ser adaptado aos padrões comercializados na região pois as diferentes mantas apresentam resultado similar (Di Bernardo, 1999).

Tabela 10: Especificações de interesse da manta sintética não tecida

Propriedade	Valor
Espessura (mm)	0,4 - 20,0
Porosidade	0,56 - 0,99
Diâmetro médio das fibras (μm)	27 - 100
Massa específica da manta (g/cm^3)	0,02 - 0,40
Superfície específica (m^2/m^3)	1100 - 36000
Condutividade hidráulica (mm/s)	0,25 - 47

Fonte: (Di Bernardo, 1999)

Figura 7: Vista de corte FL4 de uma estação piloto



Fonte: (Veras, 1999)

Para adaptação do modelo de caixa d'água para alvenaria foram mantidas as alturas das camadas de suporte e de linha d'água. Di Bernardo (1999) aponta que a proporção de 1,5:1 na relação entre comprimento e largura é o mais indicado para FL.

5.5 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS

O dimensionamento do sistema elevatório seguiu a recomendação de Azevedo Netto (2015) e Porto (1999). Foram determinadas as cotas do terreno para avaliar o desnível entre os pontos de tomada e entrega de água, os diâmetros de sucção e recalque, a perda de carga total no sistema, a altura manométrica, a potência do conjunto motor bomba e o período de funcionamento diário. As simulações foram realizadas no software EPANET 2.2 (Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool)

5.6 INTERAÇÃO COM A COMUNIDADE

5.6.1 Assembleias

Ao longo do período de elaboração do projeto foram realizadas 5 participações nas assembleias realizadas aos domingos pela comunidade do Assentamento Bela Vista Paranapanema-SP, durante o decorrer das assembleias foram realizadas apresentações do projeto para avaliação, feedback e sugestões da comunidade. A Figura 8 a seguir é uma foto do dia 20/07 tirada depois de uma assembleia do Assentamento, na qual a comunidade da UFSCar Lagoa do Sino fez uma mobilização para participar

Figura 8: Participação da comunidade UFSCar Lagoa do Sino na assembleia do Assentamento Bela Vista Paranapanema-SP



Fonte: (Autorial)

A partir das reuniões foram realizadas adaptações ao projeto para conseguir atender as demandas levantadas quanto ao local exato de instalação da ETA, quanto a demanda do encaminhamento da água tratada para os reservatórios elevados já existentes, e quanto ao material e modelo de construção da preferência do grupo.

As assembléias foram realizadas nos dias 18/05, 04/06, 21/07, 08/08 e 29/08 de 2024. Sempre conduzidas pela liderança do assentamento representada por Valter Nunes e Raílida Araújo, as assembléias discutiam as pautas da comunidade sendo a ETA mais um dos temas abordados..

5.6.2 Panfletagem e conversa com a comunidade

Foi realizado no sábado dia 15 de junho de 2024 junto ao presidente da Associação Valter Nunes e sua companheira Raílida Araújo, uma panfletagem porta a porta para explicação do funcionamento da ETA para moradores da comunidade que não puderam comparecer às assembleias.

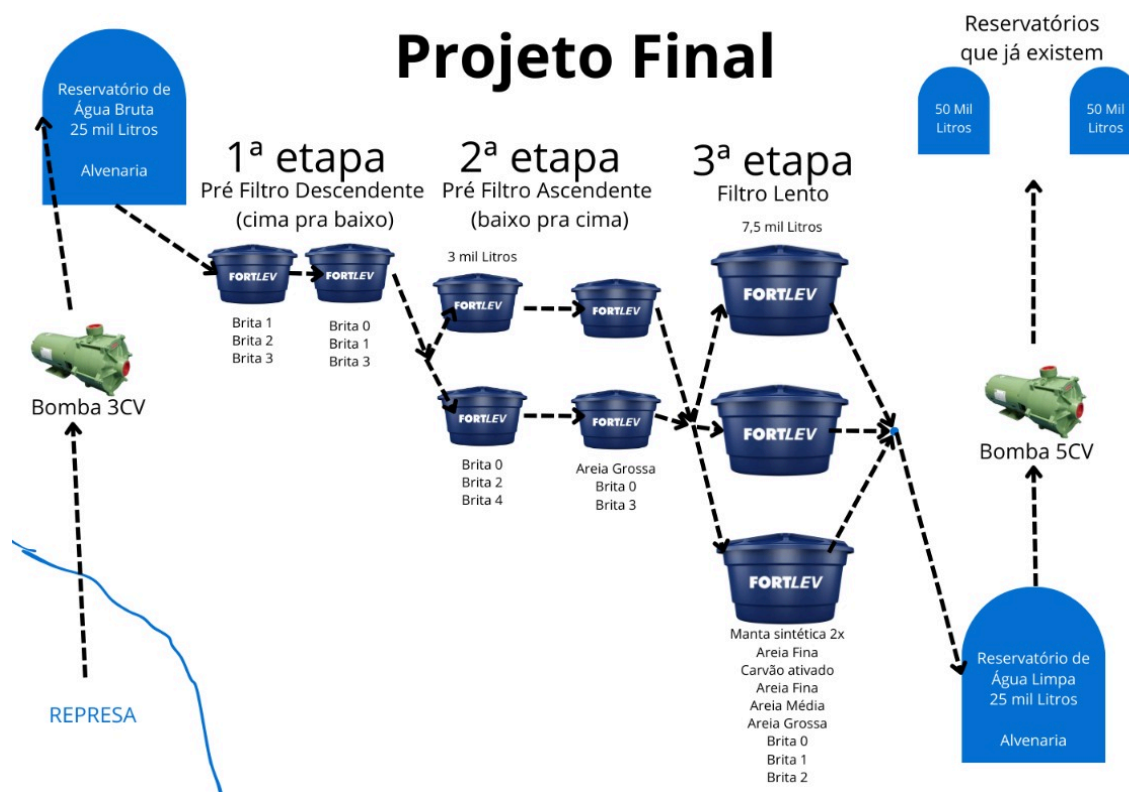
Neste dia foi recolhido feedback quanto ao apoio da comunidade na participação das etapas futuras de implementação da ETA, funcionamento e manutenção da mesma. Na Figura 9 a seguir pode ver um mosaico com fotos do dia da panfletagem e na Figura 10 o esquema da estação usado como panfleto.

Figura 9: Fotografia do dia da panfletagem



Fonte: (Autorial)

Figura 10: Esquema da ETA em versão para panfletagem



Fonte: (Autoral)

6 RESULTADOS

A parceria entre a UFSCar Lagoa do Sino e o Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema-SP é mediada principalmente pelo CEPAE, foram realizados projetos anteriores a esse referente ao problema com falta de acesso à água potável pela comunidade do Assentamento no qual têm-se mais testes de qualidade da água da Represa Jurumirim.

Os resultados obtidos foram distribuídos em 4 seções, sendo a primeira a especificação sobre a demanda da água e definição de vazão do projeto, assim como dos resultados obtidos a partir das análises realizadas na água bruta no ponto de captação.

A segunda um projeto de Estação de Tratamento de Água (ETA) na qual seus reservatórios e tanques de filtração são modelos de caixa d'água de polietileno baseados no catálogo da Fortlev. Este modelo leva em consideração as características e qualidade da água da Represa Jurumirim no ponto de captação e foi apresentado à comunidade do Assentamento.

A terceira seção se refere às estações elevatórias de água bruta e tratada. Durante as reuniões com a comunidade do Assentamento foi estipulado o local exato de intenção de instalação da ETA e verificado a presença de 2 reservatórios elevados para distribuição de água tratada no território do Assentamento.

A quarta seção, assim como a segunda, tem participação efetiva da comunidade nas decisões e se refere às adaptações feitas no projeto: os reservatórios e tanques foram redimensionados para construção em alvenaria e foi elaborado especificações do funcionamento e manutenção da ETA.

6.1 PARÂMETROS DE DEMANDA E QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA DA REPRESA JURUMIRIM

6.1.2 Demanda de água

O Assentamento Bela Vista é constituído de 70 lotes. A média de habitantes por lote atualmente é de 4 habitantes por lote. Foi considerado um máximo de 5 pessoas por família alocada em lote do assentamento e estabelecido então um teto de 350 habitantes a serem atendidos com água potável. Assumindo um consumo per capita de 200 litros por dia, o dado projeto conta com a demanda de vazão de 70 m³/dia.

