



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Urbana  
Curso de Graduação em Engenharia Urbana

---



**Ana Clara Magalhães Carneiro**

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA SIMPLIFICADO DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZADO EM UMA ÁREA  
SUBNORMAL EM OURO PRETO - MG**

Ouro Preto

2025

Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de água utilizado em uma área subnormal em Ouro Preto - MG

Ana Clara Magalhães Carneiro

Projeto Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Urbana na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 04/04/2025

Áreas de concentração: Recursos Hídricos e Planejamento Urbano

Orientador: Prof. D.Sc. Paulo de Castro Vieira – UFOP

Ouro Preto

2025

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

C289a Carneiro, Ana Clara Magalhaes.  
Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de água utilizado em uma área subnormal em Ouro Preto-MG. [manuscrito] / Ana Clara Magalhaes Carneiro. - 2025.  
93 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Paulo de Castro Vieira.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Urbana .

1. Planejamento urbano. 2. Abastecimento de água. 3. Águas residuais - Purificação. 4. Monitoramento da Água. I. Vieira, Paulo de Castro. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 62:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Ana Clara Magalhães Carneiro**

### **Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de água utilizado em uma área subnormal em Ouro Preto - MG**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Urbana

Aprovada em 04 de abril de 2025

#### Membros da banca

[Doutor] - Paulo de Castro Vieira - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto

[Doutora] - Aline de Araújo Nunes - Universidade Federal de Ouro Preto

[Mestre] - Isabel Francisco de Araújo Reis - Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Mariana

[Paulo de Castro Vieira], orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/04/2025



Documento assinado eletronicamente por **Paulo de Castro Vieira, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/04/2025, às 13:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0898192** e o código CRC **F6805CDD**.

## **AGRADECIMENTOS**

“Louvai a Senhor, porque Ele é bom; porque sua benignidade é para sempre”. Quero começar dedicando esse momento para expressar minha gratidão por todas as bênçãos que tens derramado sobre minha vida. Obrigada, Deus!

Aos meus pais, Maria Márcia e Tutura, por guiarem meus passos, abençoarem minha jornada com suas orações e serem minha fortaleza sempre. À minha irmã, Bethina, por estar presente em todos os momentos e ser minha base de apoio e inspiração. À minha sobrinha, Giovana, por trazer luz, alegria e amor.

À toda minha família Magalhães e Carneiro por cada palavra de apoio.

À República Mexicanas, por ser meu lar durante os anos de graduação e se tornar minha segunda família da vida e para a vida toda. Vocês foram fundamentais para essa conquista, sou grata por tudo.

Aos meus amigos de Barra Longa, mesmo à distância, vocês sempre estiveram presentes.

Ao Professor Paulo, pela orientação dedicada, paciência e incentivo ao longo de toda graduação e ao longo do desenvolvimento desse trabalho. Você foi essencial para essa conquista e vou ser grata por toda a minha vida.

À Universidade Federal de Ouro Preto-MG, em especial à Escola de Minas, pelo ensino público e de qualidade, orgulho em fazer parte. A todos os professores do Departamento de Engenharia Urbana, pelos ensinamentos transmitidos, os quais foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

À Ocupação Chico Rei, por me acolherem e permitirem a realização desse trabalho. Foi uma experiência enriquecedora e que me proporcionou aprendizados que levarei para toda a minha vida. Obrigada pela ajuda! Sou imensamente grata por toda colaboração, confiança e acolhimento.

Ao Laboratório de Saneamento Básico do Departamento de Engenharia Civil (DECIV), pelo suporte técnico e infraestrutura disponibilizada. Por fim, agradeço a todos os meus colegas de curso que estiveram comigo do início ao fim dessa jornada.

*Enquanto o poço não seca, não sabemos dar valor à água.*

*Thomas Fuller*

## RESUMO

O estudo avaliou o desempenho de um sistema simplificado de abastecimento de água implementado em um acampamento de desabrigados em uma área subnormal do bairro Saramenha, em Ouro Preto-MG. Foi utilizado o método de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME), composto por uma combinação de dois pré-filtros dinâmicos, dois filtros lentos e seguido de desinfecção por meio de cloração com pastilha de cloro residual livre. O trabalho monitorou parâmetros físico, químicos e microbiológicos – pH, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, temperatura, cloro residual livre, coliformes totais e *Escherichia coli* – de acordo com a conformidade estabelecida pela Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde, durante o período de março de 2023 a fevereiro de 2024, resultando em 366 dias de monitoramento. A metodologia incluiu a caracterização da área subnormal de estudo, a coleta e organização dos dados, tanto em campo quanto em laboratório e por último, uma análise comparativa dos resultados com os padrões de potabilidade estabelecidos. Os resultados obtidos após o processo de desinfecção foram: turbidez máxima de 2,75 uT e a mediana de 0,68 uT; cor aparente máxima de 12 uH e mediana 1,66 uH; pH máximo 7,75 e mediana de 6,42; cloro residual livre máximo de 0,84 mg/L e mediana de 1,67 mg/L; coliformes totais com 77,5% das amostras negativas e *Escherichia coli* com 80% das amostras negativas. A eficiência de remoção da turbidez no PFD-LE foi de 1,50% e no PFD-LD foi de 36,92%, já a remoção da cor aparente no FL-LE foi de 33,33% e no FL-LD foi de 19,99%. Os resultados obtidos demonstraram que, embora o sistema apresente desafios operacionais e de manutenção, ele se mostrou eficaz na redução das impurezas e dos patogênicos que são prejudiciais à saúde humana, com isso, melhora a qualidade da água e reduziu riscos de contaminações dos usuários. A alternativa tem baixos custos e requisitos de implantação, operação e manutenção, portanto, pode ser considerada viável em comunidades sem acesso aos serviços de abastecimento convencional, reforçando a importância dessa solução alternativa coletiva implantada e monitorada na área subnormal.

Palavras-chaves: Área Subnormal, Solução Alternativa, FiME, Desinfecção e Monitoramento

## ABSTRACT

The study evaluated the performance of a simplified water supply system implemented in a homeless encampment located in a subnormal area of the Saramenha neighborhood, in Ouro Preto-MG, Brazil. The adopted method was the Multiple Barrier Filtration System (FiME), composed of a combination of two dynamic pre-filters, two slow sand filters, followed by disinfection using chlorine tablets with free residual chlorine. The system was monitored for physical, chemical, and microbiological parameters – pH, turbidity, apparent color, electrical conductivity, temperature, free residual chlorine, total coliforms, and *Escherichia coli* – in accordance with the standards established by the Brazilian Ministry of Health's Ordinance No. 888/2021, over a period from March 2023 to February 2024, totaling 366 days of monitoring. The methodology included the characterization of the subnormal area, data collection and organization both in the field and in the laboratory, and finally, a comparative analysis of the results against the established drinking water standards. After the disinfection process, the results were as follows: maximum turbidity of 2.75 NTU and a median of 0.68 NTU; maximum apparent color of 12 HU and a median of 1.66 HU; maximum pH of 7.75 and a median of 6.42; maximum free residual chlorine of 0.84 mg/L and a median of 1.67 mg/L; 77.5% of the samples tested negative for total coliforms, and 80% tested negative for *Escherichia coli*. The turbidity removal efficiency in PFD-LE was 1.50% and in PFD-LD was 36.92%, while the apparent color removal in FL-LE was 33.33% and in FL-LD was 19.99%. The results demonstrated that, although the system presented operational and maintenance challenges, it proved effective in reducing impurities and pathogens harmful to human health, thus improving water quality and reducing contamination risks for users. The system requires low implementation, operation, and maintenance costs and can be considered a viable alternative for communities without access to conventional water supply services, reinforcing the relevance of this collective alternative solution implemented and monitored in the subnormal area.

Keywords: Subnormal Area; Alternative Solution; Multi-Stage; Filtration (FiME); Disinfection and Monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impurezas geralmente presentes na água bruta. ....	18
Figura 2 - Esquema do FiME seguido de desinfecção. (Fonte: BRASIL, 2006). ....	19
Figura 3 - Representação da Filtração em Múltiplas Etapas. (Fonte: DI BERNARDO <i>et al.</i> ,1999) .....	21
Figura 4 - Mapa mental da Metodologia. (Fonte: elaborado pela autora). ....	31
Figura 5 - Imagem do local. (Fonte: VIEIRA <i>et al.</i> , 2023). ....	34
Figura 6 - Imagem de satélite do local. (Fonte: Adaptado de <i>GOOGLE EARTH</i> ) .....	34
Figura 7 - Imagem de drone do local. (Fonte: NOGUEIRA, 2023).....	35
Figura 8 - Desenho esquemático do sistema de tratamento implantado. (Fonte: VIEIRA <i>et al.</i> , 2023).....	36
Figura 9 - Sistema Implantado. (Fonte: VIEIRA <i>et al.</i> , 2023).....	37
Figura 10 - Parâmetro, pontos de coleta, frequência de amostragem e métodos analíticos. (Fonte: Adaptado de BRASIL, 2021).....	39
Figura 11 - Análise descritiva do parâmetro de Turbidez (uT). (Fonte: elaborado pela autora) .....	44
Figura 12 - Comportamento temporal da turbidez do lado esquerdo. (Fonte: elaborado pela autora) .....	50
Figura 13 - Comportamento temporal da turbidez do lado direito. (Fonte: elaborado pela autora). ....	51
Figura 14 - Caixa de passagem suja. (Fonte: elaborado pela autora) .....	53
Figura 15 - Caixa de passagem limpa. (Fonte: elaborado pela autora) .....	53
Figura 16 - Filtro lento com excesso de biofilme. (Fonte: elaborado pela autora) .....	54
Figura 17 – Filtro lento limpo. (Fonte: elaborado pela autora) .....	54
Figura 18 – Biofilme. (Fonte: elaborado pela autora).....	55

Figura 19 - Análise descritiva do parâmetro de Cor (uH). (Fonte: elaborado pela autora).....	57
Figura 20 - Comportamento temporal da cor aparente do lado direito. (Fonte: elaborado pela autora) .....	63
Figura 21 - Comportamento temporal da cor aparente do lado esquerdo. (Fonte: elaborado pela autora). .....	64
Figura 22 - Análise descritiva do parâmetro de pH. (Fonte: elaborado pela autora) .....	66
Figura 23 - Análise descritiva do parâmetro de cloro residual livre. (Fonte: elaborado pela autora) .....	70
Figura 24 - Análise descritiva do parâmetro de condutividade. (Fonte: elaborado pela autora) .....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise descritiva do parâmetro de Turbidez (uT). .....	45
Tabela 2 - Eficiência mediana de remoção de turbidez na linha esquerda do tratamento. ....	48
Tabela 3 - Eficiência da remoção da turbidez da linha direita do tratamento.....	49
Tabela 4 - Análise descritiva do parâmetro de Cor (uH). .....	58
Tabela 5 - Eficiência da remoção da cor aparente da linha esquerda do tratamento. ....	61
Tabela 6 - Eficiência da remoção da cor aparente da linha direita do tratamento. ....	62
Tabela 7 - Análise descritiva do parâmetro do pH. ....	67
Tabela 8 - Análise descritiva do parâmetro do cloro residual livre após a desinfecção (TC-S). ....	70
Tabela 9 - Análise descritiva do parâmetro de condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). ....	75
Tabela 10: Tabela geral dos Resultados. ....	79

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Doenças veiculadas pela água e seus agentes.....	14
Quadro 2 - Principais atividades diárias e periódicas do Pré-Filtro Dinâmico.....	24
Quadro 3 - Atividades de operação e manutenção periódicas e eventuais do filtro lento. ....	25

## **LISTA DE SIGLAS**

AB – Água Bruta

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

DRSAI – Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado

FiME – Filtração em Múltiplas Etapas

FL – Filtro Lento

FL-LD – Filtro Lento do Lado Direito

FL-LE – Filtro Lento do Lado Esquerdo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MS – Ministério da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PMOP – Prefeitura Municipal de Ouro Preto

PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico

PFD – Pré-Filtro Dinâmico

PFD-LD – Pré-Filtro Dinâmico do Lado Esquerdo

PFD-LE – Pré-Filtro Dinâmico do Lado Direito

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

SAC – Sistema Alternativo Coletivo

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
1.1	Objetivo .....	4
1.1.1	Objetivos Específicos.....	4
2	Justificativa.....	5
3	Referencial Teórico .....	7
3.1	Áreas urbanas subnormais.....	7
3.2	Importância do abastecimento de água.....	10
3.3	Solução Alternativa Coletiva de abastecimento de água.....	15
3.4	Etapas de tratamento de água para Filtração em Múltiplas Etapas seguido da cloração .....	17
3.5	Condições operacionais .....	23
3.6	Fatores que influenciam na remoção da turbidez .....	26
3.7	Fatores que influenciam na remoção da cor.....	26
3.8	Padrões de potabilidade .....	27
4	Metodologia.....	31
4.1	Caracterização da área de estudo.....	32
4.2	Organização dos dados de qualidade .....	37
4.3	Análise de dados .....	39
4.4	Análise da influência das condições operacionais.....	41
5	Resultados e Discussões .....	43
5.1	Turbidez.....	43
5.2	Cor aparente.....	56

5.3	pH.....	65
5.4	Cloro residual livre .....	69
5.5	Condutividade elétrica .....	73
5.6	<i>E. Coli</i> e Coliformes Totais .....	77
6	Considerações Finais.....	80
	Referências.....	81

# 1 INTRODUÇÃO

O acesso à água potável é um direito fundamental e uma necessidade básica para a saúde e o bem-estar humano. Como afirma a ONU na ODS 6, que em até 2030, irá alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), considera-se segura para o consumo humano a água que, ao ser ingerida ao longo da vida, não represente risco significativo à saúde.

