



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**CLERISTON LEVY WANZELER RANIERI  
PAULO VICTOR CORRÊA ROSA**

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA PILOTO DE  
FILTRAÇÃO DE BAIXO CUSTO**

TUCURUÍ – PA  
2022

CLERISTON LEVY WANZELER RANIERI  
PAULO VICTOR CORRÊA ROSA

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA PILOTO DE  
FILTRAÇÃO DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador:

TUCURUÍ – PA  
2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a)**

---

R197p Ranieri, Cleriston Levy Wanzeler.  
PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE UM  
SISTEMA PILOTO DE FILTRAÇÃO DE BAIXO CUSTO /  
Cleriston Levy Wanzeler Ranieri, Paulo Victor Corrêa Rosa .  
— 2022.  
62 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Raynner Menezes Lopes  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de  
Tucuruí, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental,  
Tucuruí, 2022.

1. Desenvolvimento Sustentável. 2. Perda de Carga.  
3. Estação de Tratamento de Água. 4. Tratamento  
Convencional. I. Título.

CDD 628.162

---

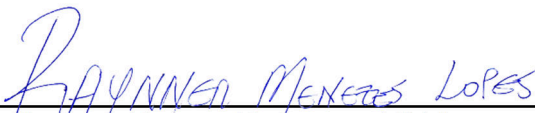
CLERISTON LEVY WANZELER RANIERI  
PAULO VICTOR CORRÊA ROSA

**PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA PILOTO DE  
FILTRAÇÃO DE BAIXO CUSTO**

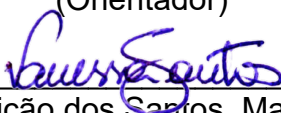
Trabalho de Conclusão de Curso orientado pelo Profº Dr. Raynner M. Lopes apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental

**APROVADO EM: 15/12/2022**

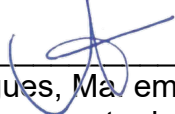
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Raynner Menezes Lopes, Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental  
FAESA/CAMTUC/UFPA  
(Orientador)



Prof. Vanessa Conceição dos Santos, Ma. em Engenharia Civil  
FAESA/CAMTUC/UFPA  
(Examinadora interna)



Eng. Liane Cristina Chagas Rodrigues, Ma. em Engenharia Sanitária e Ambiental  
Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA)  
(Examinadora externa)

Este trabalho é dedicado aos nossos pais, pela força espiritual e apoio nos momentos de angústia; aos nossos amigos e professores que contribuíram com a nossa formação no decorrer do curso.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, em sua glória, honra e majestade.

Às nossas famílias, pelo cuidado, amor, carinho e suporte emocional em todos os momentos. Sem dúvidas, representam o nosso incentivo e a coragem de seguir.

Ao nosso professor orientador Dr<sup>o</sup>. Raynner Menezes, pelo apoio acadêmico e a instrução no trabalho abordado.

Aos nossos professores, pelo conhecimento transmitido, empenho e didática aplicada em prol da formação profissional e pessoal.

Aos nossos amigos, por sempre partilharem conosco em todas as etapas vividas.

À Universidade Federal do Pará, pela estrutura e a qualidade de ensino ofertado.

E a todas as pessoas que contribuíram para o desenvolvimento deste projeto.

Lembre-se que as pessoas podem tirar  
tudo de você, menos o seu conhecimento.  
(Albert Einstein)

## RESUMO

O presente trabalho tratou sobre os tipos de tecnologias desenvolvidas para o tratamento de água e seu abastecimento no Brasil. Foi enfatizado o tratamento convencional, o qual consiste nos seguintes processos: coagulação, floculação, decantação (flotação), filtração, além daqueles que podem ser acrescentados como a desinfecção e fluoretação. Visando a necessidade da qualidade da água para abastecer as comunidades brasileiras, considerando o alto custo financeiro para investimento e tendo como principal premissa o apelo inclusivo para o desenvolvimento sustentável, este trabalho tem como objetivo geral propor um sistema piloto de filtração de água alternativo e de baixo custo, com a produção de um filtro lento com escoamento descendente. Para o estudo dos seus aspectos hidráulicos e almejando um processo eficiente e acessível, foi projetado um sistema piloto com vidro de garrafa, pois é um material comumente reciclável, com durabilidade e elevada rigidez. A construção do projeto piloto se deu de forma satisfatória atendendo as demandas do processo de filtração ao qual foi exposto. Produzindo uma variação de perda de carga considerável no decorrer do leito filtrante, sendo assim suficiente para produção do gráfico comparativo de perda de carga durante o processo de filtração.

**Palavras-chave:** Estação de Tratamento de Água; Tratamento Convencional; Perda de Carga; Desenvolvimento Sustentável.

## **ABSTRACT**

The present work dealt with the types of technologies developed for the treatment of water and its supply in Brazil. Conventional treatment was emphasized, which consists of the following processes: coagulation, flocculation, decantation (flotation), filtration, in addition to those that can be added such as disinfection and fluoridation. Aiming at the need for water quality to supply Brazilian communities, considering the high financial cost for investment and having as its main premise the inclusive appeal for sustainable development, this work has the general objective of proposing a pilot system for alternative water filtration and low cost, with the production of a slow filter with downward flow. For the study of its hydraulic aspects and aiming at an efficient and accessible process, a pilot system with bottle glass was designed, as it is a commonly recyclable material, with durability and high rigidity. The construction of the pilot project took place satisfactorily, meeting the demands of the filtration process to which it was exposed. Producing a considerable pressure drop variation over the filtering bed, thus being sufficient to produce the head loss comparative graph during the filtration process.

**Keywords:** Water treatment station; Conventional Treatment; Load Loss, Sustainable Development.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Etapas do estudo.....	32
Figura 2 – Método de corte utilizando barbante e fogo.....	36
Figura 3 – Método de corte utilizando corda.....	36
Figura 4 – Método de corte utilizando resistência elétrica.....	37
Figura 5 – Máquina de corte de garrafa de vidro. ....	38
Figura 6 – Processo de ensaio granulométrico da areia.....	40
Figura 7 – Método de elevação da turbidez da água. ....	42
Figura 8 – Garrafa de vidro selecionado. ....	44
Figura 9 – “Palet” de madeira e abraçadeiras de alumínio. ....	45
Figura 10 – Projeto inicial da coluna de filtração.....	46
Figura 11 – Arranjo geral do sistema piloto de filtração.....	47
Figura 12 – Processo de construção dos cilindros de vidro. ....	48
Figura 13 – Construção do suporte de madeira. ....	49
Figura 14 – Etapa de acoplamento dos piezômetros. ....	50
Figura 15 – Montagem da coluna de filtração. ....	51
Figura 16 – Sistema de filtro piloto acoplado à rede de água.....	51
Figura 17 – Funcionamento do sistema de filtro piloto.....	53
Figura 18 – Perda de carga hidráulica mensurados por piezômetros. ....	54
Figura 19 – Gráfico da perda de carga medido pelos piezômetros. ....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de padrão bacteriológico da água para consumo humano. ....	30
Tabela 2 – Garrafa utilizada para construção da coluna de filtração.....	44
Tabela 3 – Madeira utilizada para construção do suporte do sistema. ....	48
Tabela 4 – Valores totais gastos para construção do sistema piloto de filtração. ....	52
Tabela 5 – Perdas de carga hidráulica aferidos pelos piezômetros.....	54

## LISTA DE ABREVIATURAS

cm	centímetro
L	litro
m	metro
mm	milímetro
m <sup>2</sup>	metro quadrado
m <sup>3</sup>	metro cúbico
nº	número
m.c.a.	metro de coluna d'água

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DFI	Descargas de fundo intermediárias
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAESA	Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental
GM/MS	Gabinete do Ministro/Ministério da Saúde
NBR	Norma brasileira
NMP	Most probable number (Método do número mais provável)
OMS	Organização Mundial de Saúde
PAC	Polímero de hidróxido de cloreto
PU	Poliuretano
PVC	Polímero de adição policloreto de vinila
UC	Unidade de cor
UFPA	Universidade Federal do Pará
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
VMP	Valores máximos de potabilidade

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{m}$

micrómetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	18
2.1	<b>Geral</b> .....	18
2.2	<b>Específicos</b> .....	18
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
3.1	<b>Tratamento de água de abastecimento</b> .....	19
3.2	<b>Estação e tratamento de água convencional de ciclo completo</b> .....	20
3.2.1	Coagulação.....	20
3.2.2	Floculação.....	21
3.2.3	Sedimentação (Decantação).....	21
3.2.4	Filtração.....	22
3.2.5	Desinfecção.....	22
3.3	<b>Mecanismos de Filtragem</b> .....	23
3.4	<b>Classificação dos filtros</b> .....	24
3.4.1	Filtração rápida e lenta.....	24
3.4.2	Filtração ascendente e descendente.....	25
3.4.3	Classificação por camadas.....	27
3.5	<b>Lavagem dos filtros</b> .....	28
3.6	<b>Importância do tratamento de água de baixo custo</b> .....	29
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	32
4.1	<b>Etapa 1 – Concepção do sistema</b> .....	33
4.1.1	Materiais utilizados.....	33
4.2	<b>Etapa 2 – Projeto do sistema piloto</b> .....	33
4.3	<b>Etapa 3 – Construção do sistema</b> .....	34
4.3.1	Seleção do método de corte das garrafas.....	35
4.3.2	Construção da coluna de filtração.....	38
4.3.3	Acoplamento dos piezômetros na coluna de filtração.....	39
4.3.4	Caixa para o controle do fluxo de água.....	39
4.3.5	Leito filtrante.....	40
4.3.6	Água bruta.....	41
4.4	<b>Etapa 4 – Operação do Sistema</b> .....	43
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	44

<b>5.1</b>	<b>Concepção do sistema .....</b>	<b>44</b>
<b>5.2</b>	<b>Projeto do sistema piloto .....</b>	<b>45</b>
<b>5.3</b>	<b>Construção do sistema.....</b>	<b>47</b>
<b>5.4</b>	<b>Operação do sistema .....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A filtração da água é a operação unitária de remoção de partículas mais importante em um sistema de tratamento (KURODA, 2002), sendo a última etapa de remoção de sólidos da estação de tratamento de água (ETA) convencional de ciclo completo.

A filtração, portanto, é etapa decisiva para a qualidade da desinfecção da água, que é a etapa seguinte à de filtração. (TEIXEIRA, 2004)

A definição da configuração de um sistema de filtração que consiga remover de forma satisfatória as partículas da água, não é tarefa simples, uma vez que a qualidade da água bruta é variável, e está condicionada às características do manancial. Além disso, a própria sequência de tratamento, anterior à etapa de filtração (coagulação e floculação, com o uso de coagulantes e polímeros), pode conferir característica físico-química específica para a água, que associada com as características do leito filtrante (granulométrica da areia, antracito etc.), pode resultar em um efluente de filtração com qualidade satisfatória ou insatisfatória para o consumo doméstico (BERGAMINI; PATERNIANI, 2010).

Diante do exposto, não é possível prever de maneira satisfatória a qualidade do efluente na saída do filtro, sem a realização de ensaios preliminares. Por esse motivo, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua NBR 12.216/92 - "Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público" recomenda que ensaios sejam realizados em filtros pilotos, pelo período necessário para verificação de todas as variações na qualidade da água (ABNT, 1992).

A taxa de filtração a ser adotada deve ser determinada por experiências em filtro-piloto, em período superior ao necessário para a ocorrência de todas as variações da qualidade da água. Não sendo possível realizar essas experiências, a taxa de filtração não deve ser superior a  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ . (ABNT, 1992).

Segundo a ABNT (1992), o uso de sistemas piloto é importante para determinar as características que o sistema de filtração deverá ter para tratar a água com características específicas.

Com base nas informações obtidas nos ensaios em sistema piloto, é possível construir o filtro em tamanho real, com a garantia de que essa unidade realizará o tratamento de forma adequada.