6.1.2 Caracterização da água bruta

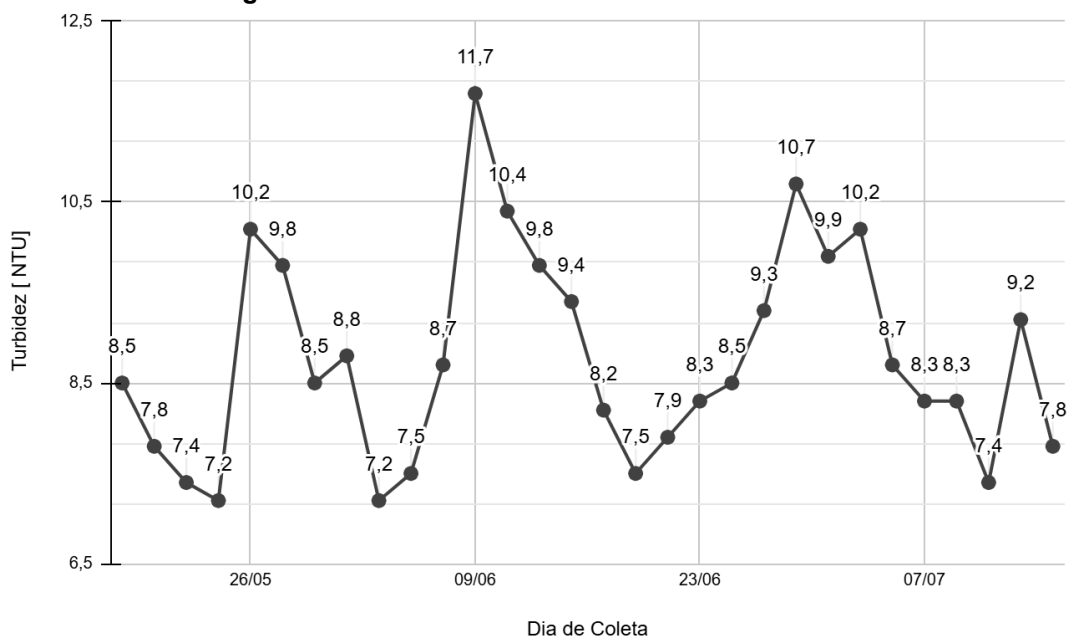
Os resultados referentes à análise laboratorial feita pela ACIEPE apontou que a água se enquadra na Classe 2 segundo a resolução 357 do CONAMA e não tem a presença de *E. Coli*.. Os estão dispostos na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11: Parâmetros obtidos pela ACIEPE

Turbidez [uT]	6,3
pH	5,6
Oxigênio Dissolvido [mg/L]	4,1
Coliformes totais [NMP/mL]	15
Coliformes Termotolerantes [NMP/m]	3,6 NMP/mL
Escherichia coli	0

Fonte: (Autorial)

Quanto à análise da variação da turbidez ao longo do tempo, os dados estão dispostos no gráfico da Figura 11 a seguir e pode se notar que eles variaram entre 7,2 e 11,7 NTU.

Figura 11: Gráfico com os valores de turbidez obtidos

Fonte: (Autoral)

A presença de coliformes na água amostrada foi muito baixa assim como a turbidez, para o tratamento em FiME, Di Bernardo em 1999 afirma que o tratamento é eficiente para águas superficiais com turbidez média de até 80 uT e coliformes de 100 NMP/mL .

Essas análises não preveem o comportamento da turbidez, dos coliformes, pH e OD ao longo das estações climáticas do ano. Através da continuidade da parceria da UFSCar - Lagoa do Sino através do CEPAE e a comunidade do Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema-SP será feito acompanhamento a respeito da qualidade da água.

6.2 PROJETO INICIAL DE CAIXAS D'ÁGUA PARA ETA POR FIME

6.2.1 Definição do esquema de tratamento

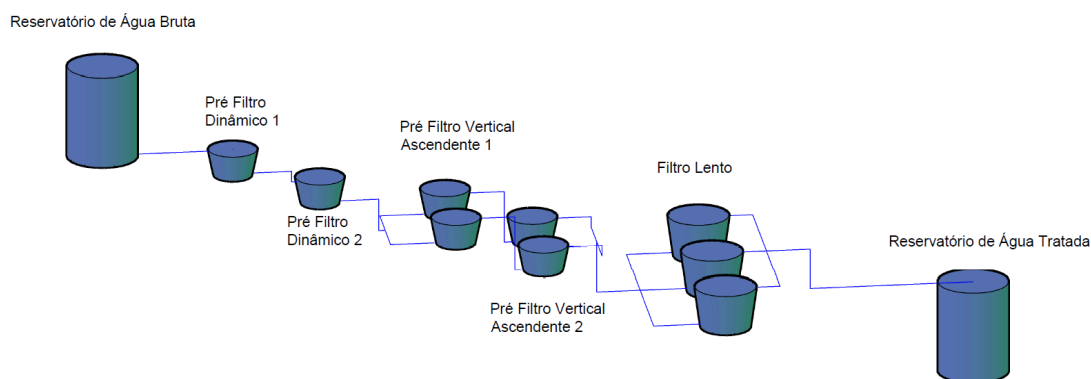
A partir dos dados coletados da qualidade da água e da demanda de 70m³/dia para abastecimento do Assentamento em sua totalidade, foi definido um esquema de tratamento em módulos, para que o funcionamento seja contínuo mesmo durante as manutenções dos filtros.

Para completar o sistema da ETA, foi elaborado um sistema com utilização de 2 reservatórios pulmão. Os reservatórios são apenas para passagem da água e não para armazenamento e distribuição, pois já estão presentes reservatórios com esta função no Assentamento. As estações elevatórias de água bruta e tratada

estão antes e depois da ETA respectivamente, e foram projetadas depois da decisão junto a comunidade do local exato de intenção de instalação da ETA.

O esquema 3D de tratamento incluindo as caixas d'água dos reservatórios, dos filtros e tubulações simplificadas está representado na Figura 13 a seguir a fim de facilitar o entendimento do funcionamento da ETA.

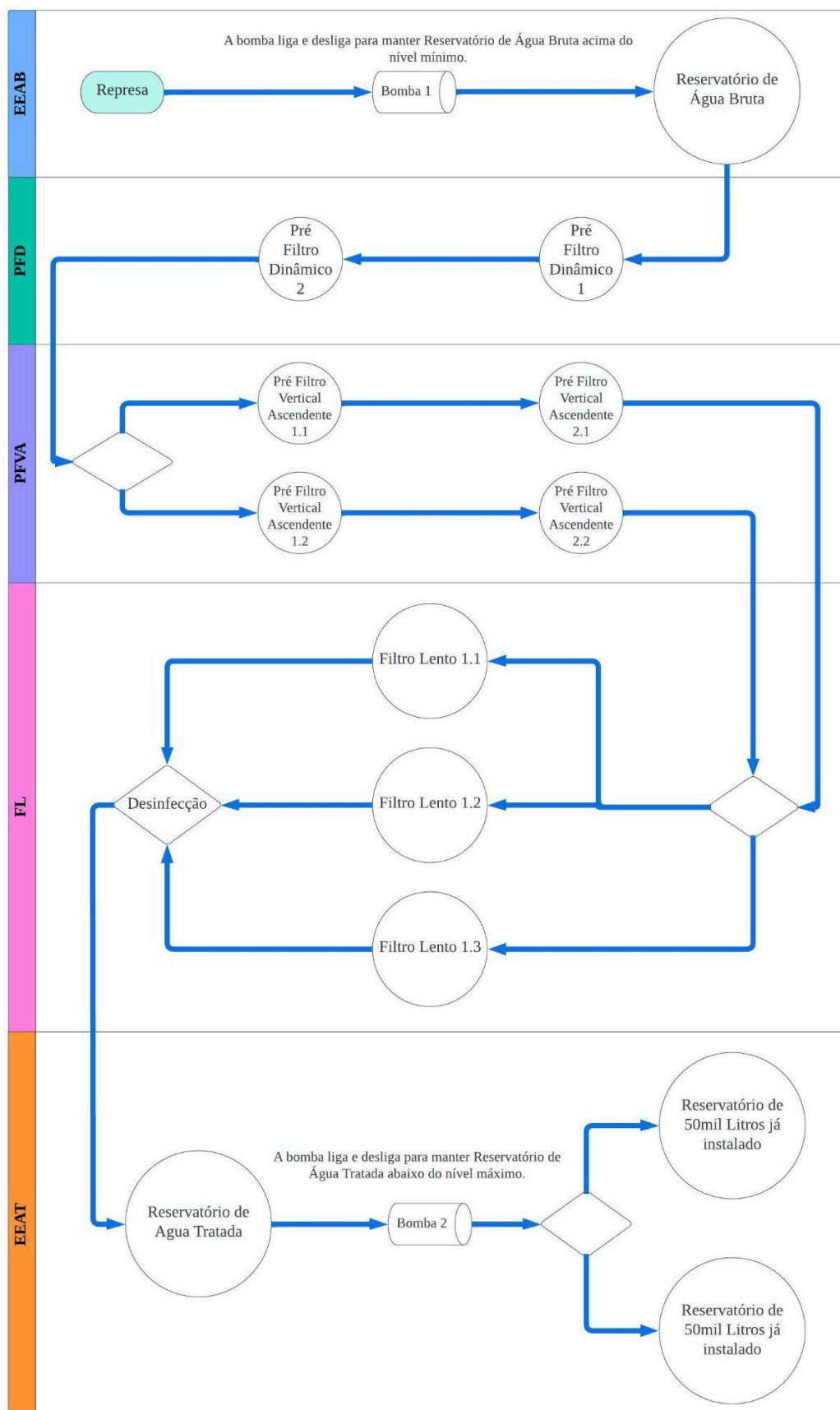
Figura 13: Esquema 3D dos reservatórios e tanques de filtração em caixa d'água



Fonte: (Autorial)

Na Figura 14 está um fluxograma contendo o caminho da água desde a Represa Jurumirim até os reservatórios elevados de 50 mil litros que já estão presentes no Assentamento com capacidade de distribuição para todos os lotes. Pode-se ver que foram adotadas duas etapas de pré filtração, pré filtração dinâmica e pré filtração vertical ascendente, e após a filtração lenta é feita a desinfecção com cloro.