No Brasil, diversas políticas públicas têm buscado garantir esse direito, entre elas os Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). No município de Ouro Preto, desde 2013 existe um PMSB que visa proteger a saúde pública, garantir uma gestão adequada dos serviços de saneamento e promover a melhoria da qualidade de vida da população (Prefeitura Municipal de Ouro Preto - PMOP, 2013). No entanto, mesmo com a existência desse plano, a realidade mostra que parte da população ainda não tem acesso a água tratada, evidenciando que o planejamento, por si só, não é suficiente para assegurar a universalização do serviço.

Essa limitação do alcance do plano é especialmente perceptível em áreas urbanas marcadas pela precariedade. Um exemplo disso é o assentamento desse presente projeto final de curso, o Acampamento Novo Taquaral, localizado no bairro Saramenha, também em Ouro Preto-MG, que sofre com a ausência de serviços essenciais, como o saneamento básico e o abastecimento de água

Diante desse cenário, a água destinada ao consumo humano deve obedecer a critérios de qualidade definidos por normas nacionais ou internacionais. No Brasil, a Portaria Nº 888/2021 estabelece os requisitos pré-definidos do padrão de qualidade da água potável (BRASIL, 2021). Contudo, em contextos de vulnerabilidade, como os assentamentos precários, o acesso a sistemas públicos convencionais muitas vezes é inviável. Por isso, a Portaria do Ministério da Saúde reconhece a importância de explorar alternativas descentralizadas e de baixo custo, como soluções simplificadas de tratamento de água, que possam ser implementadas com a participação da comunidade. Essas tecnologias alternativas incluem, por exemplo, sistemas de

filtração em múltiplas etapas seguido da cloração, captação e tratamento de água da chuva, e outras estratégias adaptadas às condições locais.

Nesse contexto, no acampamento Novo Taquaral foram desenvolvidas ações participativas com a população local com o objetivo de melhorar a estrutura de saneamento básico da comunidade. Entre as iniciativas implementadas, destaca-se a adoção de um sistema simplificado de tratamento de água baseado na tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME), considerada uma das alternativas viáveis para assegurar o acesso à água potável em áreas subnormais.

A relevância dessa tecnologia torna-se ainda mais evidente diante das limitações estruturais do acampamento, marcado pela ausência de infraestrutura básica. O sistema é de simples construção, nas quais o uso de instrumentos é quase inexistente e o custo é quase zero, o que o torna especialmente adequado para contextos de vulnerabilidade socioeconômica. Esse é dividido em duas partes: o pré-filtro dinâmico e o filtro lento. Primeiramente há a separação dos sólidos mais grossos e posteriormente há a remoção das partículas mais finas. Por último tem-se a cloração, ela é frequentemente usada e finaliza o tratamento de forma completa sem a presença de impurezas (FRANCO, 2010). Porém, a eficácia dessa tecnologia para garantir a segurança do consumo humano depende da qualidade dos mananciais, da constante manutenção e do monitoramento contínuo da qualidade da água (BRASIL, 2021).

Diante disso, a qualidade da água consumida exerce um papel fundamental na saúde da população. A ingestão de água contaminada pode causar diversas doenças de veiculação hídrica, colocando os moradores em constante risco de enfermidades como cólera, febre tifoide, diarreia e outras doenças. O acesso à água de boa qualidade, portanto, representa não apenas uma melhoria das condições sanitárias, mas também uma significativa redução na exposição a doenças e uma valorização da saúde coletiva (BRASIL, 2006). Além dos impactos físicos, a escassez de água potável afeta diretamente a qualidade de vida e a saúde mental dos moradores, intensificando o estresse e a insegurança provocados pela ausência desse recurso essencial.

Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo avaliar a atuação de um sistema simplificado de tratamento de água em um acampamento de desabrigados em Ouro

Preto, Minas Gerais (MG). A análise será baseada no desempenho estrutural e operacional do sistema quanto ao atendimento aos padrões físico-químicos e microbiológicos estabelecidos pela Portaria N° 888/2021 do Ministério da Saúde.

## **1.1 Objetivo**

Este projeto final de curso teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema simplificado de tratamento de água em um acampamento de desabrigados em Ouro Preto - MG.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

- Avaliar os parâmetros físico-químicos monitorados quanto ao atendimento aos padrões de potabilidade em vigor.
- Avaliar os padrões microbiológicos monitorados quanto ao atendimento aos padrões de potabilidade em vigor.
- Avaliar as condições operacionais do sistema que possam ter influenciado no desempenho de cada etapa do tratamento.

## 2 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento desordenado e a falta de planejamento das cidades, surgem diversas consequências no que se diz respeito à infraestrutura adequada para a população e até mesmo à qualidade de vida. Neste sentido um desafio de grande ênfase é a gestão dos recursos hídricos, pois com o crescimento conseqüentemente a demanda aumenta, sobrecarregando os sistemas de abastecimento, poluindo os recursos hídricos e contaminando os cursos d'água devido ao descarte inadequado dos resíduos sólidos, o acesso à água é desigual, onde áreas mais carentes sofrem com abastecimento irregular ou até mesmo pela falta dele (CASTRO, 2022).

Para enfrentar desafios como esse, na maioria das vezes a população busca alternativas de fonte de água para o abastecimento, esses recursos são denominados soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para o consumo humano (MASTROPAULO e RAZZOLINI, 2018). A água para consumo humano é atualmente uma das preocupações mais prementes do meio ambiente.

Em áreas onde a infraestrutura não é adequada e onde há boa qualidade da água do manancial, os sistemas simplificados de tratamento de água podem ser uma solução para garantir o acesso à água potável para toda àquela população residente no local (Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, 2018). Porém, o desempenho desses sistemas depende da avaliação dos parâmetros de qualidade da água, incluindo indicadores microbiológicos e físico-químicos.

O presente estudo visa avaliar os parâmetros de qualidade da água tratada em um acampamento de desabrigados em Ouro Preto-MG, concedendo dados essenciais para mostrar o quão eficaz podem ser esses sistemas simplificados. Além disso, os resultados podem servir como referência para a implementação de sistemas semelhantes em outras áreas que também são vulneráveis e carentes de infraestrutura.

Entretanto, o tema do presente trabalho tem uma grande relevância no âmbito profissional do Engenheiro Urbano pois conta como uma das atividades recomendadas pelo Crea - MG. É uma das recomendações estabelecidas que são relacionadas ao abastecimento de água, tratamento de água e estação de tratamento

de água, contando com atividades de operação, controle e vigilância de sistemas de tratamento de água.

Portanto, a importância desse projeto final de curso está em propor e abordar um problema real e urgente, que cresce cada vez mais na nossa realidade, que é o fornecimento de água segura e potável para a população vulnerável. E em acréscimo, colaborar e apresentar soluções práticas, sustentáveis e de baixo custo, que auxiliem na promoção da saúde pública.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Áreas urbanas subnormais

Um dos principais problemas de recursos hídricos no Brasil é o impacto resultante da urbanização desordenada. As cidades grandes na maioria das vezes têm sua captação de água maior que a capacidade dos mananciais, comprovando que um dos maiores desafios no ambiente urbano é a qualidade da água para o consumo humano (HOGAN, 2005). A poluição dos cursos d'água devido ao despejo de esgoto não tratado e à ausência de um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos é outro problema crítico em áreas urbanas (PEREIRA *et al.*, 2020).

Segundo o Censo Demográfico de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil possui uma população total de aproximadamente 203 milhões de pessoas, das quais cerca de 177 milhões residem em áreas urbanas enquanto cerca de 25 milhões vivem em áreas rurais. Esses dados confirmam que o Brasil é predominantemente urbano e tem experimentado um crescimento acelerado, o que impõe desafios significativos ao planejamento e à gestão urbana.

A rápida e caótica expansão das áreas urbanas torna os municípios incapazes de suprir as necessidades básicas da população, ocasionando uma série de problemas sociais e ambientais. Entre eles, destacam-se o aumento do desemprego, a edificação de moradias em locais impróprios, a elevação dos índices de criminalidade, a deficiência na mobilidade urbana e a degradação do ar e da água. Essa ocupação desorganizada resulta da convergência de diversos fatores, como a ausência de uma política de planejamento urbano efetiva (PARENTE e OLIVEIRA, 2019).

Para Tucci (2008), o objetivo do desenvolvimento urbano sustentável é melhorar a qualidade de vida da população com um ambiente conservado que atenda às necessidades da população. Os principais componentes da estrutura da gestão da cidade envolvem:

- Planejamento e gestão do uso do solo: planejamento por meio da criação de um Plano Diretor para ter um norte de como a cidade será estruturada e incluir os ajustes necessários;

- Infraestrutura viária, água, energia, comunicação e transporte: gestão desses componentes que são de extrema importância em um meio urbano e para a qualidade de vida de toda a população;
- Gestão socioambiental: monitoramento, fiscalização, avaliação e aprovação de projetos para garantir que o desenvolvimento urbano seja sustentável do ponto de vista social e ambiental.

A política de planejamento urbano, segundo o Governo Federal, tem como fim a redução da desigualdade nas cidades, oportunizar o crescimento ordenado e garantir a qualidade de vida da população. Nesse contexto, o Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/2001) é um marco jurídico que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelecendo diretrizes para o planejamento urbano com foco na inclusão social e no direito à moradia (BRASIL, 2001).

O novo marco do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), tem como objetivo principal diminuir a desigualdade e promover a saúde pública. Todos os setores do Governo, seja federal, estadual ou municipal, unam esforços para garantir o acesso amplo e a prestação eficiente dos serviços públicos de saneamento básico. O saneamento básico é o conjunto de serviços públicos, entre eles o abastecimento de água potável que é formado pelas atribuições desde a captação até as ligações prediais, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, esgotamento sanitário e drenagem e manejo das águas pluviais. Para que a população tenha acesso à água de qualidade e ao abastecimento de água, a prestação de serviço e as infraestruturas têm que estar dentro do padrão estabelecido (BRASIL, 2020).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2020), aproximadamente 176 milhões de pessoas no Brasil têm acesso à água tratada. O que mostra um número elevado de pessoas com esse alcance, mas ainda assim demonstrou um déficit, pois há uma parte da população sem atendimento de água potável de forma regular e segura. Esse déficit está diretamente relacionado com as desigualdades que se dão de região para região e de localidade para localidade. Em áreas que as infraestruturas urbanas são menores as dificuldades no fornecimento da água aumenta e com isso requer políticas públicas e investimentos

adequados nas infraestruturas, para assim garantir o abastecimento seguro (IPEA, 2010).

O urbanismo é uma disciplina atribuída da organização urbana, que estabelece que o saneamento básico é um componente essencial para todos. Essa teoria recomenda a implementação das políticas de saneamento básico em todas as cidades, alinhando com o art. 182 da Constituição, que trata da política do desenvolvimento urbano no Brasil. (STARCK *et al.*, 2024). É fundamental que os municípios priorizem a infraestrutura básica, uma vez que a responsabilidade dos serviços de saneamento é municipal e um dos principais componentes é o abastecimento de água potável.

Serviços esses que devem ser prestados segundo os princípios de universalização de acesso, eficiência, sustentabilidade econômica, qualidade, regularidade, dentre outros (BRASIL, 2007). Porém, a realidade não é essa. A falta de abastecimento de água para o consumo humano é cenário de muitas comunidades atualmente. Com isso, o recurso na maioria das vezes é uma solução alternativa coletiva de abastecimento de água (BRASIL, 2020).