Existem dificuldades de construir um filtro piloto devido a falta de investimentos nas universidades, dificultando as atividades práticas dos discentes. Segundo Silva (2018) e Guerra (2011) no campo da educação profissional é enfatizado ensino, enquanto as ações de extensão e pesquisa ocorre em segundo plano.

Essa ausência de investimentos para o pilar de Pesquisa e Extensão são definidos por Guerra (2011) como um processo de Universidade Operacional, resultando negativamente na qualidade dos serviços prestados pela Universidade, ou seja, os discentes buscam formas alternativas de desenvolver, por exemplo, projetos pilotos em seus laboratórios.

Sendo assim, este trabalho vem mostrar o processo de construção de filtro piloto em laboratório, com materiais recicláveis e de baixo custo, para assim proporcionar os discentes a avaliação de características do processo de filtração simples de fluxo descendente, com leitos filtrantes diferentes.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Propor um sistema piloto de filtração de água, alternativo e de baixo custo, para o estudo dos seus aspectos hidráulicos, construtivos e de produção de um filtro lento com escoamento descendente.

### **2.2 Específicos**

- Selecionar o material para a construção do sistema de filtração em fluxo descendente.
- Desenvolver um método de construção e instalação do sistema.
- Apresentar o layout do projeto em escala piloto do sistema de filtração.
- Avaliar o desempenho do sistema por meio de ensaios de filtração de água.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Tratamento de água de abastecimento

Saneamento, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), é o controle que engloba todos os aspectos do meio físico do homem, os quais provocam ou pode provocar algum efeito nocivo para o bem estar mental, físico e social. Em outras palavras, saneamento pode ser conceituado como um conjunto de infraestrutura e de medidas adotadas pelo governo para melhorar a condição de vida da população, envolvendo serviços como esgotos sanitários, abastecimento de água, drenagem e manejo de resíduos da água pluvial, entre outros (PENA, 2015).

O tratamento de água é necessário e consiste em um conjunto de procedimentos químicos e físicos para alcançar a qualidade adequada para o consumo humano (RICHTER, 2015). No entanto, no Brasil, ainda há uma crescente dificuldade em relação ao tratamento de água para abastecimento público, envolvendo a qualidade e quantidade. Em muitos casos não há condições financeiras, e um dos maiores motivos consiste na falta de políticas governamentais estruturadas e eficientes. Além disso, o modelo de tratamento em vigência ocasiona desperdício de grandes quantidades de água (NASCIMENTO et al., 2012).

Tais políticas públicas também visam: o desenvolvimento de novas fontes para o suprimento de água potável, o controle das perdas nos sistemas de abastecimento, o aumento da capacidade de armazenar água bruta, o incentivo ao uso da água de forma racional ao uso de tecnologias de fontes alternativas para que a água seja suprida (PENA, 2015).

Há quatro diferentes estações de tratamento de água, pois pode consistir em uma simples desinfecção ou até mesmo em um processo convencional e complexo: desferrização, filtração direta, filtração em linha e tratamento convencional. Na desferrização, há a remoção de ferro e manganês da água envolvendo duas principais etapas: oxidação, realizada através de um aerador e; remoção do precipitado por meio de filtração. No processo de filtração direta, o filtro é o único responsável pelo trabalho de eliminar a turbidez e a cor da água (RICHTER, 2015).

A filtração em linha é realizada quando não ocorrem as etapas de floculação e sedimentação devido à pouca quantidade de material particulado na água, e assim,

da coagulação passa diretamente para o filtro. No tópico a seguir, será descrito o sistema de tratamento convencional de ciclo completo (BERGAMINI; PATERNIANI, 2010).

### **3.2 Estação e tratamento de água convencional de ciclo completo**

Em seu estado natural, a água apresenta características químicas e físicas para que seja ingerida, assim como partículas indesejáveis e capazes de prejudicar a saúde. Em razão desse risco, é necessário que sejam realizados processos de tratamentos químicos para possibilitar o consumo apropriado da água. Para que esteja de acordo com os padrões de potabilidade para o consumo, a água bruta passa por várias etapas durante uma Estação de Tratamento de Água (ETA), as quais podem ser classificadas da seguinte forma: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção, as quais serão abordadas a seguir (KUBLER, 2015):

#### **3.2.1 Coagulação**

É comum encontrar vários tipos de contaminantes orgânicos e não orgânicos na água, essas partículas dissolvidas ou suspensas também influenciam no sabor, cor, odor e turbidez. Apesar da dificuldade, é possível removê-las por meio do processo de coagulação química da água (KLUBER, et al., 2015).

Geralmente, os coagulantes mais utilizados em Estações de Tratamento de Água são o cloreto férrico, sulfato de alumínio, sulfato férrico, sulfato ferroso clorado e o hidróxi-cloreto de alumínio (PAC) (KLUBER, et al., 2015).

Conforme demonstra o estudo de Karlos Silva (2020), devido à alta gama de produtos químicos e da natureza variada das águas brutas, o experimento em Jar-Test ou instalação-piloto é fundamental para que sejam estabelecidas corretamente as condições de coagulação e mistura rápida .

As impurezas presentes na água bruta que são removidas durante o processo são de tamanhos variados, a turbidez da água é causada por aquela que consistem em matéria particulada. A coloração é influenciada por substâncias dissolvidas, e o odor e sabor estão relacionados com as partículas coloidais. A coagulação química é realizada com o objetivo de desestabilizar os contaminantes que estão suspensos

de uma maneira que possibilitam o contato e aglomeração das partículas, o que forma flocos que decantam. Os coloides hidrofóbicos são desestabilizados com a inserção de algum coagulante químico, como sais de ferro e de alumínio (KUBLER, 2015).

### 3.2.2 Floculação

Fernanda Vergínia (2017) demonstra que após a fase de coagulação, é preciso realizar uma agitação lenta, para possibilitar que as partículas menores entrem em contato e se agreguem, formando partículas maiores ou flocos. Para que sejam formados flocos decantáveis, a unidade linear de mistura e floculação é formada por hélices que misturam rapidamente os condicionantes na água bruta e pás horizontais que fazem essa mistura de maneira lenta (VERGÍNIA, 2017).

Durante a ETA, essa etapa de floculação é a que mais possibilita a agregação de partículas desestabilizadas anteriormente através da coagulação química, e assim, a formação de flocos ocorre mais fácil, os quais apresentam pesos e tamanhos favoráveis para remover por flotação, sedimentação ou filtração direta

Para que seja eficiente, é necessário um bom desempenho da unidade de mistura rápida, podendo avaliar determinados fatores, como pH de coagulação, temperatura e qualidade da água, coagulante, entre outros. A qualidade da água disponibilizada por uma Estação de Tratamento de Água é impactada de forma direta pelo rendimento dos processos (VERGÍNIA, 2017).

### 3.2.3 Sedimentação (Decantação)

Segundo Karlos Silva (2020) essa etapa consiste em remover as partículas da suspensão através da gravidade. Seu dimensionamento apresenta tais critério em comum: período de retenção, taxa de aplicação superficial, taxa de vertedouro e velocidade horizontal (para tanques retangulares). Para calcular o período de retenção expresso em hora, divide-se o volume do tanque pela vazão média diária.

Depois que a água passa pelo canal ao qual destina-se a água floculada, descarregando no decantador, ela vai passar em uma cortina perfurada. A água

decantada é coletada por meio de um sistema de vertedores não-afogados, os quais asseguram uma vazão uniforme ao decorrer deles (KUBLER, 2015).

O processo de decantação pode gerar lodo, e nessa situação, o resíduo deve ser retirado, podendo ser feito manualmente, pois é um sistema simples, além disso, apresenta alguns critérios normativos, pois deve ser provido de descarga de fundo, com dimensões para que ocorra o esvaziamento no tempo máximo de 6 horas, preferencialmente situada na zona em que há maior acumulação de lodo e; o fundo deve ter declividade de no mínimo 5% no sentido do ponto de descarga (KUBLER, 2015).

Ao utilizar decantadores convencionais, e a remoção do lodo for manual, é necessário prever uma altura adicional suficiente para o acúmulo durante o período de 60 dias de funcionamento, para que seja planejado um dispositivo de lavagem por jateamento (VERGÍNIA, 2017).

#### 3.2.4 Filtração

O processo de filtração consiste na separação sólido-líquido, engloba fenômenos químicos, físicos e, algumas vezes, biológicos. É realizado para remover a impurezas contidas na água através de sua passagem por um meio poroso. Quando a água atravessa o leito filtrante em uma velocidade baixa, este é classificado como filtro lento, e no caso de ser em velocidade alta, é denominado de filtro rápido (VERGÍNIA, 2017).

A filtração lenta (filtros descendentes) demonstra vantagens em relação às demais tecnologias, pois, conforme “o fato de prescindir da coagulação química, os equipamentos eletromecânicos tornam a operação muito mais simples quando comparada às demais tecnologias” (VERGÍNIA, 2017, p. 24). Essa etapa será tratada de maneira mais específica no decorrer do trabalho.

#### 3.2.5 Desinfecção

A desinfecção é realizada com o objetivo de destruir os microrganismos patogênicos contidos na água, os quais consistem em protozoários, vermes, bactérias e vírus. Sendo assim, é importante para assegurar que sejam totalmente

eliminados os microrganismos que não foram removidos durante os procedimentos físico-químico (PENA, 2015).

Há diversos agentes utilizados nessa etapa de purificação da água, porém o mais frequente é o cloro, devido ao seu baixo custo financeiro e pela facilidade para a sua aplicação, visto que possui alta solubilidade. É possível determinar facilmente a concentração de um resíduo em solução deixado pelo cloro, os quais não apresentam perigo para as pessoas (NASCIMENTO et al., 2012).

O flúor é utilizado como auxílio para combater a cárie dentária, além de ser importante para prevenir a decomposição do esmalte dos dentes, aumentando sua resistência. A presença excedente de íons e flúor na água potável ocasiona manchas no dente ou a fluorose dental, mas em comunidades que tem acesso à água potável sem flúor há uma alta incidência de cárie dentária entre a pessoas (VERGÍNIA, 2017).

Durante as últimas três décadas, centenas de estudos foram realizados para correlacionar a concentração natural do flúor e a incidência de cárie dentária, o exame da dentição de crianças, consumindo água natural com flúor, demonstrou que flúor em excesso aumenta ocorrência e severidade da fluorose dentária (VERGÍNIA, 2017, p. 26).

No tópico seguinte, serão apresentados os mecanismos de filtração.

### **3.3 Mecanismos de Filtração**

O processo de filtração é a etapa em que são retidas as partículas contidas na água que não foram retiradas em etapas antecedentes, através de tanques que contém material poroso e formam sucessivas barreiras capazes de capturar as partículas e demais materiais que ainda estejam presentes na água. É possível utilizar diversos modelos de filtros durante esse procedimento, conforme a cadeia de processamento da estação. É mais comum o uso de filtros rápido em estações de tratamento convencionais (KARLOS SILVA, 2020).

Há três mecanismos de ação da filtração no meio granular: transporte, aderência e desprendimento. É através do mecanismo de transporte que as partículas são levadas da água para perto dos grãos do meio filtrante, os quais são denominados de coletores, conforme elas se aproximam desses coletores, forças de ação superficial acontecem, e assim, elas vão se aderindo (MARNOTO, 2008).

Durante o processo, o material acumulado nos espaços que a água percorre vão diminuindo, aumentando as forças de cisalhamento que atuam nessas partículas e da velocidade do desprendimento, fazendo com que elas se desprendam para outras camadas e para o efluente que sai dos filtros. A seguir, será descrita a forma como os filtros são classificados (BERGAMINI; PATERNIANI, 2010).