Figura 14: Fluxograma das etapas de filtração e elevação da água



Fonte: (Autorial)

6.2.2 Dimensionamento dos Filtros

Para a diferença das alturas piezométricas entre cada etapa para o funcionamento via gravidade do tratamento de água no sistema, adotou-se como linha d'água do Reservatório de Água Bruta como sendo o nível mínimo e o do Reservatório de Água Tratada o nível máximo, já que seus níveis variam conforme o funcionamento das estações elevatórias. Foi definido a diferença de altura de acordo com Veras em 1999, de 50cm a cada tanque.

Os filtros estão dispostos em figuras em escala, com especificações de material de suporte e altura das camadas, estão também dispostas tabelas com informações pertinentes de cada filtro, como diferença de altura de linha d'água, e área superficial de cada tanque. As vazões obtidas estão dispostas como faixa de vazão eficiente e deriva da relação entre área superficial e intervalo de taxa de vazão eficiente.

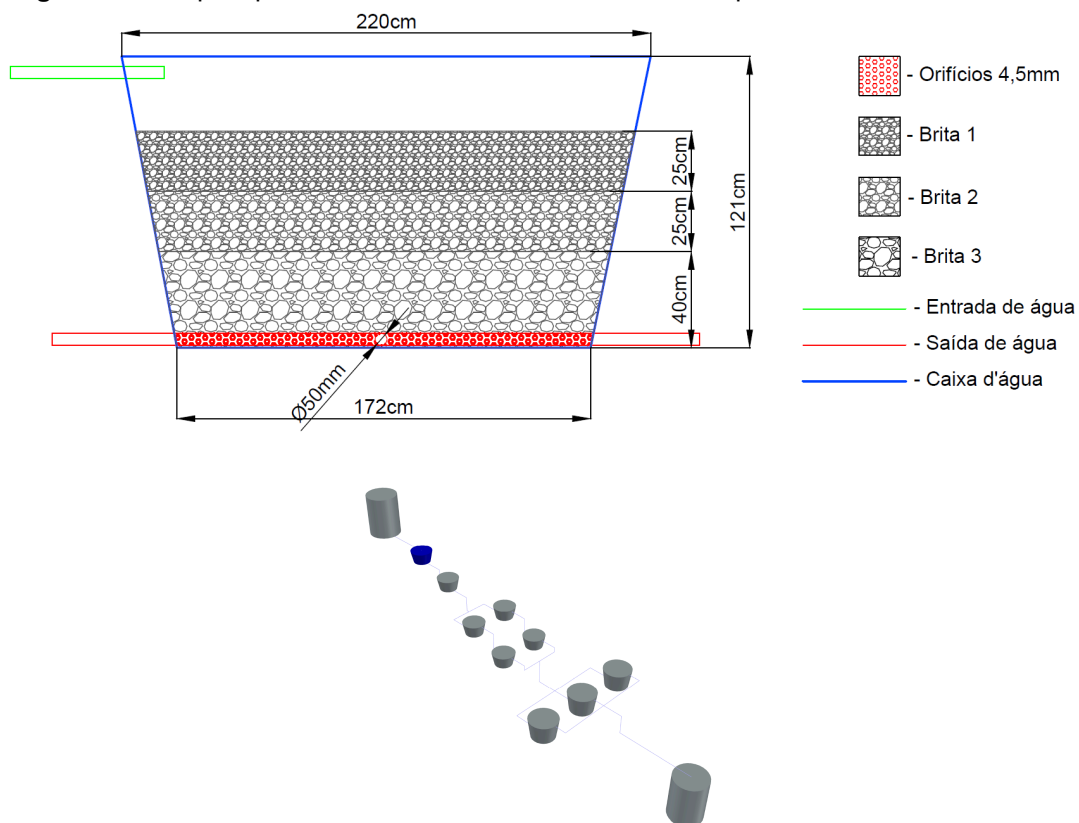
Em cada tópico estão dispostas figuras contendo croquis representativos mostrando as alturas das camadas de material de suporte, os materiais de suporte, as especificações dos drenos e o posicionamento da etapa em relação ao todo. Estão dispostas também tabelas com dados pertinentes do dimensionamento.

É importante ressaltar que a adaptação do projeto feita posteriormente mantém as definições estabelecidas nas figuras e tabelas a seguir, alterando somente o formato dos tanques.

6.2.2.1 Pré Filtro Dinâmico (PFD)

6.2.2.1.1 PFD-1

Figura 15: Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do PFD-1



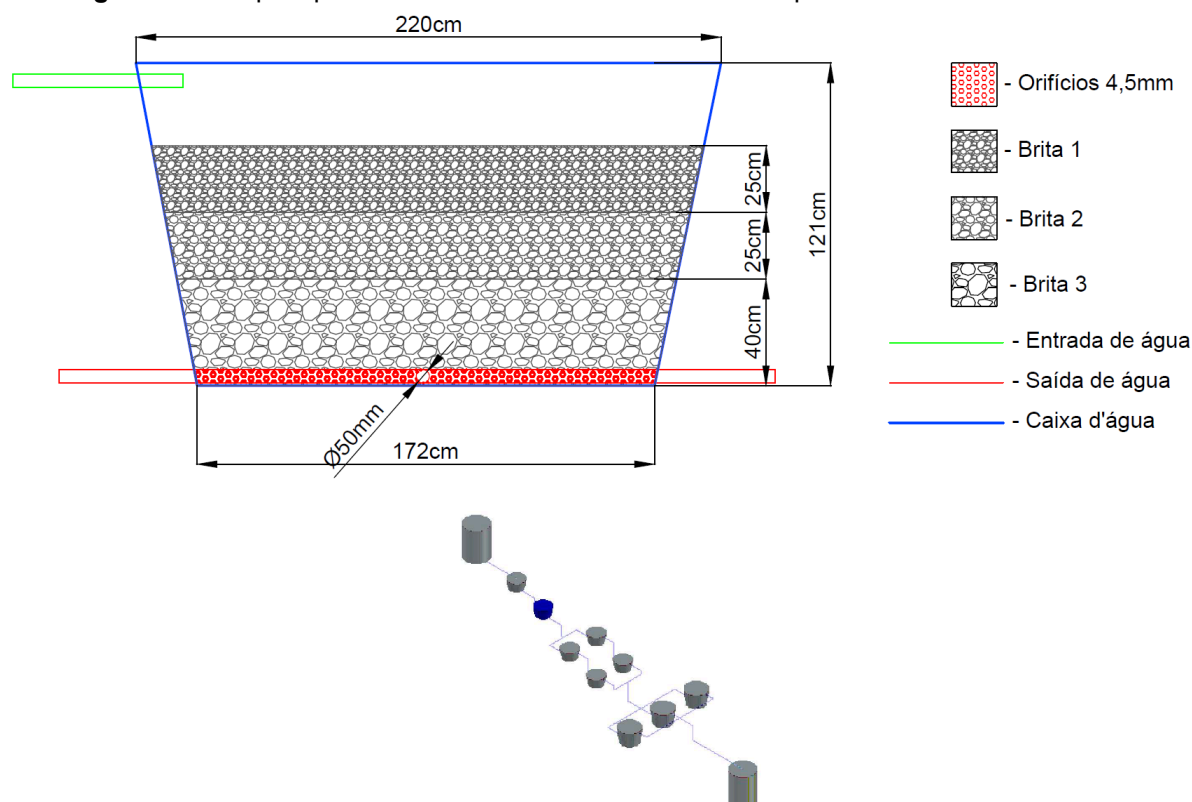
Fonte: (Autoral)

Tabela 12: Dimensionamento Pré Filtro Dinâmico 1 (PFD-1)

Intervalo de taxa de vazão eficiente [m ³ /m ² .dia] (VERAS, 1999)	de 30 até 48
Altura mínima da linha d'água [m]	1
Sentido do fluxo d'água	Descendente
Comprimentos dos tubos de saída [m]	0,5
Diâmetro dos tubos de saída [mm]	50
Diâmetros dos orifícios nos tubos de saída [mm]	4,5
Número de tubos de saída de água	4
Altura mínima da caixa d'água [m]	1,1
Volume da caixa d'água escolhida [L]	3000
Área superficial da caixa d'água [m ²]	2,32
Quantidade de módulos	1
Faixa de vazão eficiente [m ³ /dia]	de 70 até 112

Fonte: (Autoral)

6.2.2.1.2 PFD-2

Figura 16: Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do PFD-2

Fonte: (Autorial)

Tabela 13: Dimensionamento Pré Filtro Dinâmico 2 (PFD-2)