A generalização do alcance da água potável é um dos maiores desafios para as políticas locais, pois devem atender a demanda crescente da população que vem crescendo cada dia mais nas cidades (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2023) e principalmente em Ouro Preto-MG, especialmente em áreas afastadas e rurais do município, para assim melhorar a distribuição da água em todas as áreas.

Ouro Preto é uma cidade histórica localizada em uma região montanhosa de Minas Gerais. A topografia acidentada e os recursos hídricos dispersos são características marcantes, a região enfrenta desigualdades sociais significativas, afetando o acesso a serviços essenciais como água potável e saneamento. Com isso, há localidades desprovidas de infraestrutura e serviços públicos e locais em condições precárias que não são reconhecidas pelos órgãos municipais. Resultando assim, na carência de políticas públicas de habitação de interesse social (IBGE, 2021).

A população atual de Ouro Preto é de 74.821 habitantes, de acordo com o censo do IBGE de 2022. Diante desse total, 66.387 pessoas, o que condiz com 89,19% da população total, recebem água potável da rede geral de distribuição dos serviços

públicos de abastecimento municipais. Essa totalidade, embora muito significativa, ainda indica que uma parcela da população, de 10,81%, enfrenta dificuldades no acesso à água tratada e segura. Esse déficit no atendimento que é essencial para todas as pessoas reflete o que se dá às desigualdades que estão presentes cada vez mais nas cidades (ALMEIDA, 2011). A dificuldade em fornecer infraestrutura urbana dentro do município para toda a população é um impasse de peso na cidade do presente projeto.

A desigualdade no acesso ao saneamento básico em Ouro Preto, como em muitas cidades brasileiras, deixa claro a demanda em investimentos constantes nas infraestruturas que são fundamentais para a saúde e o bem-estar humano, além de um planejamento urbano adequado para a localidade de Ouro Preto, onde encontra particularidades geográficas. Políticas Públicas e o envolvimento da comunidade local são essenciais para certificar a melhoria no abastecimento de água do município e a melhoria na qualidade de vida. Como dito anteriormente, de acordo com as diretrizes das Leis nº 11.445/2007 e nº 14.026/2020, Política Nacional de Saneamento Básico e o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, visam a universalização de acesso aos serviços de saneamento básico para todos e o compromisso para promover equidade e melhores os indicadores de saúde pública nos municípios.

Portanto, embora Ouro Preto tenha avançado significativamente na cobertura de abastecimento de água potável, a superação do déficit existente e a garantia de um serviço de qualidade demandam não apenas recursos financeiros, mas também uma gestão integrada, políticas públicas eficazes e a mobilização da comunidade local. Essas ações são fundamentais para assegurar o direito humano à água e promover um desenvolvimento urbano sustentável que contemple as necessidades de todas as gerações futuras.

### **3.2 Importância do abastecimento de água**

A água possui inúmeros benefícios e características, entre eles estão: é um recurso natural essencial que pertence a todos; tem valor econômico; não é um recurso ilimitado, e sim limitado; se um dia faltar água, ela tem que ser destinada

exclusivamente ao consumo humano e dos animais; o recurso deve sempre assegurar o aproveitamento da água diversificado (DI BERNARDO *et al.*,1999).

Segundo Tomasoni *et al.* (2009), a água além de ser um componente essencial para a vida humana em diversos tipos de uso, ela é essencial também para o funcionamento de todos os sistemas ambientais. A água doce é um recurso de maior interesse pois ela é indispensável para o funcionamento do corpo humano, apesar de que cada tipo de água, como exemplo a salgada, tem sua devida importância para o ambiente global.

De acordo com a Agência Nacional de Água (ANA) (BRASIL, 2019), aproximadamente 97,5% da água que existe no mundo é salgada, não adequada para o consumo humano, como dito anteriormente, e nem para o processo de irrigação da plantação. Já o restante, de aproximadamente 2,5% de água é doce, porém 69% delas o acesso é bem complexo pois está nas geleiras. Já 30% são águas subterrâneas e apenas 1% são as águas encontradas nos rios. Com isso, o uso tem que ser bastante atencioso para não haver uma escassez de água futuramente.

No Brasil, a água tem múltiplos tipos de usos devido à sua versatilidade e importância. A retirada da água no país se dá (ANA) (BRASIL, 2019):

- Irrigação: 49,8%;
- Humano Urbano: 24,3%;
- Indústria: 9,7%;
- Uso Animal: 8,4%;
- Termelétricas: 4,5%;
- Mineração: 1,7%;
- Humano Rural: 1,6%.

Demonstrando que a principal utilidade da água no Brasil é para a irrigação de lavouras e abastecimento humano. Cada tipo de uso da água está interligado e pode impactar de maneira específica tanto a quantidade quanto a qualidade dos recursos hídricos (ANA,2019).

A resolução do Conama de nº 357/2005, estabelece um sistema de classificação em que a água tem uma destinação diferente de uso em cada uma das classes e um

conjunto de condições e padrões de qualidade a serem cumpridos com base em parâmetros físicos, químicos e biológicos. Como exemplo para água doce, em rios e lagos, são pré-definidas cinco classes (classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4). De acordo com a resolução, as águas doces sempre serão classificadas na classe 2 enquanto não são comprovados nos outros enquadramentos das outras classes (classe especial, classe 1, classe 3 e classe 4). Porém, poderá ser qualificada em outra classe apenas se a qualidade for melhor.

As civilizações antigas com muita experiência, construíram suas formas de organização em torno das bacias hidrográficas e costas marítimas. A água era um elemento indispensável para todas as culturas, onde foi objeto de respeito e medo (PITERMAN e GRECO, 2005).

Como constata Azevedo Netto (1959), a cidade do Rio de Janeiro, no Brasil, começou a formar os serviços de saneamento básico primeiro que muitas cidades grandes de todo mundo, como Praga, Berlim, Nova Iorque, Buenos Aires, entre outras. Ademais, a obra de Saturnino de Brito deu ao Brasil relevância no cenário mundial no que diz respeito ao saneamento básico urbano.

Além disso, Azevedo Netto (1959) certifica diversas obras no Brasil e no mundo relacionadas ao saneamento básico, como:

- A Construção da galeria de esgotos de Nippur na Índia, em 3750 A.C.;
- Conduto subterrâneo para o esgotamento ao longo da via principal de Tell-Asmar, perto de Bagdá, em meados de 2600 A.C.;
- Construção por Salomão de esgoto predial do Grande Templo, em 970 A.C.;
- A primeira sanitarista chamada Empendocles executou uma obra de drenagem na parte baixa da cidade de Selinus, em meados de 450 A.C.;
- Construção do canal de despejos "*Menilmontant*", em Paris, em 1412;
- Três redes de esgoto foram executadas em Recife, em meados de 1873;
- Execução de rede de esgoto em Santos, em meados de 1889;
- Abertura do Canal de Drenagem de Chicago, em 1900.

Quando havia as primeiras instalações humanas, os primeiros cuidados eram estabelecer uma rede para o fornecimento de água. No início as instalações eram próximas das fontes de água. Mas, com a urbanização, passando de povoados as cidades, em alguns casos o recurso natural da água não era suficiente e/ou eram expostas ao contágio. Desde o início havia preocupação em relação à qualidade da água para o consumo humano e a busca sempre por melhores condições já era efetivo entre a população (SILVA, 1998).

O abastecimento de água, um dos pilares essenciais do saneamento básico, é resumido no tratamento e na distribuição. Como relata Lima (2021), o saneamento vem do latim “sanitize” que significa tornar saudável, higienizar e limpar. Além disso, o acesso à água potável está diretamente relacionado à qualidade de vida e ao bem-estar da população.

A qualidade da água está diretamente relacionada à saúde pública, pois o recurso pode vincular a um grande número de doenças e muitas delas graves. O meio mais comum de transmissão dessas enfermidades, que são causadas a depender da qualidade da água, é associado à ingestão (LIBÂNIO *et al.*, 2005). Através do sujeito que bebe a água contaminada que contém os componentes físicos, químicos ou biológicos negativos contaminantes e que provocam o aparecimento de doenças quando entra em contato com o organismo humano. O segundo meio comum é a escassez da água, que por consequência traz hábitos higiênicos impróprios e com isso vêm as doenças relacionadas a essa ação. Entretanto, é relevante deixar claro que tanto a qualidade quanto a quantidade da água são motivos para o aparecimento de doenças nos seres humanos (BRASIL, 2006).

A água de boa qualidade para o consumo humano e o fornecimento adequado desempenham um papel fundamental para a vida do ser humano. As doenças mais frequentes relacionadas à qualidade da água são: diarreias, cólera, dengue, febre amarela, tracoma, hepatites, disenterias, giardíase, conjuntivites, poliomielite, escabioses, leptospirose, febre tifoide, esquistossomose e malária (FUNASA, 2017).

Segundo o IBGE Cidades (2021), as Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) entre 2008 e 2019 totalizaram 0,9% de todas as mortes ocorridas no Brasil. Ainda mais, foram notificados nesse período um total de

11.881.430 casos de DRSAI e as principais doenças causadoras dos óbitos no país são doenças de chagas, diarreia e disenteria. O Quadro 1 mostra as principais doenças transmitidas pela ingestão da água e suas formas de transmissão.

Quadro 1 - Doenças veiculadas pela água e seus agentes

<b>DOENÇAS CAUSADAS POR BACTÉRIAS</b>	<b>FORMAS DE TRANSMISSÃO</b>
Febre tifoide e paratifoide	Ingestão do agente patogênico por meio de alimentos contaminados, água contaminada por fezes e contaminação de indivíduo para indivíduo
Disenteria bacilar	Ingestão do agente patogênico por meio de alimentos contaminados, água contaminada por fezes e contaminação de indivíduo para indivíduo
Cólera	Ingestão do agente patogênico por meio de alimentos contaminados, água contaminada por fezes e contaminação de indivíduo para indivíduo
Gastroenterites agudas e diarreias	Ingestão do agente patogênico por meio de alimentos contaminados, água contaminada por fezes e contaminação de indivíduo para indivíduo
<b>DOENÇAS CAUSADAS POR VÍRUS</b>	<b>FORMAS DE TRANSMISSÃO</b>
Hepatite A e E	Ingestão do agente patogênico por meio de alimentos contaminados, água contaminada por fezes e contaminação de indivíduo para indivíduo
Poliomielite	Ingestão do agente patogênico por meio de alimentos contaminados, água contaminada por fezes e contaminação de indivíduo para indivíduo
Gastroenterites agudas e crônicas	Ingestão do agente patogênico por meio de alimentos contaminados, água contaminada por fezes e contaminação de indivíduo para indivíduo

Fonte: FUNASA (2014).

O acesso à água tratada de maneira adequada é fundamental para a promoção da saúde de uma população. Diversas enfermidades podem ser evitadas por meio da adoção de estratégias alternativas para o abastecimento hídrico. A utilização dessas técnicas é uma opção quando não há sistemas de captação, tratamento e distribuição, por parte do poder público, meio convencionalmente adotado no país. Com isso, a busca por sistemas alternativos coletivos, principalmente em áreas afastadas e desprovidas dos sistemas convencionais de abastecimento de água, é uma solução eficaz, de fácil construção e de fácil manutenção (MORAIS, 2014).

No atual projeto, o Sistema Alternativo Coletivo (SAC) é o método utilizado para a garantia e proteção da saúde dos moradores que vivem na localidade.

### **3.3 Solução Alternativa Coletiva de abastecimento de água**

O Ministério da Saúde, pela norma de Nº 888/2021, estabelece os padrões de qualidade da água para o consumo humano no Brasil, prevenindo diversas enfermidades e elevando a saúde da população residente do local. Em pequenas áreas, onde não há rede de abastecimento de água, a população fica exposta a uma água contaminada e de baixa qualidade. Com isso, buscam soluções alternativas coletivas de abastecimento de água (SAC) e a legislação vigente do Brasil impõe que toda água fornecida de forma coletiva seja adequadamente tratada e tem que estar dentro dos padrões pré-estabelecidos pela norma brasileira (FUNASA, 2017).

A maioria da população que reside em áreas mais afastadas, que não são providas de um adequado sistema de abastecimento de água, não reconhece que a água que vêm de um manancial superficial, como por exemplo uma nascente, muitas das vezes estão contaminadas por microrganismos que se manifestam através de vírus, bactérias, protozoários, entre outros, por meio do método mais comum para pegar as doenças, a ingestão (TOLEDO *et al.*, 2012).

A solução alternativa coletiva (SAC) de abastecimento de água compreende destinar a água a partir de uma captação subterrânea ou superficial (FUNASA, 2017), no qual presente trabalho abordará com mais ênfase o funcionamento de um sistema simplificado de abastecimento de água com captação superficial.