### 3.4 Classificação dos filtros

#### 3.4.1 Filtração rápida e lenta

A filtração rápida é caracterizada pelas taxas de filtração entre 120 e 400 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. O seu processo pode ser realizado de forma ascendente ou descendente. Para que a filtração rápida seja usada com eficiência é preciso fazer o pré-tratamento da água bruta, sendo adicionado um coagulante, podendo ou não haver a flotação ou floculação. O pré-tratamento deve ser determinado de acordo com a qualidade da água selecionada para o abastecimento (MARNOTO, 2008).

Outro método utilizado para o tratamento de pequenos volumes da água é a filtração lenta, pois esse processo apresenta uma baixa taxa de aplicação superficial. Durante esse processo a água atravessa um elemento filtrante, onde as impurezas são retidas, a areia é utilizada com mais frequência, e há uma base que consiste na cama de seixos ou pedregulhos (MARNOTO, 2008).

Uma filtração lenta é caracterizada por apresentar taxas inferiores a 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia, sendo formada por um elemento filtrante, o qual consiste em um leito de areia, dispositivos para controlar e medir a vazão, para recolher a água filtrada, drenar e carregar após a raspagem da camada superficial. De acordo com Karlos Silva (2020, p. 39), para que sejam eficientes, os filtros lentos devem apresentar as seguintes características:

[...] turbidez menor que 50 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), cor inferior a 20 UC (unidade de cor) e coliformes NMP/100 ml < 2000 [...] a baixa taxa de processamento, que faz com que a água fique mais tempo em contato com o elemento filtrante, favoreça a formação de um filme biológico na superfície denominado "schmutzdecke", que é formado por microrganismos e detritos presentes na água (SILVA, 2020, p. 39).

Nos filtros lentos ocorrem atividades biológicas importantes e favoráveis para a remoção das impurezas, seus mecanismos principais são saprofagia, predação, oxidação bioquímica, inativação e morte dos microrganismos, adsorção, desinfecção por radiação solar, entre outros. A atividade biológica apresenta mais intensidade nos primeiros 10 cm do filtro e é um fator relevante para sua eficiência. É possível que a formação dessa camada ocorra por alguns dias, sendo o período de maturação do filtro. Karlos Silva (2020, p. 41), ainda demonstra que os filtros lentos são eficientes para:

[...] a remoção de cistos de giárdia e coliformes, e quando o meio filtrante se encontrava maturado, a eficiência de remoção alcançava 99% e 100%, para coliformes e cistos, respectivamente. Timms et al (1995 apud MELO, 2006, p.10) afirma em seu trabalho que o filtro lento também é eficiente na remoção de *Cryptosporidium*, um protozoário que parasita humanos e animais, causando diarreia, e que possuem oocistos resistentes a métodos de desinfecção por cloro, apresentando remoção superior a 99,97% (SILVA, 2020, p. 41).

O filtro lento pode ser mais vantajoso em razão de sua simplicidade de construção e operação, geralmente com altura entre 2,5 e 3,5 metros, e relação entre largura e comprimento de 2:1. No entanto, necessita de uma área maior para ser implantado em casos de grandes volumes de água bruta (KLUBER, et al., 2015).

#### 3.4.2 Filtração ascendente e descendente

Os filtros ascendentes são formados por uma câmara, onde há o material filtrante em uma única camada com uma superfície para o seu suporte que se localiza sobre um fundo falso que consiste na entrada da água coagulada para o filtro. Depois que a água passa pelo material filtrante, atinge a calha de recolhimento de água filtrada, a qual também pode ser usada para retirar a água de lavagem do filtro depois das descargas de fundo. Há risco de contaminação do reservatório através da água de lavagem quando o filtro for recolocado, para evitar é possível utilizar uma calha exclusiva para a água de lavagem (BERGAMINI; PATERNIANI, 2010).

Os sólidos que apresentam diâmetros maiores são contidos no filtro, em suas camadas inferiores, local em que o material filtrante também possui dimensões maiores e há a aderência dos sólidos menores nas camadas superiores. É necessário que esse sistema de tratamento possua uma camada espessa de

material filtrante (1,6 a 2,0m) para que os sólidos sejam totalmente removidos e haja uma carreira de filtração superior a 24 horas (KARLOS SILVA, 2020).

Em filtros ascendentes, quando são realizadas descargas de fundo intermediárias (DFI), na interface entre a camada de suporte do filtro e o material filtrante, é possível que as carreiras de filtração apresentem uma sobrevida de 150%, e assim, essas descargas são responsáveis por desprender os sólidos aderido à camada de suporte e nos primeiros centímetros da camada do material filtrante.

Em um filtro descendente os menores grãos do elemento filtrante permanecem na parte superior e os de diâmetros maiores ficam na inferior, como dispõe Karlos Silva (2020, p. 51):

[...] essa disposição não é a ideal para um processo de filtragem e não pode ser mudada, pois quando se realizam as descargas de fundo para a limpeza do filtro tem-se uma expansão do meio filtrante que causa uma estratificação dos grãos. Para atenuar esse inconveniente se emprega o antracito no topo das camadas filtrantes, pois embora o antracito tenha maior diâmetro que a areia, sua densidade é menor, de forma que sempre se mantenha no topo. A camada de suporte geralmente é composta de seixos rolados com espessura entre 45 e 50 cm, que se apoia em um fundo falso por onde a água filtrada escoar e é coletada para a etapa posterior de desinfecção (SILVA, 2020, p. 51).

Geralmente possuem uma camada dupla ou tripla de elemento filtrante. Pode ser realizado de duas formas: com pré-floculação, consiste em uma unidade de mistura rápida, floculação e filtro rápido; sem pré-floculação, consistindo somente em unidade de mistura rápida e filtro descendente. Quando não há o processo de floculação, denomina-se filtração direta em linha. Essa etapa é indicada nos casos em que predominam as partículas dispersas na água bruta com tamanho inferior a 5  $\mu\text{m}$ , ou conforme é indicado por Heller e Pádua (2010), o tamanho na ordem de 1  $\mu\text{m}$ , de uma maneira que as partículas desse tamanho dificultem o desempenho da filtração, sendo assim, a floculação age aglomerando as partículas e aumentando o tamanho dos sólidos para que o filtro possa trabalhar eficientemente.

De acordo com Karlos Silva (2020, p. 51), os filtros descendentes apresentam as seguintes vantagens:

[...] são eliminados os equipamentos de remoção de lodo dos decantadores e, algumas vezes, os equipamentos de floculação; menor produção de lodo; custo da construção de 30% a 50% menor; redução dos custos de operação e manutenção, uma vez que se tem menor consumo de coagulante e de energia elétrica; facilidade no tratamento de água bruta com baixa turbidez (SILVA, 2020, p. 51).

Em relação às desvantagens, é possível mencionar a necessidade de um controle mais rigoroso ao aplicar o coagulante, principalmente quando não houver a pré-floculação; sensibilidade a alterações na qualidade da água bruta; dificuldades para realizar o tratamento de água bruta que apresenta cor ou turbidez elevadas; curto tempo de detenção, havendo a necessidade de ação rápida nas mudanças de dosagens de produtos químicos no decorrer das modificações da qualidade da água bruta (HELLER e PÁDUA, 2010).

### 3.4.3 Classificação por camadas

A filtração é um processo essencial para o tratamento de água, pois as partículas maiores que ficam retidas na abertura dos poros dos sólidos podem estar suspensas na água e até serem bactérias que podem prejudicar a saúde (COUTINHO *et. al.*, 2015).

Antigamente, o filtro era formado apenas por areia, denominados de filtro de camada simples, mas os avanços tecnológicos possibilitaram a criação de filtro de camada dupla, no qual há uma camada de areia de sílica e em seguida uma camada de carvão antracito (carvão mineral limpo e insolúvel em água), (KARLOS SILVA, 2020).

Os filtros de camada dupla apresentam uma taxa muito maior de filtração em relação aos filtros de camada simples, e por essa razão tendem a ser mais eficientes para remover os parâmetros de cor aparente, odor e turbidez. Há ainda uma camada de suporte que pode ser necessária, a qual consiste em 5 camadas de pedregulhos (cascalho), com tamanhos diversos que não ultrapassa 25cm de espessura total, mas isso pode variar de acordo com o fabricante do fundo falso específico. Tem o objetivo principal de assegurar que as partículas de carvão e areia não ultrapassem o filtro para o fundo falso (KARLOS SILVA, 2020).

A água é retirada por esse fundo falso para que seja distribuído, após isso, é realizada a lavagem do meio filtrante injetando água, a água já filtrada é escoada de baixo para cima em uma velocidade controlada com a intenção de expandir as camadas para que os materiais contidos nos poros sejam retirados. A lavagem dos filtros é essencial para um bom desempenho e será descrita no tópico seguinte (HELLER E PÁDUA, 2010).

### 3.5 Lavagem dos filtros

É necessário interromper a carreira de filtração quando houver um dos parâmetros de encerramento: transpasse por turbidez ou quando a perda total de carga do sistema e a carga hidráulica disponível se igualam. Depois do encerramento da carreira, é preciso lavar os filtros antes de entrarem novamente em operação (KARLOS SILVA, 2020).

Normalmente, a lavagem é realizada com a utilização de água no sentido ascensional para a promoção da fluidização do meio e, assim, as impurezas retidas são liberadas quando o meio filtrante é expandido. As principais maneiras de lavagem são: com água, com ar e posteriormente com água, com água e sistema de lavagem superficial auxiliar, e com água e ar simultaneamente (KLUBER, et al., 2015).

Ao ser realizada a lavagem, há uma diminuição no comportamento da turbidez da água de lavagem, indicando que as partículas se desprenderam. No início, o pico da curva alto e o declínio rápido de turbidez indicam que a lavagem de leito foi relativamente eficiente, já o pico baixo e declínio lento na turbidez, normalmente são indicativos de uma lavagem ineficiente. Quando um fluido percola determinado leito poroso em escoamento ascendente, há uma perda da pressão, mas as partículas continuam em movimento (VERGÍNIA, 2017).

Conforme ocorre o aumento da velocidade de escoamento, também aumenta a perda de carga, e como consequência, há início do movimento das partículas do leito. Acontece a fluidização quando o peso das partículas está equilibrado com a perda de carga do escoamento, não ocorrendo mais alteração na queda de pressão, sendo igual as equações da força peso das partículas e da perda de carga (KARLOS SILVA, 2020).

É possível identificar a queda de pressão conforme a mínima fluidização, quando forem conhecidas a altura e a porosidade do leito na mínima fluidização. Para as partículas maiores que 500  $\mu\text{m}$ , é considerado que a porosidade mínima de fluidização se iguale à porosidade inicial do leito estático. O contínuo aumento da velocidade no decorrer da fluidização permite que a expansão do leito aumente, a qual pode ser avaliada junto com o aumento da porosidade, que pode alcançar os 100% (KARLOS SILVA, 2020).

Quando o meio granular é formado por partículas de tamanhos variados ou composições diferentes, cada tipo de grão específico possui uma velocidade ascensional, e em razão das diferenças de peso na fluidização das partículas, a posição dos materiais é invertida, onde, aqueles que apresentam maiores tamanhos e massas específicas passam a ficar dispostos no fundo do leito e os menores ficam na parte superior (VERGÍNIA, 2017). A seguir, será tratado sobre a necessidade do tratamento de água de baixo custo.

### **3.6 Importância do tratamento de água de baixo custo**

O processo de potabilização da água para consumo foi rapidamente difundido pela América e Europa e é considerado eficiente e simples. No entanto, houve determinado atraso em sua expansão, devido ao desenvolvimento de outras técnicas de tratamento e à deterioração da qualidade de água contida nos mananciais, visto que é limitada pelos aspectos físico-químicos da água afluenta (MARNOTO, 2008).

É essencial o investimento em pesquisas referentes ao desenvolvimento de tecnologias para o processo de tratamento de água em comunidades pequenas, onde ainda há escassez de tratamento adequado de água, sendo assim, é necessário considerar os aspectos socioeconômicos, como o baixo investimento inicial (MARNOTO, 2008).