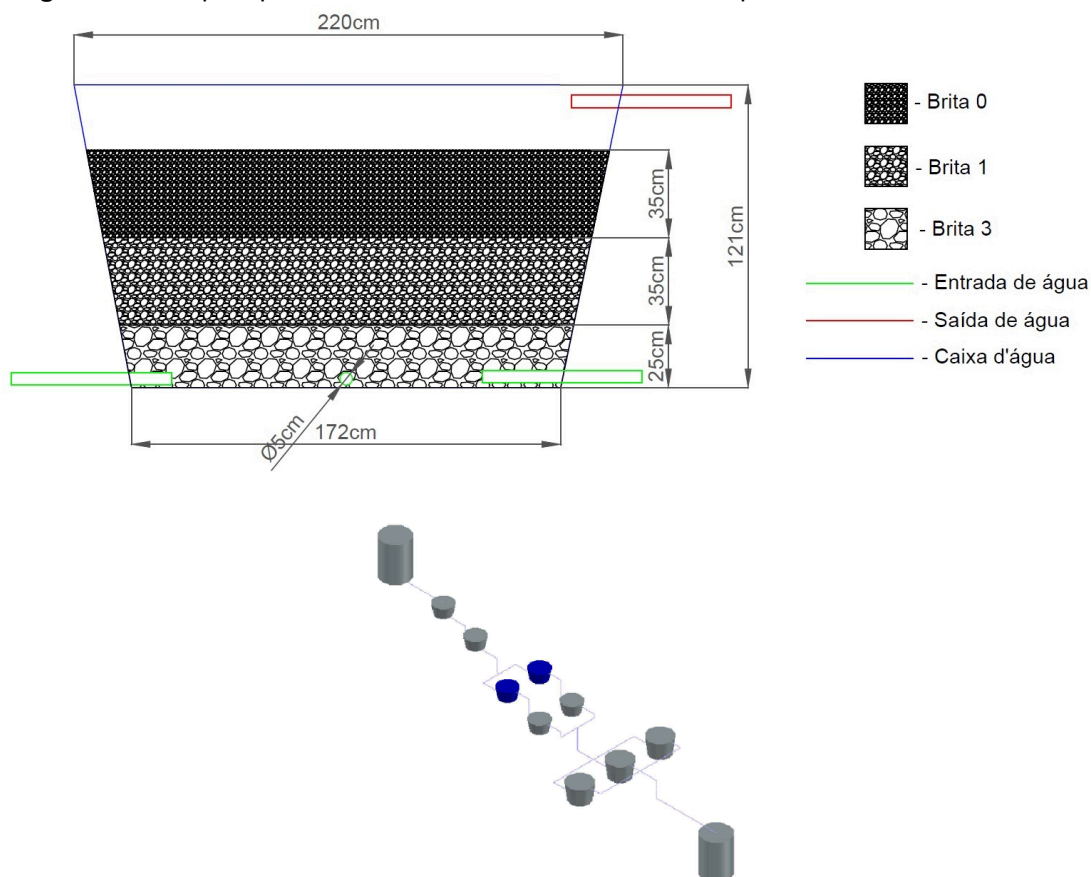
Intervalo de taxa de vazão eficiente [$m^3/m^2 \cdot dia$] (VERAS, 1999)	de 30 até 48
Altura Mínima da linha d'água [m]	1
Sentido do fluxo d'água	Descendente
Comprimentos dos tubos de saída [m]	0,5
Diâmetro dos tubos de saída [mm]	50
Diâmetros dos orifícios nos tubos de saída [mm]	4,5
Número de tubos saída de água	4
Altura Mínima da caixa d'água [m]	1,1
Volume da caixa d'água escolhida [L]	3000
Área superficial da caixa d'água [m^2]	2,32
Quantidade de módulos	1
Faixa de vazão eficiente [m^3/dia]	de 70 até 112

Fonte: (Autorial)

6.2.2.2 Pré Filtro de fluxo Vertical Ascendente (PFVA)

6.2.2.2.1 PFVA-1

Figura 17: Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do PFVA-1



Fonte: (Autorial)

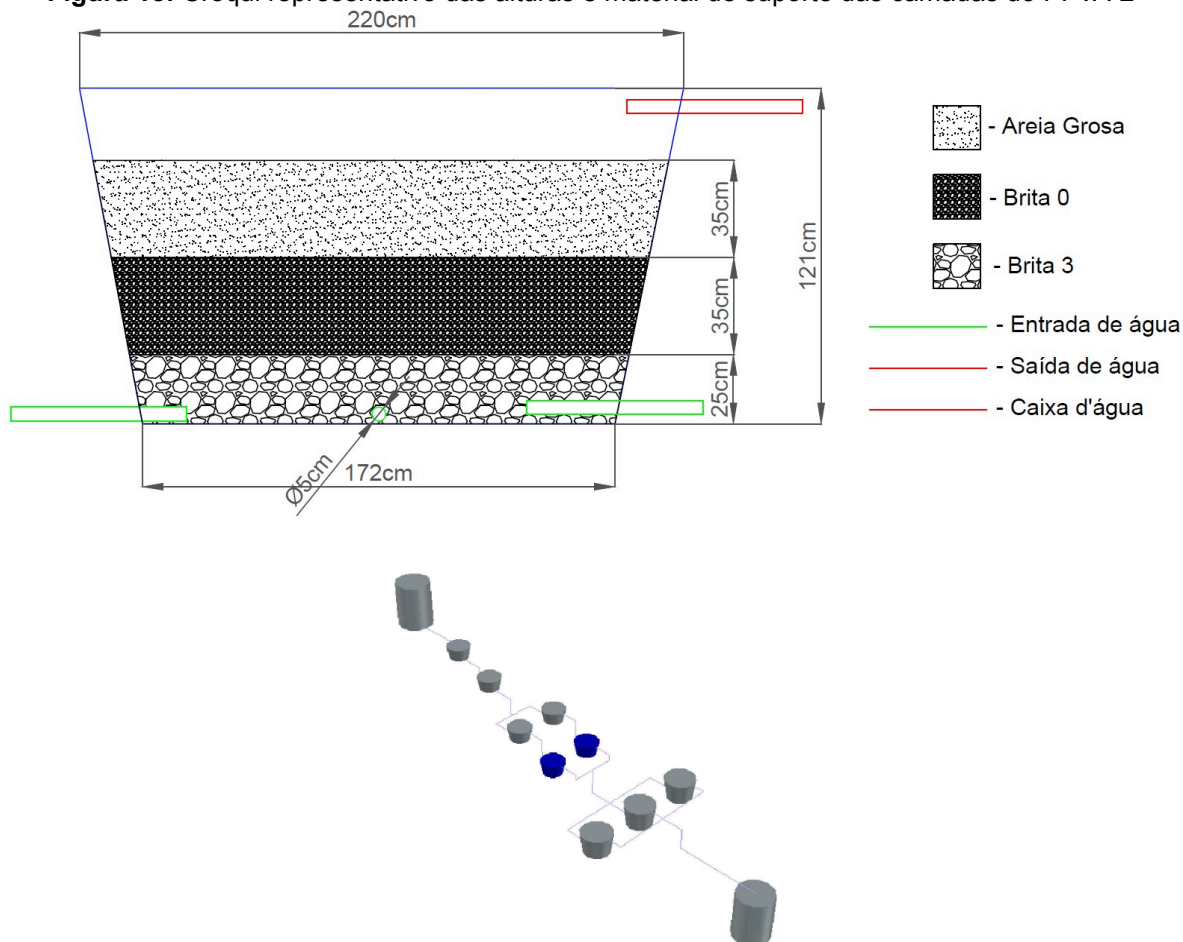
Tabela 14: Dimensionamento Pré Filtro Vertical Ascendente 1 (PFVA-1)

Intervalo de taxa de vazão eficiente[m ³ /m ² .dia] (VERAS, 1999)	de 10 até 18
Altura Mínima da linha d'água [m]	1,1
Sentido do fluxo d'água	Ascendente
Altura Mínima da caixa d'água [m]	1,2
Volume da caixa d'água escolhida [L]	3000
Área superficial da caixa d'água [m ²]	2,32
Quantidade de módulos	2
Faixa de vazão eficiente [m ³ /dia]	de 23 até 42
Faixa de vazão eficiente total [m ³ /dia]	de 46 até 84

Fonte: (Autorial)

6.2.2.2.2 PFVA-2

Figura 18: Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do PFVA-2



Fonte: (Autoral)