De acordo com a Portaria Nº 888/2021 a solução coletiva de abastecimento de água para consumo humano (SAC) é a modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, sem rede de distribuição.

As soluções alternativas coletivas são essenciais para o fornecimento de água tratada em áreas afastadas, seja áreas rurais ou áreas urbanas. A utilização dessa tecnologia alternativa se dá devido a diversos fatores, sendo um dos principais fatores a falta de um sistema adequado de abastecimento de água potável, devido à falta de recurso e de políticas públicas (BEZERRA, 2017).

As soluções alternativas diferem dos sistemas de abastecimento tradicional pois não apresentam rede de distribuição (instalação composta por conjunto de obras civis destinadas à distribuição canalizada de água potável), e sim um sistema de menor custo de instalação e manutenção e sem a necessidade de obra civil, pois é de fácil montagem (BRASIL, 2021).

Uma das tecnologias aplicadas no sistema alternativo coletivo de abastecimento de água é a Filtração em Múltiplas Etapas seguida da cloração, na qual é a tecnologia usada no presente trabalho final de curso. Essa tecnologia aumenta a qualidade de vida e o bem-estar de toda população residente do local e aumenta a conscientização da população sobre a importância de um tratamento de água adequado para o consumo (DI BERNARDO *et al.*, 1999).

Entretanto, a implementação de soluções alternativas coletivas (SAC) traz uma série de preocupações em relação ao atendimento aos padrões de qualidade estabelecidos pela Portaria Nº 888/2021 que garante que a água que é consumida pela população esteja dentro dos padrões e em segurança (BRASIL, 2021).

Por fim, o SAC é de extrema importância como uma estratégia de fornecer água de qualidade para as pessoas que não têm acesso a sistemas convencionais de distribuição de água potável. O SAC capta, trata e distribui a água de maneira simplificada, atendendo todos aqueles que moram no local com água de qualidade (FUNASA, 2017).

Uma solução alternativa coletiva de abastecimento de água semelhante é a que se refere ao abastecimento por meio de carro-pipa. O sistema de distribuição do carro-pipa é feito por caminhões equipados com tanques de armazenamento, a fim de ter uma distribuição segura para o consumo humano adequado. A qualidade da água também segue as diretrizes estabelecidas pela Portaria Nº 888/2021, a fim de evitar as contaminações físico-químicas e as microbiológicas. Além disso, o responsável pela distribuição terá que comprovar a origem da água para certificar que é de boa qualidade para o consumo humano (BRASIL, 2021).

### **3.4 Etapas de tratamento de água para Filtração em Múltiplas Etapas seguido da cloração**

A água para ser segura ao consumo, é indispensável que ela passe por tratamento adequado e apresente boa qualidade, atendendo aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, pela Portaria de Nº 888/2021, e assim promover a qualidade de vida, o bem-estar e com isso não oferecer nenhum tipo de risco às enfermidades que são causadas pela má qualidade da água ofertada, pela escassez da água e pelo mal uso (BRASIL, 2018).

De acordo com Di Bernardo *et al.*, 1999, a água bruta que vem das nascentes, manancial que é utilizado no presente estudo, quase sempre contém materiais flutuantes decorrentes de diversas razões naturais e antropogênicas, dependendo de como são as características ao ambiente ao redor do manancial. Os pequenos galhos, as folhas de árvores, areia, argila, matéria orgânica como as algas em algumas das vezes, organismo como exemplo os protozoários, bactérias e vírus, todos podem estar presente na água bruta do manancial, trazendo risco à saúde humana, e por isso, a remoção destes nas etapas de tratamento é crucial em qualquer tipo de sistema que se usa para o abastecimento de água, tanto os sistemas convencionais quanto os sistemas não convencionais, como é o exemplo desse projeto (DI BERNARDO *et al.*, 1999).

Quando o tratamento se trata de um procedimento sem o processo de coagulação química, as principais etapas que atestam a boa qualidade da água para o consumo humano são os processos de filtração lenta e o processo de cloração. No entanto, o processo de filtração lenta só vai ser eficaz se a turbidez da água bruta estiver dentro do padrão de potabilidade da legislação vigente, que não pode ultrapassar o valor de 10 uT (VERAS; DI BERNARDO, 2008). O tratamento da água descreve os processos utilizados para tornar a água mais aceitável para a utilização final desejada que na maioria das vezes é para o consumo humano, e nisso aumenta a saúde pública, a qualidade de vida e o bem-estar (GUEDES *et al.*, 2017).

A Figura 1 demonstra como ficaria a água com esses materiais provenientes da água bruta.

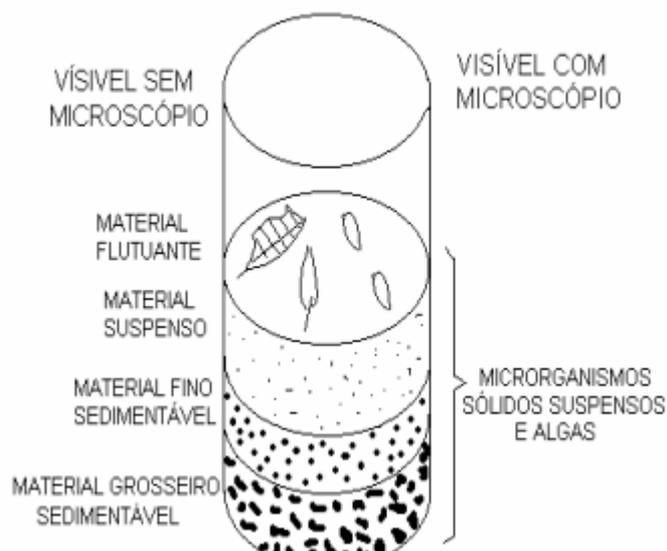


Figura 1 - Impurezas geralmente presentes na água bruta.

(Fonte: DI BERNARDO *et al.*, 1999)

A sequência de tratamento que envolve a utilização de pré-filtro dinâmico, e a filtração lenta como barreira microbiológica, tem sido denominada de Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) (MACHADO; DI BERNARDO, 1997), esse tipo de tratamento é o abordado no presente trabalho, pois será a técnica aplicada no experimento realizado. A escolha desse sistema se deve à sua positiva eficiência na remoção das impurezas por meio da combinação dos processos de filtrações, além de que é uma alternativa viável para o tratamento de água em regiões onde não há presença de sistemas convencionais (MACHADO; DI BERNARDO, 1997).

De acordo com Machado e Scalize, 2012, nessa tecnologia, a água passa por diferentes etapas de tratamento, em cada qual ocorrendo uma remoção gradativa das substâncias mais compactas. O fundamento principal consiste em não deixar que a água bruta que contém substâncias sólidas, passe para o tratamento seguinte sem sobrecarregar o sistema, evitando o entupimento do meio e garantindo a eficiência do sistema, trazendo resultados satisfatórios das análises. Ou seja, um dos seus principais objetivos é reter as partículas maiores na etapa 1, na pré-filtração dinâmica, fazendo com que a água que vá para os filtros lentos esteja com a turbidez e a cor dentro dos padrões pré-estabelecidos pela norma nacional em vigor, a da portaria de Nº 888/2021 (MACHADO e SCALIZE, 2012). Após as etapas da filtração em múltiplas etapas tem o processo de desinfecção, como mostra a Figura 2:

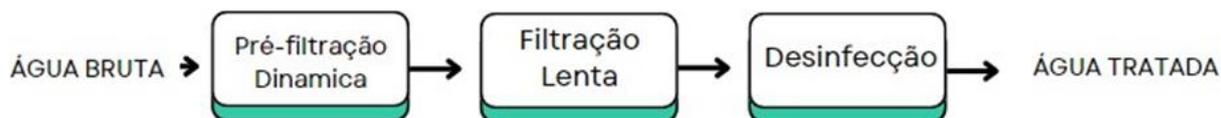


Figura 2 - Esquema do FiME seguido de desinfecção. (Fonte: BRASIL, 2006).

Na primeira fase da filtração em múltiplas etapas, tem-se o pré-filtro dinâmico. Nele, tem-se a remoção inicial dos sólidos suspensos mais compactos e uma parcela dos sólidos finos, e pela redução da turbidez e da cor da água bruta (CAMPLESI, 2009). Essa fase tem como objetivo principal proteger as próximas unidades do sistema simplificado de tratamento de água, como o filtro lento, evitando o acúmulo excessivo de matérias sólidas e partículas no meio filtrante. Ou seja, o pré-filtro dinâmico atua como uma barreira inicial, na qual é essencial para aumentar a eficiência e a vida útil das seguintes etapas do tratamento e aumentar assim, a qualidade da água que é ofertada para a população (MACHADO e DI BERNARDO, 1997).

Ele é uma unidade composta de materiais granulares de composição granulométrica maior, de maneira que, na maioria das vezes, somente o material mais fino irá se localizar no topo da unidade, enquanto as maiores são destinadas às camadas inferiores. Isso outorga que quando há uma concentração maior de sólidos suspensos da água bruta evita que uma quantidade excessiva dos sólidos atinja as demais etapas e os demais filtros e dessa forma, protege as unidades seguintes do sistema de tratamento e prepara a água para passar pelas etapas seguintes com uma maior eficiência (MACHADO; DI BERNARDO, 1997).

Além disso, em período de chuvas intensas a matéria orgânica pode ser levada até a água bruta com uma maior facilidade, e com isso, o pré-filtro dinâmico atua de forma eficiente na remoção dessa matéria orgânica, prevenindo assim o entupimento adiantado dos filtros lentos e garantindo também o tratamento mais adequada da água. Onde há uma grande influência de atividades humanas, fazendo com que a água bruta também apresenta uma alta presença de sólidos suspensos, a funcionalidade do PFD é bastante importante (FUNASA, 2017).

A utilização do pré-filtro dinâmico é conveniente em sistemas simplificados de abastecimento de água localizados em áreas desprovidas de infraestrutura e de

recursos financeiros e técnicos. É uma tecnologia de baixo custo, fácil implementação e acessível para promover a melhoria da qualidade da água bruta e aumentar a saúde hídrica, diminuindo a veiculação de doenças na comunidade atendida (CAMPLESI, 2009).

Ele desempenha um papel na condição de sustentabilidade em relação ao abastecimento de água, pois o uso dos recursos naturais é eficiente e com isso, reduz os impactos ambientais. Além disso, promove um abastecimento seguro e confiável para a população que depende desse tipo de recurso e do tratamento (BRASIL, 2021).

A última etapa da filtração em múltiplas etapas é o filtro lento, no qual é reconhecido por ser de simples operação e é eficiente na remoção de contaminantes tanto biológicos quanto químicos. É composto por uma dupla camada de areia e carvão antracito, ajudando na remoção da matéria orgânica dissolvida. O efeito positivo do filtro lento depende da qualidade da água bruta, da operação e de como o pré-filtro dinâmico está funcionando (LIMA, 2020). A filtração é predominantemente biológica e é caracterizada pela formação da camada biológica chamada de biofilme ou "schmutzdecke", formada na superfície do meio filtrante dos filtros lentos, na qual demora algumas semanas para se criar. Ele é responsável pela remoção de grande parte das impurezas presentes na água. Com isso, somente depois da geração dessa camada biológica que a água fica com a qualidade aceitável (VIEIRA *et al.*, 2023). O biofilme é formado por matéria orgânica, bactérias, algas, protozoários etc., e age como uma barreira viva e altamente eficiente (MACHADO e DI BERNARDO, 1997).

Uma das várias vantagens do filtro lento é a não necessidade da adoção de coagulantes ou floculantes, produtos químicos, tornando uma opção mais sustentável e inclusiva em áreas onde a infraestrutura não é adequada para o ser humano, pois é fácil de operar e de manter, se tornando ideal para os sistemas simplificados de abastecimento de água em áreas pequenas (MURTHA *et al.*, 1997), como é o caso da área em estudo. O filtro lento trabalha com taxas de filtração baixas e utiliza meio filtrante de granulometria fina. O uso de baixas taxas de filtração proporciona um maior tempo de contato da água sobre o meio filtrante e no seu interior, o que favorece uma intensa atividade biológica no filtro lento e garante uma remoção eficaz dos contaminantes. A granulometria fina, composta por areia e carvão antracito, certifica

a remoção das partículas finas do meio filtrante e assim, melhora a qualidade da água no que diz respeito à redução de turbidez e da cor, garantindo uma água de qualidade apropriada para logo passar pela desinfecção de modo mais efetivo (MACHADO e DI BERNARDO, 1997).