No Brasil, os padrões de potabilidade da água são estabelecidos pelo Ministério da Saúde, através da Portaria GM/MS nº 888, de maio de 2021, os quais correspondem os valores máximos permitidos das características das águas que são utilizadas para o consumo humano. A filtração lenta da água por meio de camadas em areia consiste em uma maneira simplificada para tratar a água de forma que sejam atendidas as exigências sanitárias e estéticas do homem.

Este processo baseou-se na percolação de águas através do perfil de solo até alcançam os aquíferos [...] o atendimento aos parâmetros de potabilidade é o fator determinante para a seleção da tecnologia de tratamento de água adotado. Outros fatores relevantes são a qualidade da água do manancial e as características do local atendido pelo tratamento, pois algumas comunidades rurais e em países em desenvolvimento, não dispõem de recursos financeiros para construir estações de tratamento sofisticadas (COUTINHO *et. al.*, 2015, p. 03).

Sendo assim, é necessário que se desenvolvam tecnologias que adequem com as especificidades de cada local, em conformidade com a viabilidade econômica. Os sistemas de tratamento de água convencionais requerem mão-de-obra qualificada e o uso de produtos químicos, como o sulfato de alumínio. No entanto, tais requisitos não são disponibilizados com um preço razoável para pequenas comunidades (NASCIMENTO et al., 2012).

As tecnologias de tratamento visam atender as comunidades carentes e pequenas, assim como as zonas rurais, onde o tratamento ainda é precário, com intuito de melhorar a qualidade de vida da população ao fornecer água tratada. Para isso, foi realizado um protótipo filtro de areia com múltiplas camadas para que sejam removidos os valores distintos de turbidez (COUTINHO et. al., 2015).

A qualidade se relaciona com o uso e as características que a água apresenta, as quais são estabelecidas pelas substâncias contidas nela. Para avaliar tais características utilizam-se parâmetros de qualidade: químicos, físicos e biológicos. O padrão de potabilidade da água é formado por um conjunto de especificações que garantem a qualidade própria para poder ser consumida (COUTINHO et. al., 2015).

Estes padrões são estabelecidos no Brasil de acordo com a definição da Organização Mundial da Saúde (OMS), os quais foram regularizados pela Portaria nº da Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece os valores máximos de potabilidade (VMP) da água.

Tabela 1 – Tabela de padrão bacteriológico da água para consumo humano.

Formas de abastecimento		Parâmetro	VMP(1)
SAA e SAC	SAI	<i>Escherichia coli</i> (2)	Ausência em 100 mL
	Na saída do tratamento	Coliformes totais(3)	Ausência em 100 mL
	Sistema de distribuição e pontos de consumo	<i>Escherichia coli</i> (2)	Ausência em 100 mL
	Coliformes totais(4)	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, poderá apresentar resultado positivo

Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes

Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água.

---

Fonte: OMS (2021).

Notas:

1. Valor Máximo Permitido
2. Indicador de contaminação fecal.
3. Indicador de eficiência de tratamento

Em seu capítulo V são apresentados os padrões de potabilidade da água, iniciando com os microbiológicos. Além disso, apresenta quais os valores máximos permitidos para cada forma de parâmetro, indica se há ou não contaminação através de coliforme fecal, observando a eficiência de tratamento (COUTINHO *et. al.*, 2015).

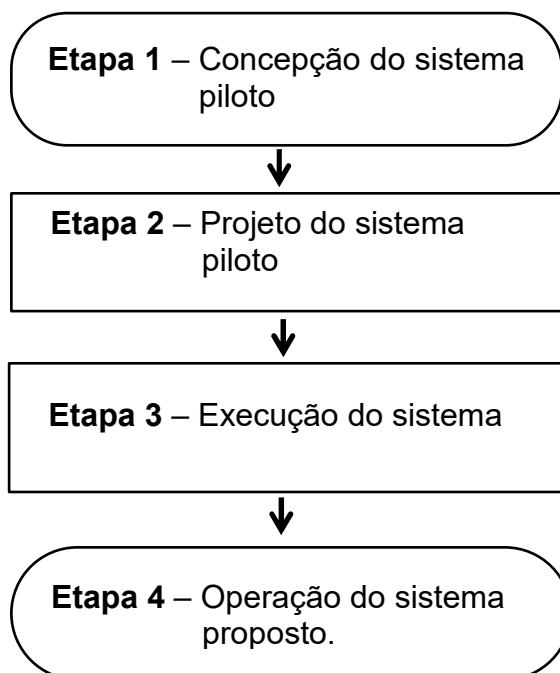
Diante desse cenário, essa pesquisa teve o objetivo de elaborar um sistema piloto de filtro de baixo custo, o qual pode ser utilizado de maneira eficiente e de fácil operação, proporcionando o tratamento da água em ambientes domésticos. Pois é necessário que sejam desenvolvidos métodos para o tratamento de água priorizando materiais acessíveis e de baixo custo (MARNOTO, 2008).

## 4 METODOLOGIA

Para a determinação de um processo eficiente na montagem e operação do sistema de filtração em escala piloto, verificou-se a necessidade de definirem-se procedimentos operacionais padronizados para a proposição assertiva das etapas subsequentes para cumprirem-se os objetivos construtivos e operacionais deste projeto.

Estabeleceu-se, portanto, inicialmente, como diretrizes metodológicas, a seleção de materiais com características na capacidade de sua reutilização, durabilidade e resistência. Após isso, propôs-se a elaboração do projeto executivo do sistema em escala piloto através de manipulação computacional. Em seguida, após pesquisas na literatura e na internet, definiram-se os métodos necessários para construção do sistema de filtração, bem como, verificou-se, através de sua operação, a análise de perda de carga hidráulica através de piezômetros acoplados no sistema. Com isso, observa-se a demonstração da metodologia em quatro etapas, conforme descrito na Figura 1.

Figura 1 – Etapas do estudo



Fonte: Autores (2022).

## **4.1 Etapa 1 – Concepção do sistema**

A concepção do sistema de filtro piloto teve como principal premissa o apelo inclusivo para o desenvolvimento sustentável, isto é, focou-se na seleção de materiais comumente descartáveis no meio ambiente e que, implicitamente, oneram em baixo custo para a fabricação deste sistema.

### **4.1.1 Materiais utilizados**

Considerando a proposição na seleção dos materiais definiu-se o vidro como material compositor da coluna de filtração, por se tratar de um material extremamente reciclável, com durabilidade e elevada rigidez (RODRIGUES; DEBONI, 2022).

No Brasil, aproximadamente 50% do vidro que se produz é reutilizado (AMARAL; RODRIGUES, 2021). Com isso, entendeu-se que a utilização de garrafas de vidro transparente, por proporcionarem melhor visibilidade dos elementos componentes do filtro, cumprir-se-ia a finalidade deste sistema. Principalmente, com relação às que possuem seção circular, as garrafas que correspondem ao formato similar de um cilindro, apresentam características geométricas semelhantes ao modelo que Di Bernardo (2004) utilizou para o seu sistema de filtro piloto. Sendo assim, o material selecionado é uma excelente alternativa a materiais utilizados comercialmente para este fim, como, por exemplo, o polimetilmetacrilato (acrílico).

Verificou-se, ainda, a carência de se oferecer à coluna de filtração um suporte de fixação capaz de proporcionar maior segurança ao sistema. Dentre os materiais pesquisados, selecionou-se a madeira, por se tratar de um material passível de manipulação com ferramentas manuais sem exigências, neste caso, de expertise profissional do construtor. Além do que, aplicar-se-ia em alternativa para reutilização de resíduos de madeiras que são descartados incorretamente (TEIXEIRA; JUNIOR; COUTO, 2016).

## **4.2 Etapa 2 – Projeto do sistema piloto**

A elaboração do projeto executivo do sistema de filtro piloto orientou-se, com relação à concepção das dimensões da coluna de filtração, pela NBR 12216:92, e,

considerando as margens pré-estabelecidas para as dimensões das camadas dos materiais de leito filtrante e da camada suporte, ficou estabelecido à proposição para a quantidade de cilindros de vidro a serem utilizadas na construção do sistema, bem como a determinação do seu comprimento total. Concebeu-se, também, a locação uniforme de piezômetros conforme Ghisi *et al.* (2019) utilizaram em seu projeto de filtro em escala piloto, para controle e análise da perda de carga no sistema.

Para concepção da sustentação da coluna de filtração projetou-se a modelagem da madeira em suporte físico, não apenas para a coluna de filtração, mas considerou-se todo o sistema incluindo suporte para os piezômetros. O desenho seguiu as diretrizes das seguintes NBR's: 8196, 8403, 10067, 10068 e 10126, que tratam de metodologias para representação gráfica de projetos executivos.

Para a elaboração computacional das peças gráficas utilizou-se o programa para desenho técnico autocad, confeccionado por um período de duração de aproximadamente 7 dias.

### **4.3 Etapa 3 – Construção do sistema.**

O processo de construção do sistema piloto de filtração foi executado nas instalações do laboratório de hidráulica da FAESA do campus Tucuruí da Universidade Federal do Pará, município de Tucuruí, estado do Pará. Quanto à utilização de equipamentos de segurança, observaram-se as orientações da NBR 7199:2016, que trata da manipulação de vidros na construção civil — Projeto, execução e aplicações.

Estabeleceu-se, via concepção do projeto executivo, a utilização de sete unidades de garrafas de vidro, os quais após processo de corte e lixamento foram fixados com material colante uma a uma para montagem da coluna de filtração.

Preliminarmente ao corte das garrafas de vidro fez-se necessária a perfuração, em cada uma das garrafas, dos pontos de acoplamento dos piezômetros, os quais foram executados com a utilização de furadeira elétrica e broca diamantada de diâmetro efetivo de perfuração de 10 mm. A leitura de perda de carga hidráulica estabeleceu-se pelo acoplamento de dez unidades de piezômetros, sendo compostos por três subseções interligados.

Paralelamente ao processo de montagem da coluna de filtração, foi executada a construção do suporte de madeira do sistema de filtração com o auxílio de ferramentas manuais. Posteriormente, foram feitas a sua pintura e fixação na parede, bem como, a colocação das réguas graduadas, de papel, para leitura do nível de água nos piezômetros para a determinação da perda de carga.

Para a operação do sistema piloto de filtração necessitou-se serem feitos a determinação e o ensaio granulométrico do leito filtrante de camada simples, bem como a escolha do método de abastecimento e regulação do fluxo de água no sistema. A água bruta de abastecimento teve, por adoção de método de elevação de turbidez, suas características de turbidez induzidas por ensaio laboratorial.

#### 4.3.1 Seleção do método de corte das garrafas

Previamente, foi verificado na literatura os métodos de corte de garrafa de vidro que, impreterivelmente, compatibilizassem com a proposta deste projeto, isto é, que fosse de baixo custo e, principalmente, oferecesse segurança com baixo risco laboral na execução desta etapa. Com isso, dentre os métodos pesquisados, selecionou-se três métodos compatíveis com os requisitos já mencionados.

##### 4.3.1.1 Método 1: Combustão.

O método consiste em submergir a corda de feixes de fibras trançadas (barbante) em um combustível líquido e, posteriormente, demarcar o ponto da circunferência da garrafa a ser cortada, após isso, faz-se a combustão do barbante que, depois de queimado, insere-se a garrafa em um recipiente com gelo e água e por choque térmico ocorre a ruptura do ponto demarcado na garrafa, como vemos na Figura 2.

Figura 2 – Método de corte utilizando barbante e fogo.



Fonte: Canal Faby Franco, Youtube (2021).