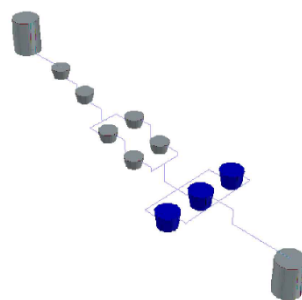
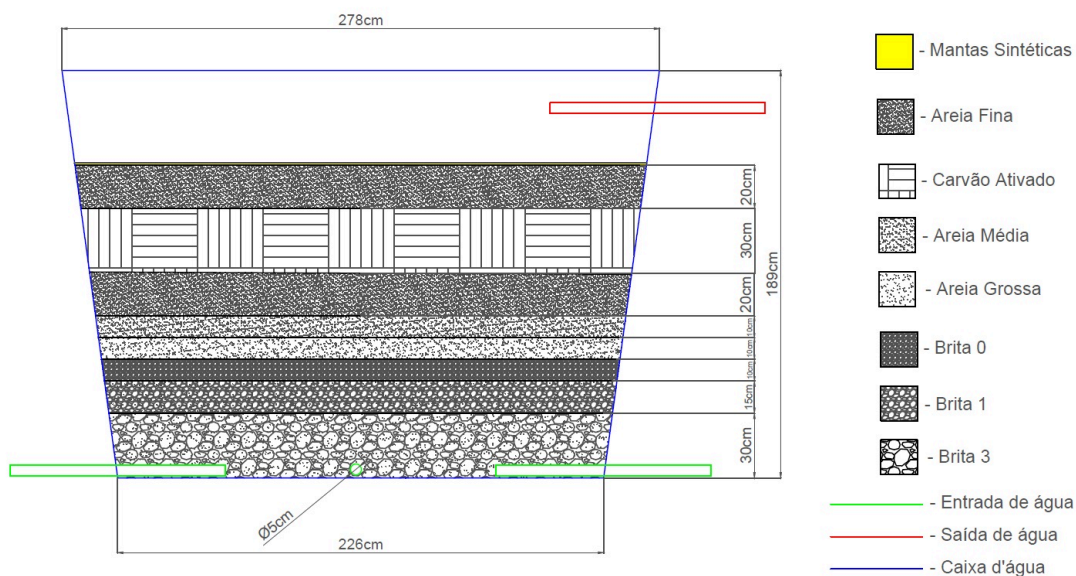
Tabela 15: Dimensionamento Pré Filtro Vertical Ascendente 2 (PFVA-2)

Intervalo de taxa de vazão eficiente[m ³ /m ² .dia] (VERAS, 1999)	de 10 até 18
Altura Mínima da linha d'água [m]	1,1
Fluxo d'água	Ascendente
Altura Mínima da caixa d'água [m]	1,2
Volume da caixa d'água escolhida [L]	3000
Área superficial da caixa d'água [m ²]	2,32
Quantidade de módulos	2
Faixa de vazão eficiente [m ³ /dia]	de 23 até 42
Faixa de vazão eficiente total [m ³ /dia]	de 46 até 84

Fonte: (Autoral)

6.2.2.3 Filtro Lento (FL)

Figura 19: Croqui representativo das alturas e material de suporte das camadas do FL



Fonte: (Autoral)

Tabela 16: Dimensionamento Filtro Lento (FL)

Intervalo de taxa de vazão eficiente[m ³ /m ² .dia] (VERAS, 1999)	de 3 até 6
Altura Mínima da linha d'água [m]	1,7
Fluxo d'água	Ascendente
Altura Mínima da caixa d'água [m]	1,75
Volume da caixa d'água escolhida [L]	7500
Área superficial da caixa d'água [m ²]	6,07
Quantidade de módulos	3
Faixa de vazão eficiente [m ³ /dia]	de 18 até 36
Faixa de vazão eficiente total [m ³ /dia]	de 54 até 108

Fonte: (Autoral)

6.3 Adaptação ao local de instalação e dimensionamento das estações elevatórias

Nas assembléias e reuniões a respeito da ETA, foi definido juntamente com a comunidade do assentamento o local preciso de instalação da ETA. Assim pode-se calcular as distâncias e alturas manométricas que as bombas a serem utilizadas no sistema. Através do tempo de funcionamento das bombas por dia pôde-se estimar o custo energético da ETA quanto ao bombeamento de água bruta e tratada.

6.3.1 Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)

Foi definido em conjunto com a comunidade do assentamento, representada por Valter Nunes durante as assembleias, o local exato de instalação de uma futura ETA. O ponto de captação estabelecido fica a aproximadamente 337m de distância do ponto mais alto do espaço reservado para ETA e os dados da simulação pelo EPANET 2.2 se encontram no Anexo 1.

A Figura 20 a seguir apresenta um mapa com a tubulação e a área reservada para instalação da ETA e na Tabela 17 a seguir pode-se verificar maiores informações dos dados e resultados obtidos no dimensionamento, estabelecendo a potência da bomba a ser utilizada na EEAB e seu tempo diário de funcionamento estando abaixo de 8h por dia como intervalo de segurança

Figura 20: Mapa representativo da Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)



Fonte: (Autorial)

DTabela 17: Dimensionamento da Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB)

Cota do ponto de captação [m]	555
Cota do Reservatório de Água Bruta [m]	582
Comprimento da tubulação [m]	337
Altura manométrica [m]	42
Diâmetro da tubulação [mm]	60
Volume de Reservatório de Água Bruta [L]	30.000
Altura do Reservatório de Água Bruta [m]	4,23
Potência da bomba [CV]	3
Vazão de projeto [L/s]	3,72
Horas de bomba ligada por dia aproximadamente	5h

Fonte: (Autorial)

6.3.2 Estação Elevatória de Água Tratada (EEAT)

Para o dimensionamento da ETA levou em consideração apenas um dos dois reservatórios elevados de 50mil litros já existentes, o mais distante e com maior diferença de altura em relação à altura da área reservada para ETA pela comunidade do assentamento. Os dados da simulação pelo EPANET 2.2 se encontram no Anexo 1.

A EEAT têm maior diferença de altura e distância. A Figura 21 a seguir apresenta um mapa com a tubulação e a área reservada para instalação da ETA e na Tabela 18 a seguir pode-se verificar maiores informações dos dados e resultados obtidos no dimensionamento,, estabelecendo a potência da bomba a ser utilizada na EEAT.

Tabela 18: Dimensionamento da Estação Elevatória de Água tratada (EEAT)

Cota do do Reservatório de Água Tratada [m]	569,5
Cota do Reservatório Elevado [m]	611
Comprimento da tubulação [m]	2.000
Altura manométrica [m]	57
Diâmetro da tubulação [mm]	50
Volume de Reservatório de Água Tratada [L]	30.000
Potência da bomba [CV]	5
Vazão de projeto [L/s]	2,71
Horas de bomba ligada por dia aproximadamente	7h

Fonte: (Autorial)

Figura 21: Mapa representativo da Estação Elevatória de Água Tratada



Fonte: (Autorial)

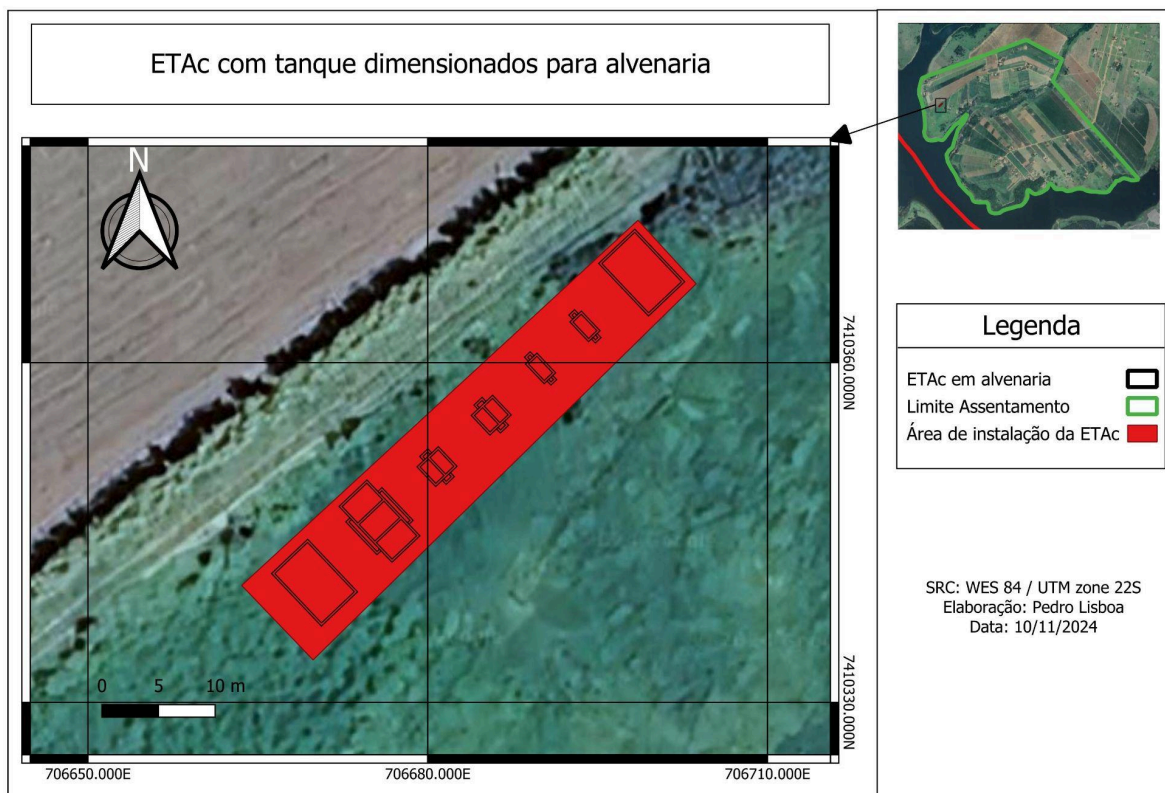
6.4 ADAPTAÇÃO AO MODELO USANDO TANQUES DE ALVENARIA COMO ALTERNATIVA ÀS CAIXAS D'ÁGUA

Para o modelo em alvenaria, foram mantidas as camadas de suporte traçadas no projeto inicial, assim como a diferença de altura entre cada etapa de reserva e tratamento da água. Usando a área superficial das caixas d'água para relacionar com o intervalo de vazão eficiente para cada modelo de filtro em $m^3/m^2.dia$.