A Figura 3 demonstra o esquema dos pré-filtro dinâmicos e dos filtros lentos:

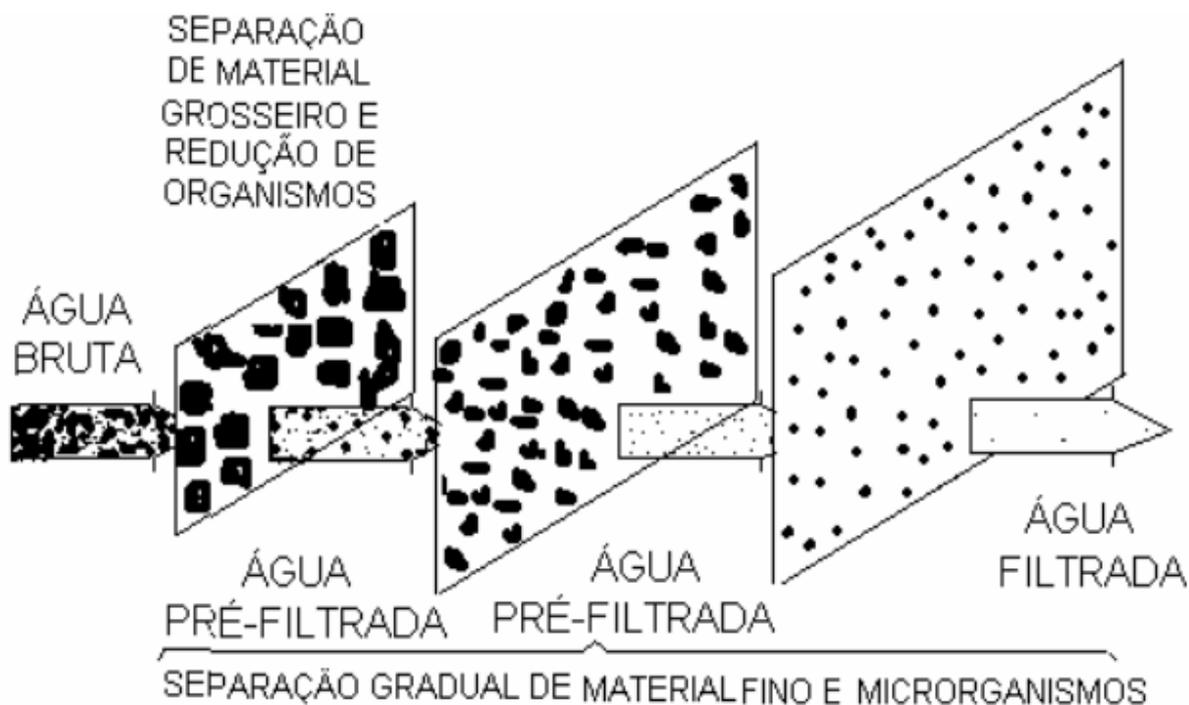


Figura 3 - Representação da Filtração em Múltiplas Etapas. (Fonte: DI BERNARDO *et al.*,1999)

Em seguida, a desinfecção constitui na etapa do tratamento da água, tendo como principal função a eliminação de organismos patogênicos que possam estar presentes na água, incluindo bactérias, protozoários e vírus, sendo parte fundamental no processo do tratamento da água. Por mais que nas outras etapas haja uma redução dos micro-organismos, somente na etapa da desinfecção que há a inativação de qualquer tipo existente e previne o crescimento microbiológico nas redes de distribuição. Há diversas enfermidades veiculadas à água, com isso é claro que o processo de desinfecção deve ser priorizado no processo do tratamento da água (FUNASA, 2014). O processo de desinfecção mais aplicado no sistema simplificado de abastecimento de água é o que emprega o cloro como agentes

desinfetantes, no objeto utilizado no presente trabalho são usados dois tipos de cloradores de pastilha. A cloração, junto com outras etapas do processo de tratamento da água, é eficaz na inativação de bactérias, e a água resultante atinge a norma de potabilidade quanto ao parâmetro microbiológico (TEIXEIRA *et al.*, 2012).

O clorador de pastilhas é uma alternativa prática e eficiente para as comunidades que são carentes de infraestrutura para o abastecimento de água. Essa tecnologia é de fácil operação e manutenção, e é seguro para se mexer com as próprias mãos (VENTURA e GUIMARÃES, 2022). No entanto, para garantir a eficiência do processo de cloração, é fundamental monitorar a dosagem e o residual de cloro livre na água tratada, assegurando que os níveis estejam dentro dos padrões de potabilidade definidos pela Portaria de N° 888/2021.

A desinfecção reduz o risco de enfermidades de veiculação hídricas, como giardíase, hepatite, entre outras; desempenha um papel importante no aumento da saúde da população local onde não tem instrumentos de saneamento básico e a água bruta é altamente contaminada microbiologicamente e garante o fornecimento de água potável à toda população residente do local (TEIXEIRA *et al.*, 2012).

Outrossim, a efetividade do processo de desinfecção no sistema simplificado de abastecimento de água, do atual estudo, está diretamente relacionada à qualidade da água quando ela chega na etapa de desinfecção. Por exemplo: se a água chegar com alta turbidez, a dificuldade no processo de desinfecção é maior, já que vão existir partículas em suspensão que dificultam o processo. Com isso, fica claro que o funcionamento adequado das etapas anteriores, da pré-filtração e da filtração lenta, é fundamental para o êxito na etapa de desinfecção (BRASIL, 2006).

Portanto, a desinfecção é uma etapa extremamente importante para combater a propagação de doenças e é um componente essencial para o fornecimento de água com qualidade e confiável para a comunidade do local (BRASIL, 2006), e assegurando que esteja sempre dentro dos padrões de qualidade e segurança como exige a portaria de N° 888/2021, do Ministério da Saúde.

### 3.5 Condições operacionais

As boas condições operacionais de um sistema de abastecimento de água, em especial as etapas de tratamento, são imprescindíveis para a manutenção da qualidade de água para consumo humano (JESUS E ALMEIDA, 2023). As tecnologias de filtração em múltiplas etapas (FiME) a operação e a manutenção são simplificadas e de baixo custo, como dito anteriormente. E, embora as atividades sejam simples, devem ser feitas com muita atenção para garantir o bom funcionamento e garantir a qualidade adequada da água para toda a população residente do local (CASTRO, 2022).

A operação do Pré-Filtro Dinâmico consiste em 3 atividades diárias (DI BERNARDO *et al.*, 1999):

- controle e registro das vazões na entrada e saída de cada unidade;
- determinação e registo da qualidade, utilizando os parâmetros;
- avaliação e acumulação do lodo na superfície do meio filtrante.

Quando há uma diminuição significativa da vazão no sistema e uma perda de carga, indica que é necessário realizar a limpeza da unidade para garantir o bom funcionamento e fornecimento de água potável do sistema. Além disso, quando há uma crescente retenção de impurezas no meio filtrante e a quantidade de lodo que se forma na superfície do filtro esteja em grande quantidade, indica-se também que deverá realizar a limpeza do mesmo (DI BERNARDO *et al.*, 1999).

A limpeza do pré-filtro dinâmico é uma operação manual simples, geralmente com duração de no máximo 60 minutos e com a utilização de equipamentos básicos para a operação, como pá, rastelo, bucha, luva, botas, entre outras (Di Bernardo *et al.*, 1999) A higienização dos filtros e dos demais componentes é feita por uma descarga de fundo em pulsos de 10 segundos e uma retrolavagem com água tratada por bombeamento (VIEIRA *et al.*, 2023).

De acordo com Di Bernardo *et al.* (1999), o pré-filtro dinâmico tem atividade de operação tanto diárias e periódicas quanto às eventuais. No Quadro 2, demonstra-se as principais atividades englobadas:

Quadro 2 - Principais atividades diárias e periódicas do Pré-Filtro Dinâmico.

DIÁRIAS	PERIÓDICAS	EVENTUAIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle e registro da vazão afluente e efluente.</li> <li>• Medição e registro da qualidade (turbidez) da água afluente e efluente.</li> <li>• Inspeção da camada de lodo formada na superfície do meio granular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpeza das câmaras de entrada e saída, escarificação do topo do meio granular, e descargas de fundo.</li> <li>• Execução de exame para determinação do NMP de coliformes totais e fecais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retirada do material granular, lavagem do pedregulho, e recomposição das camadas filtrantes.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de DI BERNARDO *et al.* (1999).

O início da operação do Filtro Lento é indicado quando a produção de água analisada apresenta resultados não adequados dos parâmetros, principalmente o de turbidez e um elevado número de microrganismos, comprometendo a desinfecção. Além disso, quando a vazão diminui consideravelmente devido a alguns fatores, como por exemplo a camada de areia suja, deixando claro que é necessário a limpeza do filtro (DI BERNARDO *et al.*, 1999).

As principais tarefas diárias segundo Di Bernardo *et al.* (1999), são:

- controle e registro das vazões;
- a medição e registro da turbidez da água filtrada;
- a remoção do material flutuante;
- medição de registro de perda de carga.

A limpeza do Filtro Lento é feita por uma raspagem de parte do biofilme, descarga de fundo em pulsos de 10 segundos e uma retrolavagem com água tratada por bombeamento (VIEIRA *et al.*, 2023).

O Quadro 3, mostra as atividades de operação e manutenção periódicas e eventuais do filtro lento segundo Di Bernardo *et al.* (1999):

Quadro 3 - Atividades de operação e manutenção periódicas e eventuais do filtro lento.

PERIÓDICAS	EVENTUAIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpeza das canaletas e câmara de entrada.</li> <li>• Limpeza entre carreiras (câmaras de entrada e saída, e raspagem do topo do meio filtrante).</li> <li>• Execução de exames para determinação do NMP de coliformes totais e fecais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reposição da areia limpa e reposicionamento da areia remanescente.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de DI BERNARDO *et al.* (1999).

A reposição de cloro varia em função da taxa e da frequência do uso. É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e nos pontos de consumo de acordo com a Portaria Nº 888/2021. Além disso, há também o controle da concentração na água tratada com equipamento de campo (medidor de cloro).

É necessário também uma limpeza de rotina nas estruturas do Sistema para garantir a eficiência e prolongar a vida útil. Essa manutenção de rotina envolve diversos elementos, como exemplo válvulas e bombas. Essa limpeza minimiza o desgaste causados tanto por interferências antrópicas quanto o que é causado pelo acúmulo de sujeira, prevenindo assim a diminuição de custo para eventuais reparos de peças e evitando a pausa da operação do sistema simplificado de tratamento de água (VERAS e DI BERNARDO, 2008). As principais estruturas que necessitam de reparos constantes de acordo com Veras e Di Bernardo (2008), são:

- Corpo dos Filtros;
- Caixas de Passagem;
- Dispositivos de alimentação;
- Caixa d'água;

Além disso, também são necessários os ajustes hidráulicos no sistema para garantir a eficiência e o funcionamento (VERAS e DI BERNARDO, 2008). Os principais ajustes hidráulicos de acordo com Veras e Di Bernardo (2008), são:

- Verificações e ajustes de vazões na entrada e saída de cada unidade;
- Reparos de tubulações e conexões como boias;
- Ajustes do sistema de bombeamento;
- Ajuste de cargas Hidráulicas no Pré-Filtro Dinâmico e no Filtro Lento.

Todas essas etapas e recomendações de operação são cruciais para garantir a saúde pública e o bom funcionamento do sistema, pois garante a qualidade da água, previne contaminação, aumenta a eficiência do sistema, prolonga a vida útil, cumpre as normas sanitárias, reduz custos e a segurança das pessoas que dependem desse Sistema Simplificado de Abastecimento de água (BRASIL, 2006).

### **3.6 Fatores que influenciam na remoção da turbidez**

De acordo com Ferreira (2014), há fatores que influenciam na água da filtração com os valores baixos de turbidez. Além do modelo escolhido para a filtração, destaca-se a composição e espessura do meio filtrante, as condições de operação das unidades e a forma como que os filtros são lavados.

A porosidade é o principal mecanismo atuante na remoção da turbidez dos filtros, pois influencia na capacidade do sistema em reter partículas suspensas. O entendimento das características granulométricas que compõem o meio filtrante como o tamanho dos grãos influencia diretamente no funcionamento e na positividade da filtração e na remoção do parâmetro (ABREU, 2009).

A limpeza não adequada dos filtros também pode ser um fator bastante influenciador nas observações de valores de turbidez alta, e assim, colocando a população local em risco (FERREIRA, 2014).

### **3.7 Fatores que influenciam na remoção da cor**

Segundo o Portal Tratamento de Água (2021), usualmente a cor da água é removida pelos processos de filtração e adsorção. O principal mecanismo utilizado no presente estudo é a adsorção e filtração, através do carvão antracito. O fenômeno é resumido onde uma fase fluida entra em contato com uma fase sólida para a

realização da transferência de massa. Com isso, o sólido tem a competência de remover as partículas que não são positivas, geralmente a cor, quando presentes na água (BARBOSA, 2018).