#### 4.3.1.2 Método 2: Corda.

Este método propõe a utilização de uma corda multifilamento trançada de Polipropileno ou de uma corda de feixes de fibras trançadas (barbante). Para eficácia deste método faz-se necessário à construção de um suporte auxiliar específico para colocação da garrafa a ser cortada e da corda; feito isso, executa-se movimentos circulares com o barbante exercendo força de atrito do barbante na garrafa que, após aumento de temperatura no ponto de circunferência na garrafa, submerge-se em um recipiente com água e gelo causando a sua ruptura, conforme vemos na

Figura 3.

Figura 3 – Método de corte utilizando corda.



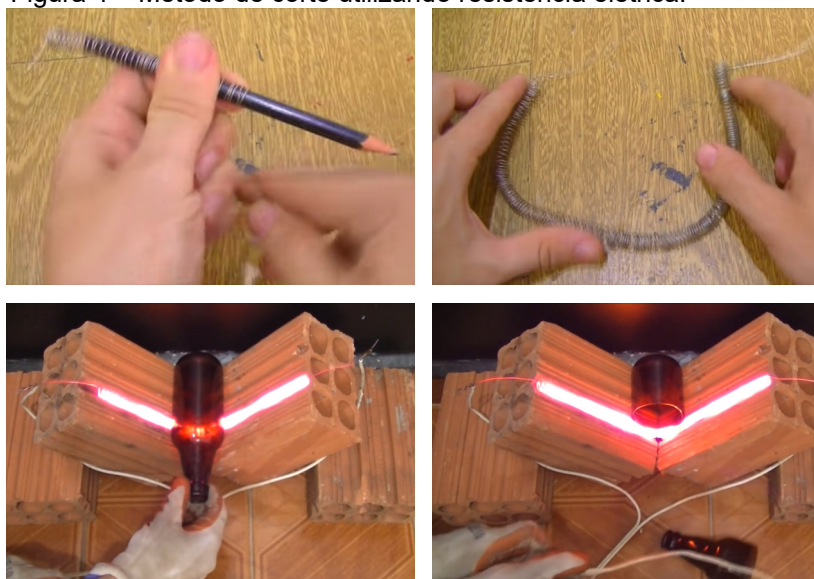


Fonte: Autores (2022).

#### 4.3.1.3 Método 3: Resistência elétrica.

O método da resistência elétrica requer, preferencialmente, a moldagem de arame de aço inox de 0,6 mm em um formato de resistência elétrica, simplificada, por meio de qualquer peça circular como o lápis, por exemplo. Não se aconselha utilizar-se uma resistência de chuveiro elétrico, pois, geralmente, é feita de liga de níquel e cromo, com resistência inferior ao aço inox. Para a ruptura da garrafa, faz-se a montagem da resistência acoplada a um suporte de tijolos (pode ser outro material) e, quando ligado à rede elétrica, superaquece incidindo o momento de colocação da garrafa fazendo movimentos circulares de acordo com o ponto que se deseja cortá-la, como podemos observar na Figura 4.

Figura 4 – Método de corte utilizando resistência elétrica.



Fonte: Canal XProjetos, Youtube (2017).

Em análise aos três métodos ora mencionados, adotou-se, para este projeto, o método 2 de corte, por representar o método de menor grau de periculosidade, isto é, menor risco para acidentes laborais em sua execução.

#### 4.3.2 Construção da coluna de filtração.

Posteriormente a definição do método de corte, o método 2, executou-se a construção do suporte auxiliar de corte das garrafas conforme orientação proposta pelo método adotado. Com isso, o suporte foi confeccionado por reaproveitamento de resíduos de madeira e aço originários de serviços de construção civil.

Considerando o contínuo processo de aprimoramento para o método de corte adotado, pesquisaram-se dispositivos auxiliares de corte similares ao do método utilizado neste projeto e, conforme concepção em relação aos riscos laborais de execução e manipulação, sugere-se a utilização da máquina de corte manual conforme demonstrado na Figura 5, o qual pode ser adquirido comercialmente, apresentando-se, a princípio, como alternativa mais eficiente ao dispositivo auxiliar ora utilizado.

Figura 5 – Máquina de corte de garrafa de vidro.



Fonte: 1001MULTI, Mercado Livre (2022).

Por fim, aplicou-se, efetivamente, o método de corte das garrafas e, executando-se conforme o projeto executivo, foram constituídos os cilindros de vidro em seis unidades e ainda o cilindro suporte em uma unidade, os quais passaram a serem identificados apenas como C1, C2, C3, C4, C5, C6 e CS, este último por se tratar da parte do filtro onde se localiza a camada suporte para o leito filtrante. Para finalização e acabamento das seções cortadas, os cilindros foram submetidos ao processo de lixamento com o uso de discos de lixas CAR55 120. Verificou-se,

ainda, a necessidade de postergação da unificação dos cilindros de vidro em coluna de filtração, visto que, implicaria na manipulação adequada do acoplamento dos piezômetros.

#### 4.3.3 Acoplamento dos piezômetros na coluna de filtração.

Primeiramente, para esta etapa, considerou-se o diâmetro perfurado nos cilindros de vidro como sendo o diâmetro externo inicial de encaixe dos piezômetros na coluna de filtração, mas, que, para efetiva leitura dos valores nominais de perda de carga hidráulica considera-se diâmetros internos superiores a 1 cm para que não haja influência significativa dos efeitos de capilaridade (NETTO; FERNANDEZ, 2015).

Com isso, foram definidas mangueiras transparentes tipo cristal de PVC, material similar ao do utilizado no trabalho de Ghisi *et al.* (2019), para as dez unidades de piezômetros propostas para acoplamento no filtro piloto. Para fixação das mangueiras no ponto imediatamente locado na saída da seção de conexão com o filtro selecionou-se o adesivo instantâneo como material fixador.

Com relação à estabilização das mangueiras no suporte do sistema foram adotadas abraçadeiras de alumínio locadas nos pontos de extremidade das réguas graduadas. Observou-se, ainda, a necessidade de colocação de tela na seção inicial de saída das mangueiras, visto que, ocorrer-se-ia a evasão de leito filtrante nos piezômetros.

#### 4.3.4 Caixa para o controle do fluxo de água.

Para condicionamento da vazão de água passante no sistema e, conseqüente estabilização do nível de água, adotou-se, portanto, a utilização de um reservatório a ser posicionado na parte superior do sistema de filtração, o qual, por gravidade, fornece a água bruta ao filtro piloto. Considerando, ainda, a dinâmica de variação da pressão da água fornecida no sistema, o que, por exemplo, ocasionaria no transbordamento de água no filtro, necessitou-se, então, da instalação de uma válvula para controle de vazão locada na saída do reservatório.

#### 4.3.5 Leito filtrante.

A princípio, para este sistema de filtro piloto, optou-se pela aplicação da camada filtrante simples, e, considerando recomendação da NBR 12216:1992, selecionou-se, portanto, a areia comum, a mesma foi adquirida por meio de doação. Tendo em vista a indispensabilidade de definição da granulometria da areia, realizou-se o seu ensaio granulométrico no laboratório de Engenharia Civil do Campus Tucuruí da UFPA. O processo de ensaio granulométrico da areia orientou-se pela NBR NM 248, o qual determina a composição granulométrica dos agregados. Quanto à utilização das peneiras, as utilizadas neste ensaio estão classificadas conforme a NBR NM-ISO 3310-1:1997.

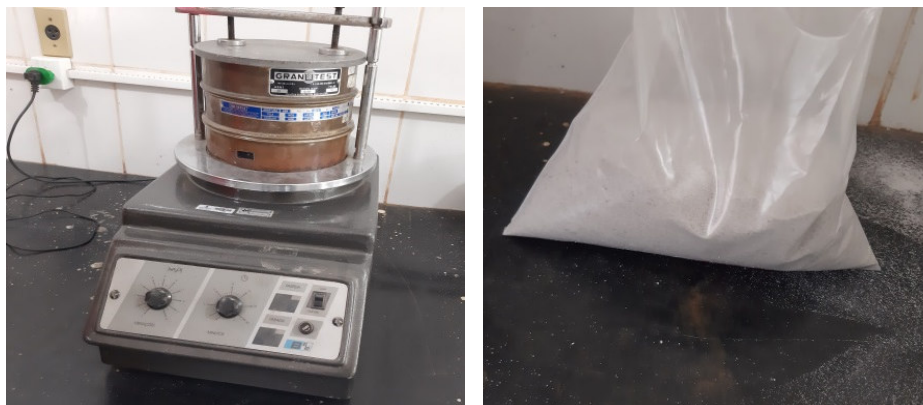
A laboração do ensaio granulométrico da areia, como leito filtrante, iniciou-se pela seleção das peneiras limitantes caracterizadas pelas granulometrias mínima e máxima. Com isso, portanto, considerando as peneiras disponíveis para ensaio no laboratório selecionou-se, como peneira limitante retentora de granulometria mínima, a de abertura de 0,425 mm e, para a peneira limitante passante, isto é, aquela pela qual se determina a granulometria máxima adotada, selecionou-se a de abertura de 0,600 mm.

Após a seleção, seguiu-se o processo de peneiramento da areia através da montagem das peneiras selecionadas e, posteriormente, submetidas ao agitador magnético por seções regulares de períodos de 2 minutos cada. Assim, determinou-se a granulometria de 0,425 a 0,600 mm para o leito filtrante do sistema de filtro piloto. Observa-se pela

Figura 6 o processo de ensaio granulométrico da areia.

Figura 6 – Processo de ensaio granulométrico da areia.





Fonte: Autores (2022).

#### 4.3.6 Água bruta.

Considerando o difícil acesso para captação e transporte de águas de mananciais próximos ao laboratório da FAESA para abastecimento do sistema piloto de filtração, decidiu-se, portanto pela utilização da água bruta fornecida pela rede de abastecimento de água do bairro Vila Permanente, Tucuruí, Pará. A água recebe tratamento de ciclo completo na ETA localizada no referido bairro. Com isso, necessitou-se, pela especificidade deste projeto, que a água de abastecimento do sistema piloto passasse por um processo induzido de aumento de sua turbidez.

Portanto, adotou-se, como método para elevação da turbidez da água, a inserção e mistura de material composto por partículas sólidas, para que, por similaridade, fossem aplicados parâmetros técnicos de turbidez concernentes ao método que Di Bernardo (2004) atribuiu na proposição de seu projeto, o qual se refere à indução da turbidez da água através da adição da caulinita, em ensaio laboratorial, na proporção de 21,5 para cada litro de água, a fim de que, obtivessem valores elevados de turbidez para experimentos com água caracterizados com 100 NTU e 300 NTU.

Para concepção e execução deste parâmetro, realizou-se o ensaio de simulação de turbidez da água no laboratório de qualidade da água da FAESA no campus Tucuruí da UFPA. O processo de ensaio passou, preliminarmente, pela seleção do material de partículas sólidas a ser inserido na amostra de 1 L de água bruta originária. Considerando, portanto, a indisponibilidade da obtenção da caulinita como material particulado provedor da turbidez, selecionou-se, por similaridade, o material particulado utilizado no trabalho de Reis *et al.* (2014), isto é, a argila comum.

O material selecionado, para este ensaio, origina-se da retirada de leito de cursos d'água e que é utilizado, comercialmente, como material primário para fabricação de tijolos. Feito isso, separou-se e pesou-se, no laboratório, a porção de 21,5 gramas de argila e adicionou-se na amostra de 1L de água. Após isso, submeteu-se a solução de água e argila para o processo de indução da turbidez da amostra de água, o qual, por um período de duas horas, esteve estimulado pelo agitador magnético.

Com isso, para leitura da quantificação da turbidez da amostra, utilizou-se o turbidímetro modelo AP2000 WT Policontrol, que, após inserção de uma pequena amostra da água turva simulada, registrou a turbidez da solução em 215 NTU, com incerteza máxima de  $\pm 4,30$  NTU. Por fim, reproduziu-se o referido método para elevação da turbidez da água do reservatório do sistema de filtro piloto e, considerando a mesma proporção, fez-se a pesagem e mistura de 2,150 Kg de argila para os 100 L de água do reservatório. A Figura 7 demonstra a etapa de simulação da turbidez da água bruta do sistema.