A partir da área superficial de cada filtro estabelece-se a proporção de do dobro de comprimento em relação à largura, como indicado por Di Bernardo em 1999. As entradas e saídas projetadas em tubulações não se encaixam no sistema de alvenaria, logo terão funcionamento com uso de fundo falso e caixas de entrada e saída.

O esquema de funcionamento em vista aérea está disposto em escala na Figura 22 a seguir e foi definido uma distância de 4 metros entre cada etapa da estação, ficando a diferença de nível a ser corrigida na hora da instalação. Estando o RAB a noroeste da estação, as etapas de pré-filtração, filtração e RAT no final a sudoeste.

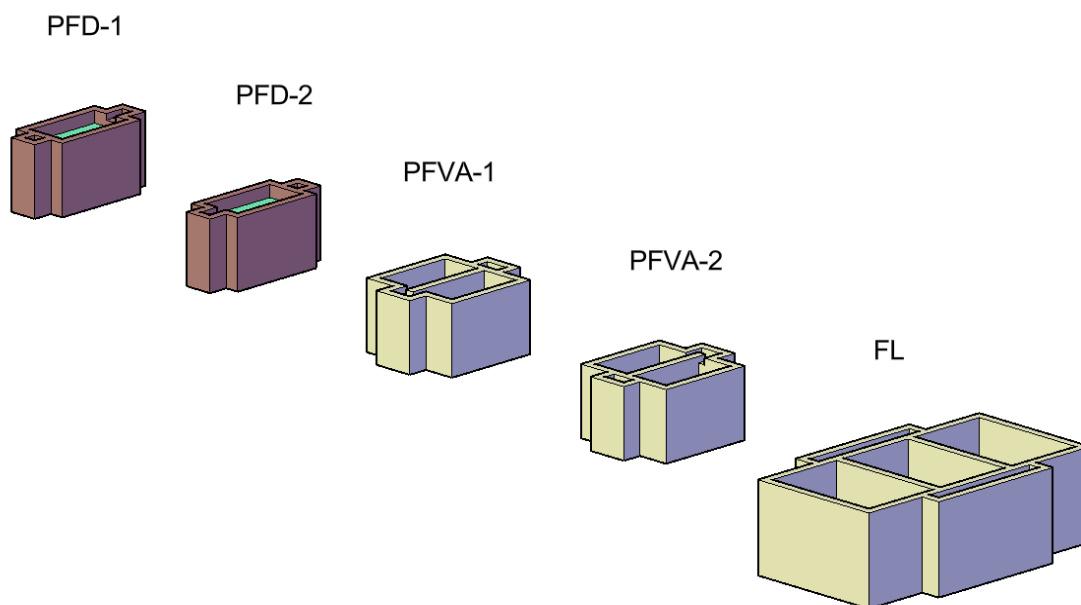
Figura 22: Vista aérea dos reservatórios e tanques de filtração em alvenaria



Fonte: (Autorial)

Foi estabelecido uma espessura de 20cm para as paredes de alvenaria dos tanques e um esquema 3D das etapas de tratamento com tanques de alvenaria em escala estão dispostos na Figura 23, e na Tabela 18 pode-se verificar o volume dos tanques de filtração e quantidades de módulos por etapa.

Figura 23: Esquema 3D dos tanques de filtração em alvenaria



Fonte: (Autorial)

Tabela 18: Dimensões dos tanques de filtração para cada etapa da FiME sugerida em alvenaria

	Comprimento [m]	Largura [m]	Altura [m]	Quantidade de Módulos
PFD-1	2	1	1,5	1
PFD-2	2	1	1,5	1
PFVA-1	2	1	1,5	2
PFVA-2	2	1	1,5	2
FL	3	2	2	3

Fonte: (Autoral)

7 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da caracterização da água bruta da Represa Jurumirim e levantamento da demanda de água do Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema-SP foi possível definir um modelo de tratamento através de FiME constituído por caixas d'água.

A comunicação direta com a comunidade e a liderança do Assentamento possibilitou a compreensão do funcionamento da ETA por FiME e as alternativas dentro desse modelo para implementação. Através da troca de saberes com a comunidade foi verificado que a facilidade na arrecadação de material de construção de alvenaria em relação aos modelos de caixa d'água sugeridos.

Juntamente com a comunidade foi decidido um local de comum acordo, em uma área coletiva da Associação do Assentamento, para instalação da ETA possibilitando cálculos precisos e dimensionamento de duas estações elevatórias com uso de reservatórios pulmão.

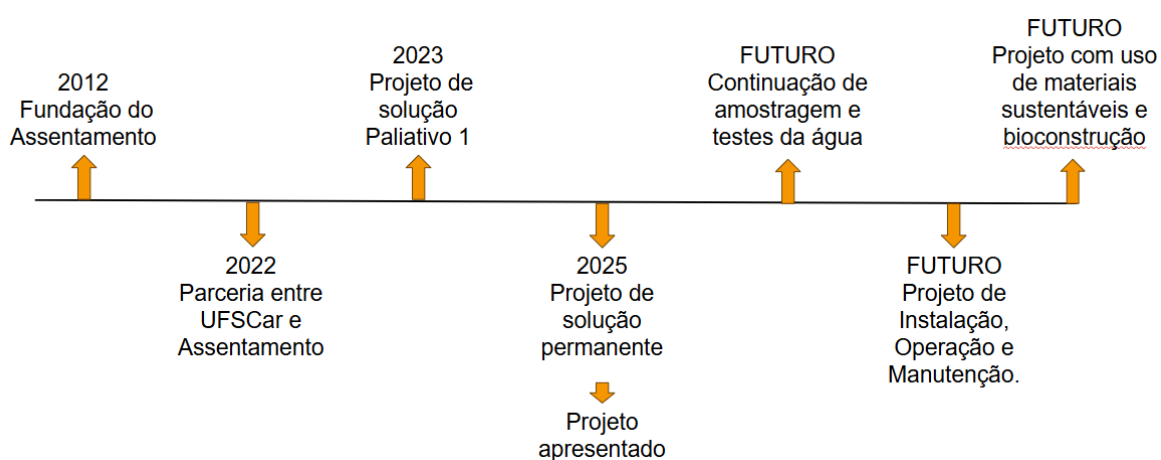
Foram realizados projetos anteriores do CEPAE junto ao Assentamento no sentido de solucionar a falta de acesso à água potável e o dado projeto é parte integrante de um conjunto de projetos dentro desta parceria.

Para alcançar o objetivo de levar água potável ao Assentamento Rural Bela Vista Paranapanema - SP é recomendado a viabilização de um projeto que acompanhe a qualidade da água no ponto de captação e a altura da linha d'água dentro da Represa Jurumirim de maneira contínua para melhor entendimento do comportamento do corpo d'água.

É recomendado também a parceria com construtoras e equipes de construção civil para viabilizar a construção e instalação das etapas da ETA seguindo os parâmetros dados no atual projeto.

A elaboração de projetos relacionados ao uso de materiais alternativos e com viés ambiental e sustentável tanto nas etapas de pré-filtração quanto na etapa de filtração lenta.

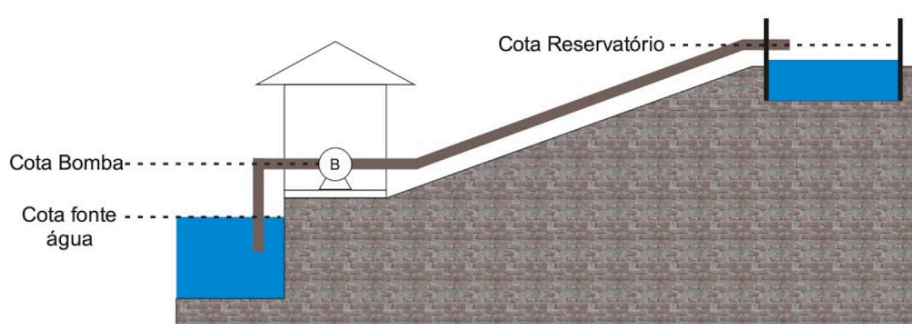
E por fim é recomendado a elaboração de um manual de manutenção e operação do sistema de ETA sugerido, assim como a viabilização da coleta e análise da água antes e depois de cada etapa da ETA.