O carvão antracito apresenta grande capacidade de absorção devido à sua alta porosidade, sendo capaz de remover substâncias dissolvidas e partículas finas que não são capturadas. Ao combinar absorção e filtração, o sistema não apenas retém partículas maiores por meio de mecanismos, mas também a coloração da água, contribuindo para sua conformidade com os padrões de potabilidade da água (LIMA,2019).

### **3.8 Padrões de potabilidade**

Araújo e Andrade (2020) afirmam que a água destinada ao consumo humano deve ser sem contaminação, tratada e principalmente limpa, garantindo a sua pertinência quanto aos padrões pré-estabelecidos de consumo e assim, protegendo a população. É obrigatório meios que garantam a qualidade da água, pois ela é uma riqueza fundamental para a vida de todos e com isso, é de extrema importância o controle e a qualidade.

A importância do controle e monitoramento da água é reforçada pela legislação vigente no Brasil, como a Portaria do Ministério da Saúde, de Nº 888/2021 estabelece os requisitos pré-definidos do padrão de qualidade da água potável (BRASIL, 2021), no qual devem ser seguidos no âmbito do sistema simplificado de abastecimento de água.

Os parâmetros utilizados para a análise de qualidade da água na área subnormal de Ouro Preto - Minas Gerais foram: temperatura, pH, cloro residual livre, condutividade elétrica (CE), turbidez, cor, coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. Coli*).

O pH é um fator de muita importância no processo de tratamento da água, é representado pela concentração de íons hidrogênio (H<sup>+</sup>), demonstrando acidez, neutralidade e alcalinidade da água (MARCHELAN *et al.*, 2021). A acidez excessiva pode indicar contaminação e assim, torna a água inapropriada para o consumo

humano, deixando claro que o pH da água é um fator de grande influência e deve ser controlado da melhor forma possível. Já o pH alcalino pode indicar a presença abundante de sais minerais, o que também não é indicado ao consumo. O pH pode ser influenciado por atividades humanas, como os despejos domésticos e industriais e assim, aumentando a necessidade e os desafios do tratamento (BAUCHSPIESS, 2020).

O valor do pH varia de 0 a 14, sendo que abaixo de 7 a água é considerada ácida, acima de 7 é alcalina e 7 é neutra (BAUCHSPIESS, 2020). A Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde recomenda que o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,0 no sistema de distribuição.

A principal função do cloro residual livre é eliminar bactérias e os microrganismos patogênicos que podem estar presentes na água e com isso ele é adicionado no processo do tratamento da água para fins do consumo humano. Ele é utilizado frequentemente na desinfecção pois inativa os microrganismos, principalmente coliformes totais e *E.coli*, que não foram inativados nas outras etapas do tratamento e por ser um produto de baixo custo (MEYER, 1994).

A Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde determina a obrigatoriedade de se manter, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre.

A cor da água é originária da matéria orgânica, presença de metais e resíduos, e pela influência de precipitação no dia anterior à coleta. A cor forte na água é esteticamente indesejável e provoca uma rejeição entre a população consumidora. A análise é fundamental para garantir a aceitação da população que vai consumi-la (FUNASA, 2014).

A Portaria Nº 888/2021 estabelece para cor aparente o valor máximo permitido de 15 (quinze) uH como padrão organoléptico para consumo humano.

O parâmetro de turbidez é um dos mais importantes em relação ao monitoramento da água, pois interfere diretamente no processo de tratamento e no resultado final da água adequada para o consumo humano, pois a água com elevada turbidez dificulta o processo de desinfecção, pois os sólidos suspensos podem proteger os microrganismos das pastilhas de cloro residual livre (ROCHA, 2019). Além disso, a

turbidez da água se dá devido à presença de materiais sólidos suspensos ou pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias, resultantes do processo de erosão ou de influência antropológica, como despejos domésticos e industriais. A água com a turbidez elevada forma flocos pesados que decantam mais rápido do que a água com a turbidez mais baixa (FUNASA, 2013).

De acordo com a Portaria N° 888/2021, o valor máximo permissível de turbidez é de até 5,0 uT para o pré-tratamento, 1,0 uT para os filtros lentos e após o processo de desinfecção, onde é distribuída, até 5,0 uT.

A temperatura está relacionada com o aumento do consumo de água, com a solubilidade e ionização das substâncias coagulantes, com a mudança do pH, com a desinfecção, etc. Além disso, águas muito quentes ou muito frias podem se tornar desagradáveis para o consumo humano, e a água com uma temperatura elevada há possibilidade de aumentar a proliferação de algas, tornando a água alternada no sabor, odor e na cor (FUNASA, 2013).

Embora a legislação brasileira, Portaria N° 888/2021, não recomenda um limite específico de temperatura que a água potável tenha que estar, é recomendado pela Organização Mundial da Saúde que a água para o consumo humano esteja em uma temperatura mais para fria, para estar dentro de uma faixa aceitável e assim, minimizar os impactos na qualidade e nos processos de tratamento.

A Condutividade elétrica é um dos parâmetros necessários para o acompanhamento da condição da água subterrânea e superficial. Ela é a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica, permitindo estimar o teor de sais minerais presentes na água, ou seja, quanto maior for a condutividade elétrica maior é a presença de sais minerais na água (MOLIN,2011).

Ela é expressa por microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e como dito anteriormente, indica a quantidade de sais dissolvidos na água. Por mais que a Portaria N° 888/2021 não indique um limite específico obrigatório para a água potável destinada ao consumo humano, o parâmetro deve ser monitorado e a partir dele descobrir a quantidade de sólidos dissolvidos existentes (SILVA *et al.*, 2017). Além do mais, A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) (2014), afirma que

níveis superiores a 100 $\mu$ S/cm sinaliza que o ambiente está de alguma maneira impactado.

A Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde (Portaria de Potabilidade) dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Para garantir a potabilidade, na água para o consumo humano a ausência de coliformes totais e *Escherichia coli* para 100ml de amostra é obrigatória e nenhuma água deve ser consumida se alguma amostra estiver contaminada e positiva para esses parâmetros microbiológicos.

Os coliformes podem indicar a contaminação da água por fezes (ANDRADE e BARROS, 2019).

## 4 METODOLOGIA

Na Figura 4 é apresentado o fluxograma das atividades realizadas em cada uma das etapas desenvolvidas neste trabalho.

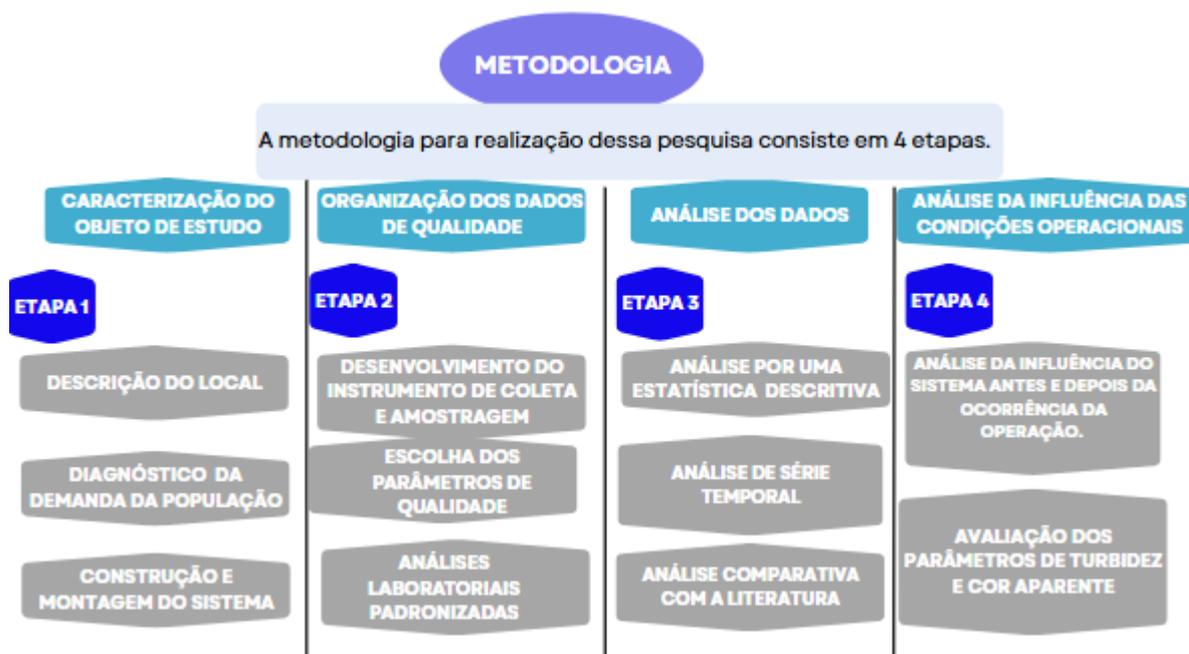


Figura 4 - Mapa mental da Metodologia. (Fonte: elaborado pela autora).

A pesquisa consistiu em quatro etapas principais. A primeira etapa envolveu a caracterização detalhada da área de estudo, onde foram descritos os detalhes do local e do projeto do sistema de abastecimento simplificado de água implementado, sendo fundamental para contextualizar o atual projeto e as condições iniciais do sistema e do monitoramento.

A segunda etapa consistiu na coleta e na organização dos dados obtidos do monitoramento que foi realizado no sistema simplificado de tratamento de água. Nessa etapa, os dados foram coletados e organizados de forma a facilitar a análise e garantindo que todos os dados estejam registrados da melhor forma possível.

Na terceira etapa, foi realizado a análise detalhada dos dados coletados, com o objetivo de avaliar se os padrões de qualidade da água estão atendendo à norma nacional de potabilidade, a Portaria Nº 888/2021, permitindo assim, identificar se os resultados são aceitáveis ou não para o consumo humano da água em questão.

A quarta etapa consistiu na avaliação da influência das condições operacionais do sistema simplificado de tratamento de água nos resultados de qualidade da água tratada para os parâmetros de turbidez e cor aparente. Foram examinados a eficiência dos parâmetros de turbidez e cor aparente, falhas operacionais e seu funcionamento quanto ao atendimento da lei, avaliando o impacto das condições operacionais na segurança e na eficácia no fornecimento de água potável do sistema simplificado de tratamento de água.

E por fim, foi realizada uma discussão dos dados obtidos a partir de dados de outros trabalhos semelhantes utilizando sistemas de filtração em múltiplas etapas, permitindo identificar semelhanças e diferenças nos métodos, objetivos e resultados, o que demonstra a relevância do trabalho em relação às abordagens já publicadas. Além disso, a comparação possibilitou uma análise crítica sobre como as soluções apresentadas neste trabalho podem superar limitações identificadas em pesquisas anteriores, oferecendo alternativas mais viáveis e eficientes para os problemas abordados.

#### **4.1 Caracterização da área de estudo**

O objeto de estudo, sistema de tratamento simplificado de água, é localizado no acampamento Novo Taquaral no bairro Saramenha, uma área urbana do município de Ouro Preto, Minas Gerais. O acampamento, organizado pelo Movimento dos Trabalhadores Sem Teto (MTST) – Chico Rei, foi instalado em janeiro de 2022 com o enfoque de levar à população em situação de vulnerabilidade uma melhor disposição dos princípios básicos do saneamento, a água de qualidade para o consumo humano. Entre os moradores, há famílias provenientes do bairro Taquaral, que ficaram desabrigados devido a eventos geológicos ocorridos na região.

Esses eventos abrangeram deslizamentos de terra e recalques do solo há três anos, em 2022. Essa ocorrência se intensificou durante o período de chuva, na qual agravou a instabilidade geotécnicas da área do bairro e colocou em risco várias moradias da localidade em questão. Com isso, muitas pessoas foram deslocadas para o acampamento Novo Taquaral, local seguro e longe das instabilidades geotécnicas. Porém, no local não havia infraestrutura habitacional adequada para a população,

fazendo com que as pessoas enfrentassem desafios para se manter, como dificuldades no saneamento básico, principalmente no acesso à água potável.