Figura 7 – Método de elevação da turbidez da água.



Fonte: Autores (2022).

#### **4.4 Etapa 4 – Operação do Sistema.**

A operação do sistema piloto de filtração iniciou-se por meio da manobra de ativação do fluxo de água bruta com turbidez induzida. Após a ativação do fluxo de água, regulou-se a vazão no sistema e fez-se caracterização dos valores de perda de carga hidráulica aferidos pelos piezômetros acoplados na coluna de filtração.

Para Ghisi *et al.* (2019) a análise piezométrica é de extrema importância para verificação do comportamento hidráulico da água passante no sistema em relação a seus parâmetros de qualidade, como a turbidez. Com isso, associado à granulometria e características do leito filtrante, fez-se, graficamente, o perfil de perda de carga hidráulica do sistema.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Concepção do sistema

Dentre a variedade de garrafas de vidro que objetivam a proposta de composição da coluna de filtração, selecionou-se, então, o modelo de garrafa de bebida alcoólica denominada Cachaça Pirassununga, popularmente conhecida como “Caninha 51”; para isso, considerou-se, também, a sua maior disponibilidade e acessibilidade em relação às garrafas similares a ela. A

Figura 8 mostra o modelo utilizado neste projeto.

Figura 8 – Garrafa de vidro selecionado.



Fonte: Loja Bemyhelp Essencial (2022).

Para construção da coluna de filtração utilizaram-se sete unidades da garrafa selecionada. Seis tornaram-se cilindros de vidro e uma em cilindro suporte conforme determinado em projeto. Verificam-se as dimensões utilizadas conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Garrafa utilizada para construção da coluna de filtração.

<b>Garrafa “51”</b>	<b>Largura (mm)</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Quantidade (un)</b>
Garrafa	85	296	6	7
Cilindro de vidro	85	15	6	6
Cilindro suporte	85	270	6	1

Fonte: Autores (2022).

Com relação ao suporte de fixação do sistema de filtro piloto, adotou-se a madeira tipo Pinus (Pinheiro) oriundo de suportes geralmente utilizados no setor de transporte, popularmente conhecido como “palets” de madeira, considerando que este material é de fácil acesso e, na maioria das vezes, adquirido de forma gratuita. Somado a isso, inclui-se o uso de abraçadeiras de alumínio, para o encaixe seguro da coluna de filtração ao suporte. Observa-se na

Figura 9 os materiais selecionados.

Figura 9 – “Palet” de madeira e abraçadeiras de alumínio.

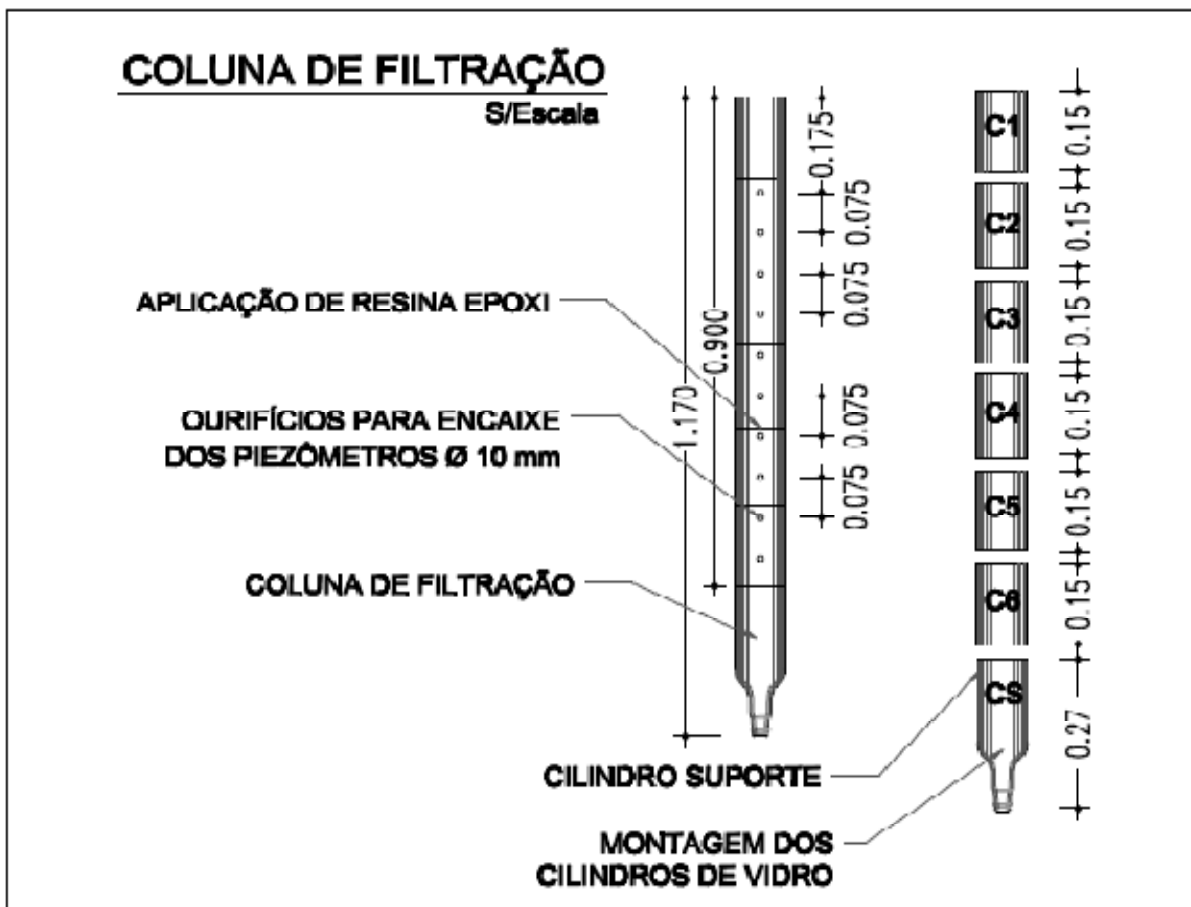


Fonte: Autores (2022).

## 5.2 Projeto do sistema piloto

O projeto executivo, após manipulação computacional no programa autocad 2D, gerou o produto de peças gráficas da composição de todo o sistema de filtro piloto, isto é, desde a concepção da coluna de filtração passando pelo acoplamento e disposição dos piezômetros e, ainda, interligando ao fluxo de abastecimento e nível de água passante no sistema. Observa-se pela Figura 10 a elaboração inicial do projeto de construção da coluna de filtração, onde se verificou o processo de transformação dos cilindros de vidro em coluna de filtração.

Figura 10 – Projeto inicial da coluna de filtração.

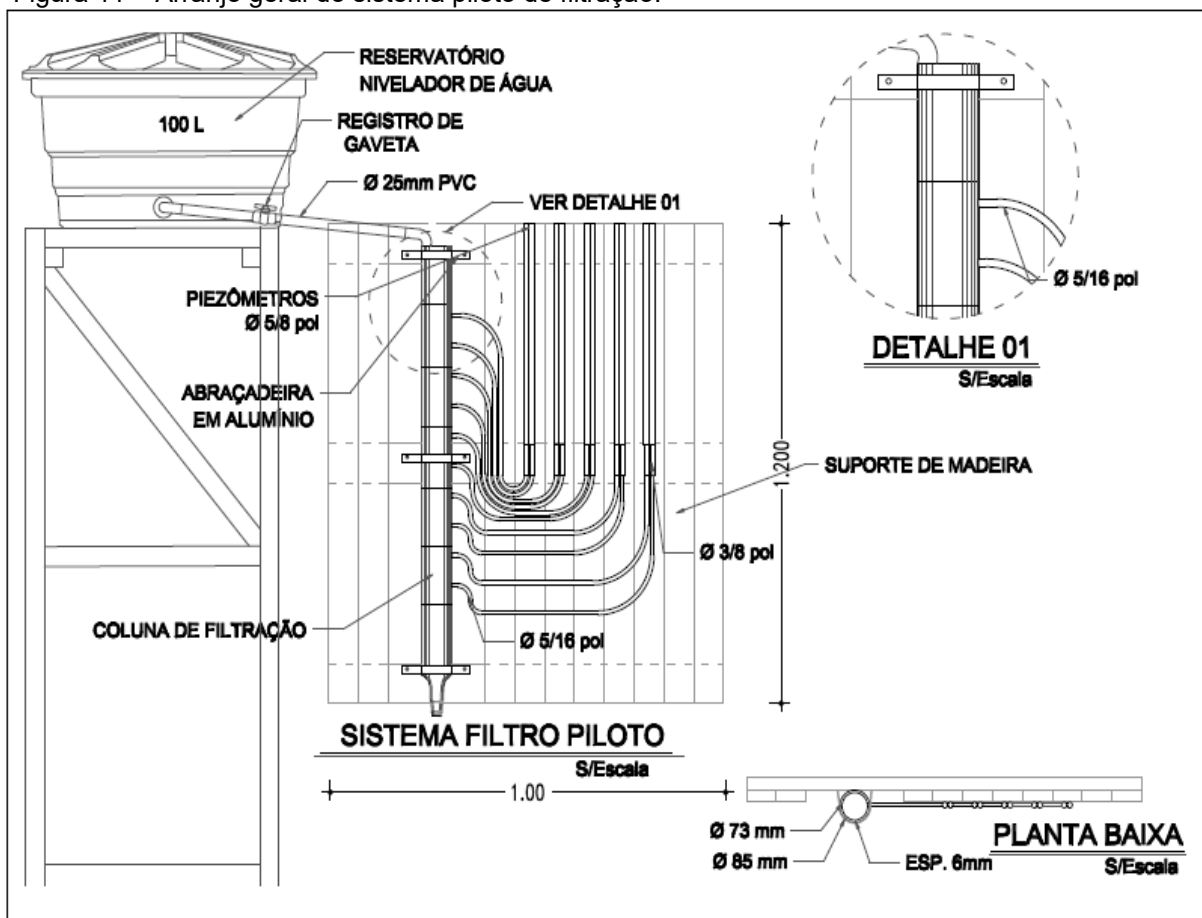


Fonte: Autores (2022).

Após a concepção inicial do projeto da coluna de filtração, elaborou-se o arranjo geral do sistema de filtração e a planta baixa da coluna de filtração fixada ao suporte de madeira.

Nesta etapa do projeto, fez-se a concepção com relação a distribuição uniforme das mangueiras piezométricas que ficariam fixadas no suporte de madeira por meio das abraçadeiras de alumínio. Por meio da Figura 11 verifica-se a versão definitiva do projeto contemplando o sistema completo, contemplando a aplicabilidade da proposição de funcionamento do sistema.

Figura 11 – Arranjo geral do sistema piloto de filtração.



Fonte: Autores (2022).

### 5.3 Construção do sistema

O processo de construção do sistema de filtro piloto, inicialmente, mostrou-se, por meio do método 2 de corte, exequível cumprindo o propósito inicial da modelagem dos cilindros de vidro; mas, com relação ao alinhamento do perímetro circular das seções cortadas, apresentaram-se falhas relativamente consideráveis equacionando o desalinhamento dos cilindros para posterior montagem da coluna de filtração e, conseqüentemente, onerou-se, bastante, o processo de lixamento das seções cortadas.

Com isso, mesmo após o processo de lixamento, os cilindros de vidro apresentaram ineficiência para o encaixe simétrico da coluna de filtração e, mediante a isso, limitaram-se as áreas de contato das junções dos cilindros.

Em relação, ainda, ao processo de concepção dos cilindros de vidro, o mesmo executou-se com auxílio da utilização de ferramentas elétricas e manuais,

tais como: furadeira, martelo, serra, alicate e chave de fenda. Os quais foram utilizados na montagem do disposto auxiliar de corte e na manipulação das garrafas. Podemos observar na Figura 12 a execução do processo inicial da construção da coluna de filtração.