ANEXO 1

Memorial de Cálculo e dados das simulações no EPANET

1. Estação elevatória de água Bruta



a. Dimensionamento da tubulação

Fórmula de Bresse

$$D_c = K_o \cdot \left(\frac{N}{24}\right)^{0,25} \cdot \sqrt{Q_b}$$

Em que:

D_c = Diâmetro econômico (m)

K_o = Constante econômica de Bresse (de 0,8 a 1,3)

N = Número de horas por dia de funcionamento da bomba

Q_b = Vazão (m^3/s)

Tendo em vista uma previsão de 5 horas de funcionamento da bomba, a vazão estimada para atingir $70 m^3$ por dia corresponde a $0,00388 m^3/s$. Assim, adotando o coeficiente K_o como 1,3 (mais ajustado à segurança do projeto), o diâmetro econômico dimensionado foi $0,055 m$, sendo mais adequado à medida de $60mm$ nas tubulações disponíveis no mercado.

b. Balanço energético

Equação de Bernoulli

$$\frac{P_o}{\gamma} + \frac{V_o^2}{2g} + z_o = \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} + z_i - h_L + h_S$$

Em que:

P/γ = Cargas de pressão iniciais e finais (m)

$V^2/2g$ = Cargas cinéticas iniciais e finais (m)

z = Cotas iniciais e finais (m)

h_L = Perdas de carga (m)

h_S = Altura manométrica da bomba (m)

Uma vez que o sistema consiste em um recalque simples de estação elevatória, o balanço energético resultante se resume a:

$$z_o = z_i - h_L + h_S$$

Em que:

$Z_o = 555$ m (cota da represa)

$Z_i = 586$ m (cota do topo do reservatório)

h_L = Perda de carga total (distribuída + localizada)

h_S = Altura manométrica da bomba (m)

c. Perda de carga distribuída

Equação de Hazen-Willians

$$h = 10,674 \cdot \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,871}} \cdot L$$

Em que:

h = Perda de carga distribuída (m)

Q = Vazão (0,00388 m³/s)

C = Coeficiente adimensional do material da tubulação (PVC = 140)

D = Diâmetro da tubulação (0,06 m)

L = Comprimento da tubulação (340 m)

d. Perda de carga localizada

Métodos dos coeficientes (K)

$$hf = \sum K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Em que:

hf = Perda de carga localizada (m)

V = velocidade de escoamento (m/s)

K = Coeficiente dos acessórios hidráulicos (adn)

g = aceleração da gravidade (9,8 m/s²)

Tabela 1 - Coeficientes de perda localizada dos acessórios

Acessórios/peças	Coeficientes (K)	Quantidade
Sucção (300mm)		
Curva de 90°	1,5	1
Total	3,25	
Recalque (250mm)		
Valvula de retenção	20	1
Registro de Gaveta	0,2	1
Curvas de 90°	1,5	2
Total	23,2	

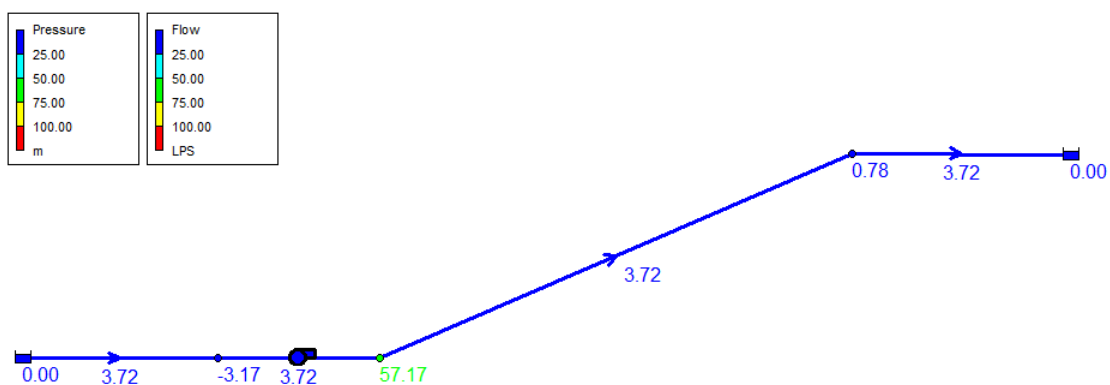
Após a reunião das informações sobre as perdas de carga do sistema, elaborou-se a curva do sistema, que consiste na somatória das parcelas energéticas, variando em relação a diferentes valores de vazão, a fim de determinar a altura manométrica (H_{man}) necessária para escolha da bomba. A tabela a seguir traz a curva do sistema.

Curva do sistema

Q(m³/s)	HL(distribuída)	HL(localizada)	Hg	Hman
0,0005	0,2703893473	0,08	31	31,347150
0,0006	0,378856622	0,11	31	31,489392
0,0007	0,5038792143	0,15	31	31,654330

0,0008	0,6450769819	0,20	31	31,841584
0,0009	0,8021280652	0,25	31	32,050832
0,001	0,9747540974	0,31	31	32,281796
0,002	3,513990325	1,23	31	35,742158
0,003	7,439939272	2,76	31	41,203317
0,004	12,66794162	4,91	31	48,580613
0,005	19,14209986	7,68	31	57,818149

O modelo do sistema foi avaliado pelo *software* EPANET 2.2, de modo a considerar uma bomba de 5cv para seu funcionamento, conforme já estabelecido previamente ao projeto. A ilustração a seguir mostra a modelagem e os resultados obtidos, seguida do relatório reportado pelo programa.



Page 1 10/16/2024 12:59:31 AM

```

+-----+
+             E P A N E T             +
+   Hydraulic and Water Quality       +
+   Analysis for Pipe Networks       +
+             Version 2.2             +
+-----+

```

Link - Node Table:

Link ID	Start Node	End Node	Length m	Diameter mm
1	1	3	15	50
3	4	5	340	50
4	5	2	10	50
2	3	4	#N/A	#N/A Pump

Energy Usage:

Pump	Usage Factor	Avg. Effici.	Kw-hr /m3	Avg. Kw	Peak Kw	Cost /day
2	100.00	75.00	0.22	2.93	2.93	49.28
Demand Charge:						0.00
Total Cost:						49.28

Node Results:

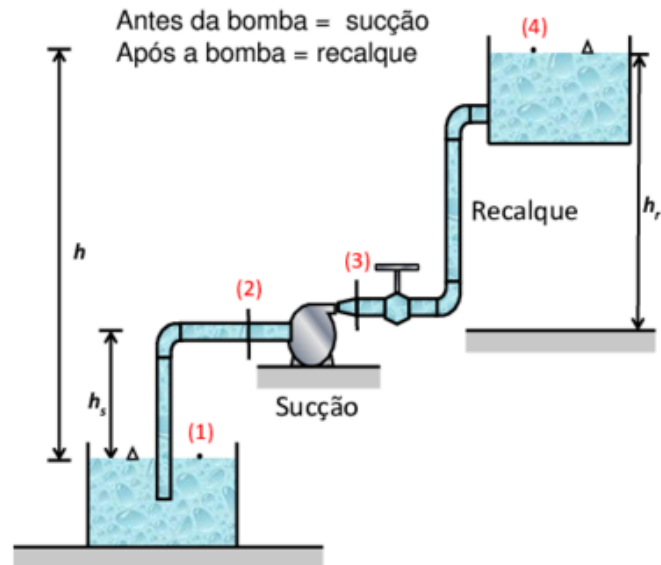
Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
3	0.00	553.83	-3.17	0.00
4	0.00	614.17	57.17	0.00
5	0.00	586.78	0.78	0.00
1	-3.72	555.00	0.00	0.00 Reservoir
2	3.72	586.00	0.00	0.00 Reservoir

Link Results:

Link ID	Flow LPS	Velocity m/s	Headloss m/km	Status
1	3.72	1.89	77.86	Open
3	3.72	1.89	80.55	Open
4	3.72	1.89	77.87	Open

Utilizando uma bomba de 3cv, a previsão do modelo aponta uma vazão de 3,72 L/s, sendo suficiente para atingir o volume de 30 m³ em menos de 2 horas.

2. Estação elevatória de água tratada



a. Dimensionamento da tubulação

Fórmula de Bresse

$$D_c = K_o \cdot \left(\frac{N}{24}\right)^{0,25} \cdot \sqrt{Q_b}$$

Em que:

D_c = Diâmetro econômico (m)

K_o = Constante econômica de Bresse (de 0,8 a 1,3)

N = Número de horas por dia de funcionamento da bomba

Q_b = Vazão (m^3/s)

Tendo em vista uma previsão de 8 horas de funcionamento da bomba, a vazão estimada para atingir $70 m^3$ por dia corresponde a $0,00243 m^3/s$. Assim, adotando o coeficiente K_o como 1,3 (mais ajustado à segurança do projeto), o diâmetro econômico dimensionado foi $0,049 m$, sendo equivalente à medida de $50mm$ nas tubulações disponíveis no mercado.

b. Balanço energético

Equação de Bernoulli

$$\frac{P_o}{\gamma} + \frac{V_o^2}{2g} + z_o = \frac{P_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} + z_i - h_L + h_S$$

Em que:

P/γ = Cargas de pressão iniciais e finais (m)

$V^2/2g$ = Cargas cinéticas iniciais e finais (m)

z = Cotas iniciais e finais (m)

h_L = Perdas de carga (m)

h_S = Altura manométrica da bomba (m)

Uma vez que o sistema consiste em um recalque simples de estação elevatória, o balanço energético resultante se resume a:

$$z_o = z_i - h_L + h_S$$

Em que:

$Z_o = 577$ m

$Z_i = 625$ m

h_L = Perda de carga total (distribuída + localizada)

h_S = Altura manométrica da bomba (m)

c. Perda de carga distribuída

Equação de Hazen-Williams

$$h = 10,674 \cdot \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,871}} \cdot L$$

Em que:

h = Perda de carga distribuída (m)

Q = Vazão (0,00243 m³/s)

C = Coeficiente adimensional do material da tubulação (PVC = 140)

D = Diâmetro da tubulação (0,05 m)