Entretanto, a implementação do sistema simplificado de tratamento de água no acampamento, executada no âmbito dos projetos de extensão e iniciação científica pelo Grupo de Educação em Saneamento Sustentável, exerce um papel fundamental para garantir as condições mínimas de saúde, qualidade de vida e do bem-estar para os habitantes locais. É uma tecnologia de abastecimento alternativo de forma coletiva para prover a ausência dos princípios básicos do saneamento, o abastecimento de água tratada no objeto de estudo. Além disso, essa alternativa do abastecimento minimiza os riscos de enfermidades pela veiculação hídrica, que são habituais em situações de vulnerabilidade e moradias precárias

Atualmente, em 2025, a população que reside no acampamento Novo Taquaral varia entre 45 e 50 habitantes. Essa alteração no número de habitantes reflete no perfil das ocupações temporárias, onde a chegada e a saída das pessoas são comuns e influenciado por diversos fatores, como por exemplo a oportunidade de trabalho. No entanto, no período em que as amostras de água foram coletadas para este estudo, a população era menor, variando entre 30 e 35 pessoas. As Figuras 5, 6 e 7 demonstram uma imagem do local, uma imagem de satélite e uma de drone do acampamento, respectivamente.



Figura 5 - Imagem do local. (Fonte: VIEIRA *et al.*, 2023).



Figura 6 - Imagem de satélite do local. (Fonte: Adaptado de *GOOGLE EARTH*)



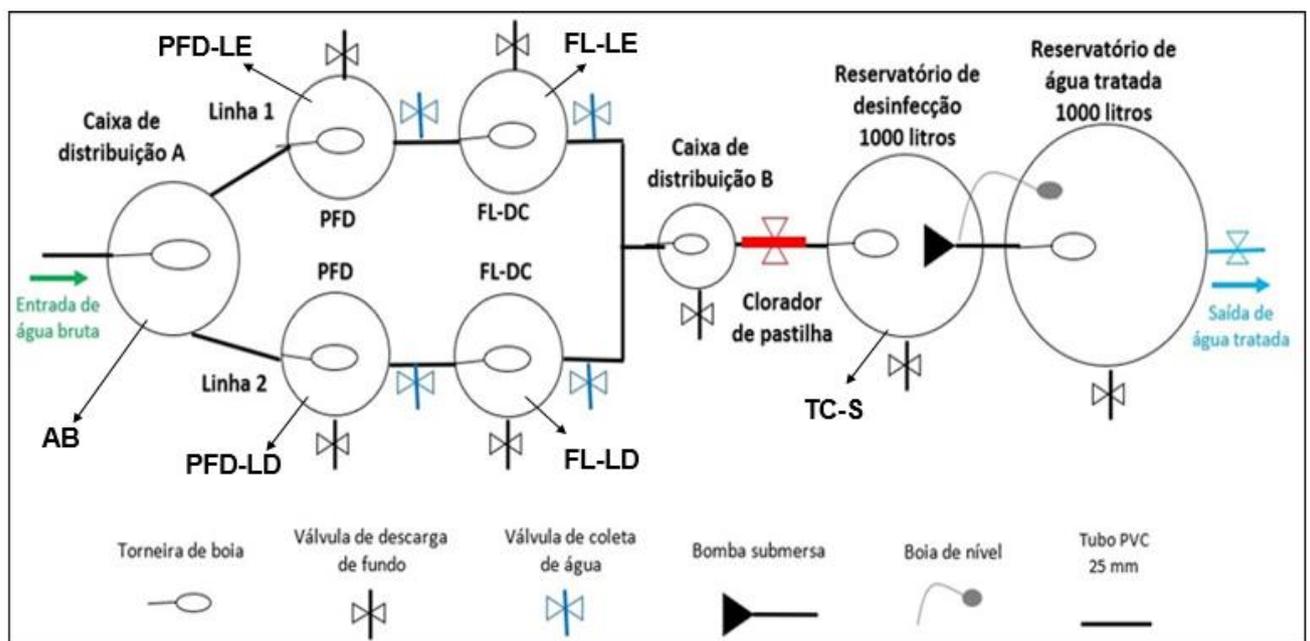
Figura 7 - Imagem de drone do local. (Fonte: NOGUEIRA, 2023).

Primeiramente, para que o sistema fosse projetado, foi realizado um diagnóstico da demanda da população, a finalidade do consumo da água e a quantidade do consumo, por meio de visitas em campo e reuniões com os moradores locais, essas atividades foram realizadas de julho a setembro de 2022 (VIEIRA *et al.*, 2023). Logo depois realizou-se a definição da fonte de água utilizada no acampamento por meio de condições de qualidade e quantidade de água. Após foi elaborado o projeto do sistema de tratamento de água que atendesse às normativas sanitárias e ambientais em vigor.

Foram realizadas de forma participativa com os moradores do acampamento a construção e a montagem do sistema de tratamento. Na montagem dos componentes do sistema, utilizou-se materiais locais, como tubos, conexões e caixas d'água, servindo de referência para ser usadas em outra localidade com realidades iguais. Todos os materiais utilizados como meio filtrante e suporte passaram por um processo de limpeza, foram separados com o uso de peneiras comuns e posteriormente caracterizados em laboratório quanto à sua granulometria (VIEIRA *et al.*, 2023). Na estrutura dos filtros foram realizados testes de estanqueidade (um procedimento fundamental para verificar a capacidade do sistema hidráulico). A Figura 8 demonstra

o projeto do sistema e a Figura 9 o projeto montado no acampamento (VIEIRA *et al.*, 2023).

Os Pré-Filtro Dinâmicos (PFD) e os Filtros Lentos (FL) foram fabricados utilizando tubos de PVC com 300 mm de diâmetro, o que confere ao sistema robustez e resistência necessárias para operações contínuas. Considerando uma vazão de projeto de 0,023 L/s – equivalente a 80 L/hab.dia –, o dimensionamento adequado das unidades possibilitou uma taxa de filtração de 14,2 m/d para cada filtro lento, demonstrando que o sistema foi projetado para otimizar o tempo de contato entre a água e o meio filtrante. Essa taxa é fundamental para garantir a remoção eficaz dos contaminantes, assegurando que a água atenda aos padrões de potabilidade exigidos. Assim, o uso estratégico de PVC aliado ao correto dimensionamento do sistema contribui para a eficiência do tratamento, promovendo um abastecimento de água segura e de alta qualidade (VIEIRA *et al.*, 2023).



Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Figura 8 - Desenho esquemático do sistema de tratamento implantado. (Fonte: VIEIRA *et al.*, 2023).



Figura 9 - Sistema Implantado. (Fonte: VIEIRA *et al.*, 2023)

#### 4.2 Organização dos dados de qualidade

A coleta de dados para este projeto foi realizada no âmbito dos projetos de extensão e iniciação científica pelo Grupo de Educação em Saneamento Sustentável, que o objetivo principal é aumentar a saúde pública por meio dos estudos e das ações voltadas à melhoria da qualidade de água do local. O principal foco deste estudo é o monitoramento da qualidade da água do manancial do acampamento Novo Taquaral e logo em seguida das etapas do tratamento e por último da água tratada, pois no local o acesso à água potável e ao saneamento básico é um desafio.

Os resultados foram obtidos a partir de coletas em campo e logo em seguida de análise, tanto em campo quanto em laboratório, seguindo todas as normas pré-estabelecidas pela Portaria Nº 888/2021 para garantir a confiabilidade dos resultados.

Foram utilizados os procedimentos de coleta e amostragem de água bruta e tratada para análise de cada parâmetro de qualidade monitorado recomendados no Manual Prático de Análise da Água (FUNASA, 2006). A aplicação dessas metodologias foi realizada em campo e complementada com análises em laboratório, seguindo as metodologias descritas em APHA (2005) e os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente.

Neste trabalho foram avaliadas as análises dos dados coletados que incluem parâmetros físico-químicos e biológicos considerados essenciais para a avaliação da qualidade da água, de acordo com a Portaria de Nº 888/2021 do Ministério da Saúde, além da conferência do cloro residual livre.

A coleta de dados foi realizada ao longo do período entre março de 2023 a fevereiro de 2024, totalizando em 366 dias de operação, abrangendo tanto a estação chuvosa quanto a seca, o que permitiu um alcance significativo e consistente de informações adequadas para o estudo. Esse período de tempo foi essencial para avaliar possíveis variações ao longo do tempo dos parâmetros da qualidade da água e com isso, certificar uma análise mais completa e confiável e com isso, identificar os principais desafios enfrentados no fornecimento de água potável em um sistema simplificado de abastecimento de água no acampamento Novo Taquaral, no bairro Saramenha e localizado em Ouro Preto-MG.

A frequência de monitoramento seguiu as orientações da Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde Nº 888/2021 (BRASIL, 2021), que regulamenta os padrões de potabilidade para as soluções alternativas coletivas com captação superficial, devido ao enquadramento do abastecimento de água do acampamento Novo Taquaral. A Portaria recomenda um monitoramento constante, como é demonstrado na figura 10, para garantir sempre os padrões de qualidade da água fornecida, e assim reduzir o risco de contaminação e com isso aumentar a qualidade de vida e a saúde pública da população.

As coletas de pH, condutividade elétrica, cor aparente, turbidez, foram realizadas duas vezes na semana, temperatura, coliformes totais e *E-coli* foram realizadas semanalmente, já o cloro residual livre foi realizado diariamente pelos moradores locais. Todas as coletas eram realizadas com a utilização de frascos estéreis para amostras microbiológicas e recipientes apropriados para análises físico-químicas. Todas as amostras foram transportadas em caixas térmicas e analisadas dentro do prazo recomendado para cada parâmetro, assegurando a integridade dos dados.

Em laboratório, foram aplicadas técnicas padronizadas. As análises de qualidade foram realizadas seguindo os procedimentos descritos em AWWA/APHA/WEF (2005).

Na Figura 10, são apresentados os parâmetros de qualidade da água, os pontos de coleta (AB, PFD-LD, PFD-LE, FL-LD, FL-LE e TC-S), a frequência com que as coletas foram realizadas e os métodos analíticos utilizados.

Parâmetro	Abreviaturas	Unidades	Método Analítico	Ponto de Coleta	Frequência de Amostragem
Potencial Hidrogeniônico	pH	-	pHmetro	Todos os pontos do sistema	Duas vezes na semana
Condutividade Elétrica	CE	uS/cm	Condutivímetro	Todos os pontos do sistema	Duas vezes na semana
Turbidez	NTU	uT	Turbidímetro	Todos os pontos do sistema	Duas vezes na semana
Coliformes Totais	CT	NMP/100ml	Colitest	AB e TC-S	Uma vez na semana
Escherichia coli	E.Coli	NMP/100ml	Colitest	AB e TC-S	Uma vez na semana
Cloro residual livre	Cloro residual livre	mg/L	Colorímetro	TC-S	Diariamente
Cor aparente	Cor	uH	Colorímetro	Todos os pontos do sistema	Duas vezes na semana
Temperatura	Temperatura	°C	turbidímetro	Todos os pontos do sistema	Um vez na semana

Figura 10 - Parâmetro, pontos de coleta, frequência de amostragem e métodos analíticos. (Fonte: Adaptado de BRASIL, 2021)

### 4.3 Análise de dados

A análise dos dados coletados no presente estudo foi conduzida de maneira organizada e sistemática. Inicialmente, foram feitas estatística descritiva com o objetivo de verificar o atendimento dos parâmetros de qualidade da água em relação aos limites estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde Nº 888/2021, que define os padrões de potabilidade para o consumo humano no Brasil.

No total, foram analisados 74 registros para os parâmetros de turbidez, cor aparente, pH e cloro residual livre, permitindo uma avaliação detalhada da consistência desses indicadores ao longo do período monitorado. Para o parâmetro

temperatura, foram considerados 38 registros, enquanto os dados referentes a coliformes totais e *Escherichia coli* totalizaram 40 análises microbiológicas. Esses indicadores permitiram compreender a distribuição dos dados, identificar possíveis *outliers* e analisar a dispersão e flutuação dos resultados, mostrando a veracidade dos parâmetros com os limites normativos.

Para contribuir com a interpretação e visualização dos dados, os resultados estatísticos foram demonstrados por meios de gráficos de boxplot (diagrama de caixa), no quais evidenciam a presença de valores atípicos e a diferença nas distribuições. As ferramentas estatísticas demonstra um conjunto de dados e por ele é possível visualizar a distribuição de dados com base em cinco estatísticas: mínimos, máximos, primeiro quartil (Q1), terceiro quartil (Q3) e a mediana.

Além dessa análise, foi realizada a análise de série temporal dos dados a fim de avaliar as condições operacionais do sistema que possam ter influenciado no desempenho dos parâmetros de turbidez e cor aparente. Foram empregadas colunas agrupadas nos gráficos de turbidez e cor aparente, especificamente nos pré-filtro e nos filtros lentos das duas linhas, direita e esquerda e por fim, foi aplicado uma média móvel de dois termos para os PFD e FL. Essa série temporal permitiu identificar a influência dos processos operacionais e fatores externos, em relação aos parâmetros que foram monitorados, facilitando a detecção de padrões, tendências e variações que pudessem estar associados.