Figura 12 – Processo de construção dos cilindros de vidro.



Fonte: Autores (2022).

A construção do suporte de madeira para o sistema piloto passou, preliminarmente, pelo processo de separação das peças de madeira compositoras do “palet” e, após readaptação e tratamento das peças, modelou-se e fixou-se o suporte na parede. Observam-se, pela Tabela 3, as dimensões e quantitativos de peças aproveitadas para construção do suporte de madeira.

Tabela 3 – Madeira utilizada para construção do suporte do sistema.

<b>Peça de madeira</b>	<b>Largura (cm)</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Quantidade (un)</b>
Palet	100	120	14	1
Peça vertical	9	120	2	10
Peça horizontal	9	100	2	3

Fonte: Autores (2022).

Foram utilizadas ao todo treze peças de madeira para construção do sistema, dez verticais e três horizontais, os quais passaram por processo de lixamento,

pintura e readaptação de montagem. Através da Figura 13 observa-se o processo de transformação das peças de madeira em suporte para o sistema.

Figura 13 – Construção do suporte de madeira.



Fonte: Autores (2022).

A etapa de montagem das mangueiras piezométricas necessitou ser composta de três seções com diâmetros subsequentes, para cada um dos piezômetros. Isso ocorreu devido o diâmetro adotado para leitura de carga hidráulica ser superior em relação ao diâmetro perfurado na garrafa.

A primeira seção, que foi acoplada diretamente na coluna de filtração, com diâmetro comercial interno de 5/16 pol e comprimento de 1 m; a segunda seção, com diâmetro comercial interno de 3/8 pol e comprimento de 8 cm; e a terceira seção, responsável pela leitura de perda de carga hidráulica, com diâmetro comercial de 5/8 pol e comprimento de 55 cm.

Adotou-se como material limitante da evasão do leito filtrante nos piezômetros, a tela em fibra de poliéster tipo mosquiteiro, a mesma foi fixada com a utilização do adesivo instantâneo 793 da Tekbond, e, este mesmo material colante também foi utilizado como fixador dos piezômetros nos cilindros de vidro. Pode-se observar através da Figura 14 o processo de montagem dos piezômetros.

Figura 14 – Etapa de acoplamento dos piezômetros.



Fonte: Autores (2022).

Somente depois de concluído o acoplamento dos piezômetros realizou-se a unificação dos cilindros de vidro e do cilindro suporte com a aplicação do adesivo de resina epóxi para uso profissional denominado Araldite, da Tekbond, o qual possui propriedades para rápida cura inicial e total, garantindo resistência na manipulação e mobilidade da coluna de filtração após a sua cura completa. Após teste de estanqueidade no sistema, o qual durou um período de uma hora, foram aplicados, nos pontos identificados e susceptíveis a vazamento, selante de poliuretano, PU 40, bem como, nos pontos de unificação da coluna de filtração, foram fixados tiras de manta asfáltica autoadesiva.

Observa-se, também, que os produtos utilizados para colagem e vedações no sistema, tais como: o adesivo instantâneo 793, a resina epóxi Araldite e o selante PU 40, podem apresentar, por características de suas composições, nocividade para a água em tratamento e conseqüente interferência em sua qualidade e potabilidade, mas que, considerando-se que a proposta deste trabalho não consiste na análise da qualidade da água tratada e, sim, por inferência, restringe-se aos métodos construtivos do sistema e da análise de perda de carga hidráulica.

Ressalta-se, ainda, que comercialmente há disponibilidade de produtos atóxicos compatíveis para aplicação nos materiais do sistema piloto. Por meio da Figura 15 verifica-se a montagem do sistema de filtração.

Figura 15 – Montagem da coluna de filtração.



Fonte: Autores (2022).

Para estabilização do nível de água no sistema utilizou-se o reservatório de polietileno de capacidade de 100 L. O reservatório de água utilizado neste sistema, bem como o seu suporte de sustentação, são de propriedade do próprio laboratório e foram cedidos para este experimento. Para controle da vazão de entrada no sistema conectou-se um registro de gaveta de PVC, diâmetro 25 mm, na rede de saída da caixa. Adaptou-se, como dispositivo de saída da água tratada, canalização para transporte da água até o recipiente de coleta e armazenamento temporário. Na Figura 16 observa-se a adaptação do reservatório ao sistema.

Figura 16 – Sistema de filtro piloto acoplado à rede de água.



Fonte: Autores (2022).

Com relação aos valores totais gastos para construção do sistema piloto de filtração, observam-se por meio da Tabela 4 os quantitativos referentes aos materiais utilizados desconsiderando os custos de mão de obra, pois foram executados pelos autores, e, ainda, desconsidera-se a estimativa de energia elétrica considerado desprezível em relação aos aparelhos elétricos utilizados.

Tabela 4 – Valores totais gastos para construção do sistema piloto de filtração.

<b>Material Utilizado</b>	<b>Quantidade (Var.)</b>	<b>Valor unitário (R\$)</b>	<b>Valor Total (R\$)</b>
Resina epóxi Araldite 16 g	3 un	21,00	63,00
Adesivo instantâneo 793 20 g	1 un	10,50	10,50
Selante PU 40	1 un	28,00	28,00
Manta asfáltica 0,30 m	1 m	9,00	9,00
Garrafa Caninha 51	7 un	*	*
Palet de madeira	1 um	*	*
Areia	*	*	*
Seixo	*	*	*
Broca diamantada	2 um	6,00	12,00
Mangueira transparente 5/16	10 m	1,60	16,00
Mangueira transparente 3/8	0,8 m	2,50	2,00
Mangueira transparente 5/8	5,5 m	3,20	17,60
Abraçadeiras de alumínio	3 um	6,00	18,00
Abraçadeiras de alumínio	10 um	1,00	10,00
Tela mosquiteiro	0,2 m <sup>2</sup>	14,00	2,80
Registro de gaveta PVC 25 mm	1 un	8,00	8,00
Tubo PVC 25 mm	2,5 m	*	*
Curva 90° PVC 25 mm	2 un	5,50	11,00
Joelho 45° PVC 25 mm	2 un	2,00	4,00
Adaptador curto 32 mm PVC	1 un	*	*
Bucha de redução curta 32 X 25mm	1 un	2,00	2,00
<b>Total</b>			<b>213,90</b>

Fonte: Autores (2022).

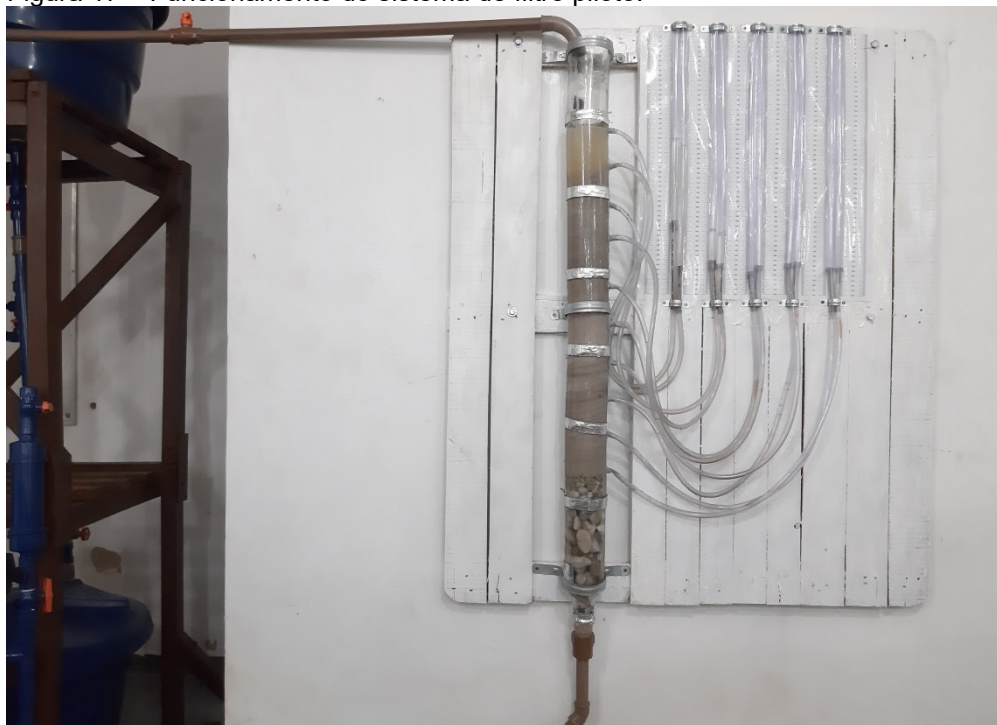
Notas:

\* Materiais doados ou cedidos.

## 5.4 Operação do sistema

Preliminarmente aos testes de operação do sistema de filtro piloto, adicionou-se, na coluna de filtração, o leito filtrante (areia) e a camada suporte (seixo rolado) com, respectivamente, camadas de 60 cm e 25 cm. Após esse processo de montagem final do filtro, ativou-se o fluxo de água através de manobra manual da válvula de saída do reservatório de água bruta e, após processo de regulagem da vazão da água, estabilizou-se o nível da água passante no sistema. Esse processo é demonstrado pela Figura 17.

Figura 17 – Funcionamento do sistema de filtro piloto.



Fonte: Autores (2022).

A análise de perda de carga hidráulica no sistema piloto, por meio dos piezômetros acoplados, demonstrou-se efetiva conforme se observa pela leitura piezométrica dos dois primeiros piezômetros posicionados na camada de água acima do leito filtrante, isto é, não apresentam valores de perda de carga. A partir do terceiro piezômetro vê-se, conforme característica granular do leito filtrante, leitura de valores de perda de carga, passando, gradualmente, até o sexto piezômetro.

Seguindo do sétimo até o décimo piezômetro os valores de perda de carga hidráulica observados, representaram-se visivelmente elevados, impossibilitando-os de serem mensurados pela régua graduada na terceira seção da mangueira

piezométrica. Cabe ressaltar que em relação aos seis piezômetros aferidos a leitura piezométrica na régua graduada não se observam os efeitos da capilaridade. Pela Figura 18 observa-se a análise piezométrica.

Figura 18 – Perda de carga hidráulica mensurados por piezômetros.



Fonte: Autores (2022).

Em relação aos piezômetros que não puderam ser aferidos na régua graduada, considera-se o fato de ter sido proposto e executado apenas a análise operacional do sistema para apenas um tipo de material leito filtrante, e que, este material associado à água bruta de elevada turbidez caracterizou a elevada perda de carga hidráulica em consequência da saturação do sistema de filtração. Os valores aferidos de perda de carga hidráulica pelos piezômetros observam-se pela Tabela 5.