L = Comprimento da tubulação (2000 m)

d. Perda de carga localizada

Métodos dos coeficientes (K)

$$hf = \sum K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Em que:

hf = Perda de carga localizada (m)

V = velocidade de escoamento (m/s)

K = Coeficiente dos acessórios hidráulicos (adn)

g = aceleração da gravidade (9,8 m/s²)

Coeficientes de perda localizada dos acessórios

Acessórios/peças	Coeficientes (K)	Quantidade
Sucção (mm)		
Válvula Pé e Crivo	1,75	1
Curva de 90°	1,5	1
Total	3,25	
Recalque (250mm)		
Válvula de retenção	20	1
Registro de Gaveta	0,2	1
Curvas de 90°	1,5	3
Curva de 45°	0,2	7
Total	26,1	

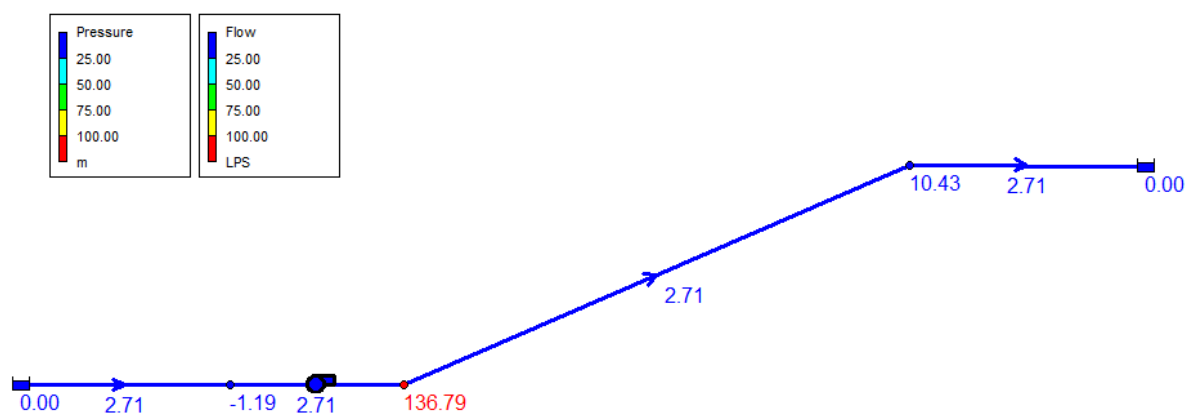
Após a reunião das informações sobre as perdas de carga do sistema, elaborou-se a curva do sistema, que consiste na somatória das parcelas energéticas, variando em relação a diferentes valores de vazão, a fim de determinar a altura manométrica (H_{man}) necessária para escolha da bomba. A tabela a seguir traz a curva do sistema.

Curva do sistema

Q(m ³ /s)	HL _{distribuída} (m)	HL _{localizada} (m)	Hg (m)	H _{man}
0,0005	3,86503405	0,09	48	51,951390
0,0006	5,415500865	0,12	48	53,539853
0,0007	7,202614821	0,17	48	55,371872

0,0008	9,220942041	0,22	48	57,442012
0,0009	11,46588176	0,28	48	59,745674
0,001	13,9334549	0,35	48	62,278877
0,002	50,23013071	1,38	48	99,611820
0,003	106,3489331	3,11	48	157,457733
0,004	181,0797142	5,53	48	234,606470
0,005	273,6234562	8,64	48	330,259012

O modelo do sistema foi avaliado pelo *software* EPANET 2.2, de modo a considerar uma bomba de 5cv para seu funcionamento, conforme já estabelecido previamente ao projeto. A ilustração a seguir mostra a modelagem e os resultados obtidos, seguida do relatório reportado pelo programa.



Page 1

10/15/2024

3:34:42 PM

```

*****
*
*           E       P       A       N       E       T
*
*           Hydraulic       and       Water       Quality
*           *
*           Analysis       for       Pipe       Networks
*           *
*           Version 2.2
*

```

**

```
-----
--
Link          Start      End          Length  Diameter
ID           Node       Node         m        mm
-----
--
  1           1         3            5         50
  3           4         5           2000      50
  4           5         2            10         50
  2           3         4           #N/A
```

#N/A Pump

Energy Usage:

```
-----
--
                Usage   Avg.   Kw-hr   Avg.   Peak
Cost           Factor  Effic. /m3    Kw    Kw    /day
Pump
-----
--
  2           100.00  75.00   0.50   4.89   4.89
82.21
```

```
-----
--
                                Demand Charge:
                                0.00
```

Total Cost:
82.21

Node Results:

```
-----
--
Node          Demand   Head  Pressure  Quality
ID           LPS      m      m
-----
--
  3           0.00  576.81   -1.19   0.00
  4           0.00  714.79  136.79   0.00
  5           0.00  625.43   10.43   0.00
  1          -2.71  577.00    0.00   0.00 Reservoir
  2           2.71  625.00    0.00   0.00 Reservoir
```

Link Results:

Link ID	Flow LPS	Velocity m/s	Unit m/km	Headloss	Status
1	2.71	1.38	38.20		Open
3	2.71	1.38	44.68		Open
4	2.71	1.38	43.41	Open	
2	2.71	0.00	-137.98		Open Pump

A previsão do modelo aponta uma vazão de 2,71 L/s, sendo suficiente para atingir o volume de 70 m³/dia de abastecimento.

REFERÊNCIAS

APHA, Standard Methods for the examination of Water and Wastewater – SMEWW. American Public Health Association – APHA, 22th ed., Washington – USA, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 11799:2016. Material filtrante - Areia, antracito e pedregulho** 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216: **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1992

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. Manual de hidráulica. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 **“Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”**, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. 1a edição ed. Brasília, 2019.

BRASIL. Lei n. 601, de 18 de setembro de 1850. **Dispõe sobre as terras devolutas do Império**

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989**. Brasília, 1997

CASTRO, L. F. P.; IGREJA, R. L. **Estrangeirização de Terras na Perspectiva das**

Formas de Colonialidade no Agro Latino-Americano. Revista de Estudos e Pesquisas sobre as Américas, v. 11, p. 164-179, 2017

CASTRO, L. F. P.; IGREJA, R. L. **Terra e colonialismo: Marcos de apropriação privada de terras no Brasil e na Colômbia.** Revista Brasileira de Sociologia do Direito, v. 8 n. 1, 2021

DI BERNARDO, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas.** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água.** São Carlos–SP: Ed. LDiBe, v. 1, p. 817-1016, 2008.

EMBRAPA. **Disponibilidade de água e a Gestão dos Recursos Hídricos.** Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/159648/1/OPB1514.pdf> acesso 01/05/2024

FORTLEV. **Catálogo de produtos.** Fortlev, 2020. 51 p. Disponível em: https://www.fortlev.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Catalogo_Produtos_Fortlev_MINI.pdf. Acesso em: 8 out. 2024.

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

GALVIS, G., Latorre, J., Ochoa, A.E. e Vissler, J.T. **Comparison of horizontal and upflow roughing filtration.** In: Graham, N. e Collins, R. (eds.), *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration.* John Wiley & Sons Ltd, Inglaterra, 1996.

GADELHA, R. M. D. F. **A lei de terras (1850) e a abolição da escravidão: Capitalismo e força de trabalho no Brasil do século XIX.** 1989

HOFFMANN, R. **A distribuição da posse de terra no Brasil (1985-2017).** Cap 5. Livro: *Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do censo agropecuário.* 2020

IBGE. **Paranapanema(SP).2023** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/paranapanema.html> Acesso em: 23 out. 2024

Kato, K. Y. M.; LEITE, S. P. **Land grabbing, financeirização da agricultura e mercado de terras: Velhas e novas dimensões da questão agrária no Brasil.** Revista da ANPEGE. v. 16 nº. 29, p. 458. 2020

Neto, J. G. N; SILVA, K. I. **A formação da propriedade fundiária no Brasil: Lei de Terras de 1850.** 2019

ONU **Declaração Universal dos Direitos Humanos** 1948

ONU **Objetivos Para o Desenvolvimento Sustentável** 2024

PICCOLI, M. et. al. **A Luta pela Água em Comunidades Rurais Agricultura Familiar :O Caso do Assentamento Bela Vista,em Paranapanema, São Paulo.** Anais do XIX Encontro Nacional de Engenharia e Desenvolvimento Social, Bahia, v.19 n.1 2024.

PORTO, R de M. **Hidráulica básica.** 4. ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

Silva, A. R. **Formação e expansão do latifúndio no Brasil: um estudo a partir da Lei de Terras de 1850.** Editora UFBA. 2018

SILVA, M. P.; CAVALLI, D. R.; OLIVEIRA, T. C. R. M. **Avaliação do padrão coliformes a 45°C e comparação da eficiência das técnicas dos tubos múltiplos e Petrifilm EC na detecção de coliformes totais e Escherichia coli em alimentos.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.26 n.2 abr-jun. 2006.

TERIN, U. C. **Sistema de múltiplas etapas com filtração lenta no tratamento domiciliar de águas superficiais com risco microbiológico.** 315p. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

Veras, L.R.V. **Tratamento de Água Superficial por Meio de Diferentes Alternativas da Tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas.** Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, (1999).