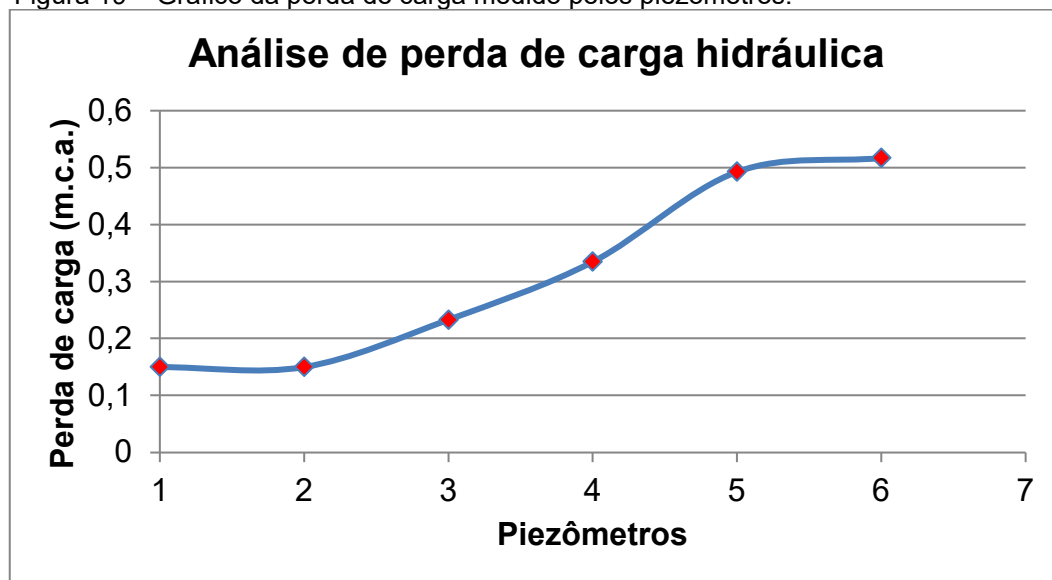
Tabela 5 – Perdas de carga hidráulica aferidos pelos piezômetros

<b>Piezômetros</b>	<b>Valor aferido (mm)</b>	<b>Perda de carga no trecho (m.c.a.)</b>	<b>Perda de carga acumulada (mc.a.)</b>
1	150	0	0
2	150	0	0
3	233	0,083	0,083
4	335	0,102	0,185
5	493	0,158	0,343
6	517	0,024	0,367

Fonte: Autores (2022).

Os valores aferidos de perda de carga hidráulica pela análise piezométrica, podem, também, serem observados graficamente conforme se demonstra pela Figura 19.

Figura 19 – Gráfico da perda de carga medido pelos piezômetros.



Fonte: Autores (2022).

Com relação aos valores absolutos aferidos pela análise piezométrica têm-se, primeiramente, para os dois primeiros piezômetros a leitura na régua graduada na posição 150 mm, isto é, a mesma leitura do nível de água regulado para funcionamento do fluxo de água no filtro. Do terceiro ao sexto piezômetro aferidos tiveram-se, respectivamente, as leituras na régua graduada nas seguintes posições: 233 mm, 335 mm, 493 mm e 517 mm; o que representou uma perda de carga total mensurada, considerando do primeiro ao sexto piezômetro aferidos, o equivalente a 0,367 m.c.a.

A perda de carga observada nos piezômetros aferidos graficamente apresenta perfil similar ao encontrado por Ghisi *et al.* (2019), onde verificou-se característica mais acentuada de perda de carga em filtros com fluxos descendentes em relação ao perfil observado pela perda carga em filtros com fluxo ascendente.

Em relação à turbidez da água observada na leitura piezométrica, justifica-se pelo fato da água bruta ter características de elevada turbidez, conforme método adotado de indução da turbidez, resultando no transpasse de partículas em suspensão em decorrência, conseqüentemente, da saturação do sistema de filtração de camada filtrante simples adotado. Considera-se, também, o fato do sistema

construído não dispor de carreiras de filtração e que não houve análise do comportamento de outros materiais filtrantes, sendo, portanto, alternativas importantes para análise da eficiência no tratamento da água bruta.

Em suma, referindo-se a proposição quanto à concepção, construção e operação do sistema de filtro piloto, cumpriram-se os objetivos que nortearam este trabalho. Apesar das limitações citadas, principalmente no que diz respeito ao processo de construção, a estrutura do filtro piloto demonstrou-se resistente em relação ao processo adotado para análise de sua operação; porém, ressalta-se a importância de outras análises a serem realizadas, principalmente, quanto a possibilidade de retrolavagem do filtro, o que implicaria na aferição da capacidade de resistência a pressão exercida a contracorrente, o que traria a este trabalho o diagnóstico quanto a assertividade referente a método de construção adotado.

## 6 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido apresentou-se como alternativa econômica e sustentável para elaboração de métodos construtivos e operacionais de um sistema de filtro piloto de baixo custo. Em relação aos materiais selecionados, ambos atendem, perfeitamente, as características essenciais para durabilidade e resistência inerentes a projetos deste cunho; pois possuem características de reuso sem que haja depreciação da qualidade de suas propriedades; todavia, faz-se um importante adendo com proposição de melhoria ao método de corte das garrafas, que, se feitas de maneira mais precisa, elevará a capacidade de resistência e durabilidade do filtro montado.

Os produtos colantes utilizados neste projeto apresentam características de toxicidade à água em tratamento, justifica-se seus usos mediante a alta capacidade de aderência, resistência mecânica e de estanqueidade; também, devido os parâmetros indicativos da qualidade da água tratada não serem objetivos orientadores deste trabalho; entretanto, com o aprimoramento do método de corte, recomenda-se a utilização de produtos atóxicos, como, por exemplo, o silicone atóxico utilizado em aquários, havendo ainda, comercialmente, outros produtos para este fim.

A leitura piezométrica apesar de mostrar gradativamente a perda de carga hidráulica no sistema de filtração, apresentaram, em quatro dos piezômetros acoplados, leituras inferiores ao limite pré-estabelecido nas réguas graduadas, cabendo, portanto, de ajustes no comprimento e posicionamento das mangueiras.

Ademais, como sendo este projeto um propulsor na concepção de um protótipo mitigador, não se orientou para a análise comparativa das características de outros leitos filtrantes em simples ou dupla camada, mas que, visando o desenvolvimento futuro deste projeto, ressalta-se a adoção para esse importante processo analítico; bem como, na proposição do estudo para definição do método mais adequado a ser adotado para retrolavagem do filtro.

## REFERÊNCIAS

AGNESINI, Marília Vasconcellos. **Avaliação de um sistema piloto de filtração direta descendente para produção de água de reuso a partir de efluente de esgoto sanitário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, 2020.

AMARAL, Daniela Soares; RODRIGUES, Elizangela Ronconi. **Reciclagem No Brasil: Panorama atual e desafios para o futuro**. Disponível em: <https://portal.fmu.br/noticias/reciclagem-no-brasil-panorama-atual-e-desafios-para-o-futuro/> acesso em 13 nov 2022. FMU, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8403**: Aplicação de linhas em desenhos – tipos de linhas - Larguras das linhas. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10126**: Cotagem em desenho técnico. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8196**: Desenho técnico - emprego de escalas. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10068**: Folha de desenho - leiaute e dimensões. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM-ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10067**: Princípios gerais de representação em desenho técnico. Rio de Janeiro, 1995.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7199**: Vidros na construção civil — projeto, execução e aplicações. Rio de Janeiro, 2016.

BERGAMINI, Natália Cedran; PATERNIANI, José Euclides Stipp. **Benefícios do emprego de mantas não tecidas instaladas no topo da camada de areia de filtros lentos no tratamento de água para pequenas comunidades**. Omnia Exatas, v.3, n.2, p.53-59, 2010.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5/2017 de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. Ministério da Saúde, Brasília, 2017.

BRASIL. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Conselho Nacional de Meio Ambiente, Brasília, 2008. Seção 1, p 64-68.

CANAL XPROJETOS. **Como cortar garrafa de vidro & fazer a resistência !!!**. Youtube, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jFB4b8OUemU>. Acesso em 09 mar. 2022.

COUTINHO, M. M.; ARAÚJO, R. N.; SILVEIRA, L. R. **Utilização da filtração lenta para tratamento de água com variações da turbidez**. Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia. v. 8, n. 1, p. 114-123, 2015.

DI BERNARDO, Ângela Silva. **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada**. 281 p. Tese (doutorado em Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

EMMENDOERFER, M. L. – **Filtração Lenta com retrolavagem para propriedades rurais de uso familiar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

FABY FRANCO. Cortando garrafa de vidro com barbante - parte 2. Aperfeiçoando a técnica.. Youtube, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=S0tLQDNapmE>. Acesso em 22 dez. 2022.

GHISI, Diego Brunelli *et al.* **Análise hidráulica de um filtro rápido bifluxo em escala piloto de dupla camada filtrante com descarga de fundo intermediária para tratamento de água de abastecimento**. Rev. DAE, São Paulo, v. 69, n 233, pp 201-216, Ed. Esp. Nov. 2021.

GUERRA, Yolanda. **Na contrarreforma da Reforma do Ensino Superior: Nótula Sobre o Curso de Graduação em Serviço Social para os Assentados na Reforma Agrária**. In: Revista Temporalis. n.21.p. 239-270, jan/jun, Brasília, DF, 2011.

KUBLER, H.; FORTIN, A.; MOLLETA, L. **Reúso de Água nas Crises Hídricas e Oportunidades no Brasil**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

KURODA, Emília Kiyomi. **Avaliação da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento em sistemas de dupla filtração**. 217 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2002.

LIMA, Julyenne Kerolainy Leite. **Avaliação da filtração direta descendente no tratamento de água de manancial com baixa turbidez e cor elevada**. 74 p.

Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais). IFRN, Natal, 2019.

NASCIMENTO, A. P.; PELEGRINI, R. T.; BRITO, N. N. **Filtração lenta para o tratamento de águas para pequenas comunidades rurais**. Revista eletrônica de engenharia civil, REEC, v. 2, n. 4, p. 54-58, 2012.

NETTO, José Martiniano de Azevedo; FERNANDEZ, Miguel Fernandez y. **Manual de Hidráulica**. 9ª ed. São Paulo: Ed. Blucher, 2015.

PENA, Rodolfo Ferreira Alves. **Poluição hídrica**. 2015. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/poluicao-das-aguas.htm>. Acesso em: 14 out. 2022.

REIS, Erivaldo Nascimento dos *et al.* **Obtenção de auxiliar de floculação a partir de resíduos de sementes de frutas visando o tratamento de água**. Revista GEINTEC, Vol. 4/n. 4/ p.1392-1398, São Cristóvão-SE, 2014.

RICHTER, Carlos A. **Tratamento de água**. 2015. Disponível em: [http://www.suapesquisa.com/o\\_que\\_e/tratamento\\_agua.htm](http://www.suapesquisa.com/o_que_e/tratamento_agua.htm). Acesso em: 16 out. 2022.

RODRIGUES, Valentina Teichmann; DEBONI, Ricardo Luis. **Substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de vidro moído no concreto**. Ponta Grossa: Aya, 2022.

SILVA, Andréa Alice Rodrigues. **Contrarreforma da Educação Superior Brasileira: A Expansão e a Privatização do Ensino**. In: VI Seminário CETROS: Crise e Mundo do Trabalho no Brasil. Itaperi: UECE, 2018.

SILVA, Karlos Marx de Sousa. **Descrição das tecnologias de tratamentos de água no Brasil e suas distribuições por regiões no país**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. Cajazeiras, 2020.

TEIXEIRA, A. R. **Aplicabilidade da Filtração Direta para o Tratamento de Água Eutrofizada**. 2004. 114f. Monografia (Especialização em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2004.

TEIXEIRA, M. G.; JUNIOR, E. C. S.; COUTO, E. C. S. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial no design de produtos em eco-compósito de resíduos particulados e pedaços descartados de madeira**. UTFPR, Ponta Grossa: Rev. Gestão Industrial, 2016.

UNESCO. **Portal da Qualidade da Água Mundial**. 2017. Disponível em: <http://www.worldwaterquality.org/>. Acesso em: 22 de out 2022.

VERGÍNIA, Fernanda Devaliere. **Monitoramento da estação de tratamento de água do Município de Imbituba-SC**. 2017. 60p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, 2017.

1001MULTI. Máquina Corte Reciclar Garrafas Vidro Com Base De Acrílico. Mercado Livre, 2022. Disponível em: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2940522921-maquina-corte-reciclar-garrafas-vidro-com-base-de-acrilico-\\_JM#position=18&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=3384daba-3c13-456b-9ddd-2e533598f6e0](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2940522921-maquina-corte-reciclar-garrafas-vidro-com-base-de-acrilico-_JM#position=18&search_layout=stack&type=item&tracking_id=3384daba-3c13-456b-9ddd-2e533598f6e0). Acesso em 29 nov. 2022.