Os dados obtidos no estudo foram comparados com dados de estudos semelhantes presentes na literatura. Essa comparação possibilitou verificar a consistência dos resultados obtidos, metodologia e possíveis particularidades relacionadas ao contexto do acampamento de desabrigados em Ouro Preto-MG.

Em suma, a combinação dessas análises das estatísticas descritivas, séries temporais e comparativa pode demonstrar um entendimento aprofundado do comportamento dos dados ao longo do tempo. Com isso, permitiu um entendimento dos padrões e tendências que verificaram a avaliação da eficiência e da estabilidade operacional do sistema simplificado de tratamento de água implantado. Garantindo assim, a qualidade da água para o consumo humano da população residente no local de estudo.

A análise dos dados ajudará a conceber qual o impacto que o sistema implantado traz para a população local, além de elevar a qualidade de vida de todos os que fazem uso da água.

#### **4.4 Análise da influência das condições operacionais**

A avaliação das condições operacionais do sistema de tratamento de água mostrou-se fundamental para identificar, de forma detalhada, os fatores que influenciam diretamente a eficiência do processo em relação aos parâmetros de turbidez e cor aparente. Embora a Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) seja considerada uma tecnologia de baixa complexidade, sua eficácia depende de uma operação adequada e contínua. A ausência de cuidados operacionais pode comprometer a qualidade da água tratada, colocando em risco os padrões de potabilidade exigidos (BRASIL, 2006).

Durante o período de monitoramento do sistema, foram realizadas diversas intervenções operacionais com o objetivo de aprimorar o desempenho do tratamento. Dentre as principais ações, destacaram-se os ajustes hidráulicos, que envolveram a regulação das vazões para garantir cargas hidráulicas compatíveis com a capacidade dos pré-filtros dinâmicos e filtros lentos. Além disso, foram executadas limpezas de rotina nos meios filtrantes, com a finalidade de prevenir o acúmulo excessivo de sólidos e a formação de biofilme, que poderiam prejudicar o processo de filtração. Também foram promovidas intervenções corretivas em componentes estruturais, como caixas de passagem e reservatórios, a fim de assegurar a integridade física e o pleno funcionamento do sistema (DI BERNARDO *et al.*, 1999).

Essas ações permitiram avaliar o impacto das melhorias operacionais sobre os parâmetros de qualidade da água, com foco na turbidez e na cor aparente, tanto nos pré-filtros quanto nos filtros lentos das duas linhas de tratamento (direita e esquerda), bem como na água após o processo de desinfecção. A coleta e análise dos dados foram realizadas antes e depois das intervenções, permitindo uma comparação temporal para identificar possíveis avanços ou retrocessos na eficiência do sistema.

A análise dos resultados foi feita por meio de gráficos de séries temporais, abrangendo 366 dias de operação contínua, evidenciando a evolução dos parâmetros de turbidez e cor ao longo do tempo. Esses indicadores foram escolhidos por sua relevância na avaliação do desempenho de sistemas de filtração, especialmente em contextos de tratamento simplificado. A abordagem permitiu verificar a remoção progressiva desses parâmetros ao longo das etapas do processo.

O cálculo utilizado para determinar a eficiência da remoção de turbidez e de cor aparente foi realizado conforme a Equação 1 e a Equação 2, a seguir:

$$Eficiência (\%) = \left( \frac{Turbidez\ inicial - Turbidez\ final}{Turbidez\ inicial} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$Eficiência (\%) = Eficiência (\%) = \left( \frac{Cor\ inicial - Cor\ final}{Cor\ inicial} \right) \times 100 \quad (2)$$

Esse método permitiu quantificar o desempenho do tratamento e identificar períodos críticos que exigiram ajustes operacionais, reforçando a importância do monitoramento contínuo e das manutenções programadas para garantir a potabilidade da água fornecida à população.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise descritiva dos resultados obtidos por meio do monitoramento do sistema simplificado de tratamento de água instalado no acampamento Novo Taquaral, na ocupação Chico Rei, é apresentada neste capítulo de forma estruturada e sistemática, com o objetivo de evidenciar o desempenho do sistema ao longo dos 366 dias de operação. Para garantir maior clareza e aprofundamento na interpretação dos dados, os resultados foram organizados individualmente por parâmetro de qualidade da água.

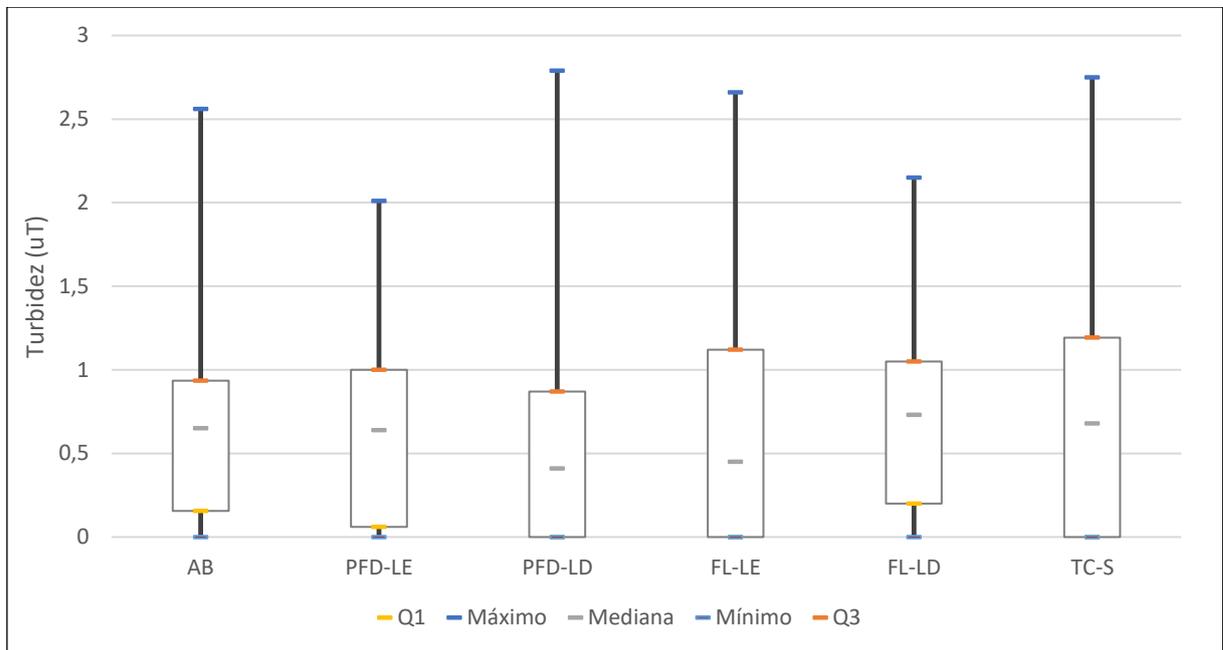
A apresentação dos resultados contempla, inicialmente, os valores de turbidez, seguida da cor aparente, parâmetros estes considerados essenciais para avaliar a eficiência dos processos físico-biológicos característicos da Filtração em Múltiplas Etapas (FiME), onde são abordados os resultados relacionados ao atendimento à norma de potabilidade da legislação vigente, à eficiência de remoção e às condições operacionais. Em segundas, são apresentados os resultados dos parâmetros de pH, cloro residual livre e temperatura, condutividade elétrica, e por último, resultados de coliformes totais e *Escherichia coli*, os resultados foram confrontados com os limites estabelecidos pela Portaria Nº 888/2021, permitindo verificar a conformidade legal da água tratada e de todo o sistema ao longo do período de estudo.

### 5.1 Turbidez

O desempenho dos filtros foi resultante não somente em função da qualidade da água bruta, atividades operacionais e limitações dos filtros como também devido a taxa hidráulica que os filtros foram operados. Ao longo de todo o período de operação, o sistema apresentou, na entrada da caixa de desinfecção, uma vazão máxima de 4.146,432 L/dia, uma vazão mínima de 464,57 L/dia e uma vazão média de 2.099,52 L/dia, com base em 43 dados monitorados.

A Figura 11 e a Tabela 1, apresentam os dados referentes aos principais indicadores estatísticos de turbidez ao longo do período analisado, março de 2023 a fevereiro de 2024, permitindo uma visualização da dispersão dos dados, da mediana, dos quartis e dos valores extremos. Além disso, facilita a identificação de possíveis

oscilações nos níveis de turbidez e sua adequação ao atendimento à norma nacional vigente.



Nota: As caixas blox-plot possuem linhas inferiores de quartil (Q1=25%), linhas do meio de valores medianos (50%) e linhas superiores de quartil (Q3=75%). As linhas retas que se estendem de cada extremidade das caixas são para mostrar os valores máximos e mínimos dos dados.

Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Figura 11 - Análise descritiva do parâmetro de Turbidez (uT). (Fonte: elaborado pela autora)

Tabela 1 - Análise descritiva do parâmetro de Turbidez (uT).

	<b>AB</b>	<b>PFD-LE</b>	<b>PFD-LD</b>	<b>FL-LE</b>	<b>FL-LD</b>	<b>TC-S</b>
<b>Mínimo</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Q3</b>	0,93	1,00	0,87	1,12	1,05	1,19
<b>Mediana</b>	0,65	0,64	0,41	0,45	0,73	0,68
<b>Q1</b>	0,15	0,06	0,00	0,00	0,20	0,00
<b>Máximo</b>	2,56	2,01	2,79	2,66	2,15	2,75

Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Fonte: elaborado pela autora.

A eficácia da filtração lenta é relacionada ao parâmetro de turbidez da água bruta, sendo este não podendo ultrapassar o valor de 10 uT. Como é observado na Figura 11 e na Tabela 1, o valor máximo de turbidez da AB foi de 2,56 uT, o que mostrou favorável para o processo, permitindo assim que o FL-LE e o FL-LD operassem de maneira positiva na remoção dos sólidos suspensos. Diferente do trabalho de Silva et.al.; 2019 sobre qualidade da água de nascentes, onde os dados da turbidez da nascente ultrapassaram o limite de 100 uT, onde fica evidenciado que a predominância de partículas de suspensão é alta.

Apesar disso, não foi considerado os *outliers* 19; 13,25 e 4,09 o que equivale a 4,05% do total dos dados, da água bruta, pois esses valores significativamente altos podem ter acontecido devido a alguma chuva intensa no local, fuligem, algas, ou até mesmo devido a eventuais problemas na coleta ou análise laboratorial, impactando na análise do dia.

De acordo com a Portaria N<sup>o</sup> 888/2021, os valores de turbidez nos processos do tratamento de água PFD-LE, PFD-LD, não podem ultrapassar o limite máximo de 5 uT. Como evidenciado na Figura 11 e na Tabela 1, os valores máximos de turbidez registrados durante essas etapas foram, respectivamente, 2,01 e 2,79 uT. Com isso, a turbidez da água permaneceu abaixo do limite estabelecido pela norma, refletindo um efeito positivo do tratamento de água implantado no sistema. Além disso, foram

desconsiderados os *outliers* 3,30 uT do PFD-LE e 4,08 uT do PFD-LD, o que equivale a 1,35% do total de dados.

Para os FL-LD e FL-LE, os valores de turbidez não podem ultrapassar ao valor de 1 uT. Como observados na Figura 11 e na Tabela 1, os valores máximos foram de, respectivamente, 2,15 e 2,66 uT, desconsiderando os valores 4,12; 3,57 e 6,37 uT do FL-LD, correspondendo a 4,05% do total de dados e 6,65 e 5 uT do FL-LE, correspondendo a 2,7% do total de dados, mostrando que a turbidez máxima esteve um pouco acima do estabelecido pelos padrões de potabilidade da legislação vigente.

Para os pontos, PFD-LE, PFD-LD, FL-LD e FL-LE, o Quartil 1 (Q1), apresentou valores, respectivamente, de 0,06; 0,00; 0,00; 0,20 e 0,00 uT, indicando que 25% das amostras de turbidez apresentaram valores inferiores a esses números, o que demonstrou uma grande parte de amostra com a turbidez muito baixa. Já o Quartil 3 (Q3), os valores, respectivamente, foram de 1,00; 0,87; 1,05 e 1,12 uT mostrando que 75% das amostras ficaram abaixo desses valores, o que mostra também que a grande maioria dos resultados das análises possui uma turbidez baixa.

Além disso, a mediana de cada um dos pontos, PFD-LE, PFD-LD, FL-LD e FL-LE foram, respectivamente, 0,64; 0,41; 0,73 e 0,45 uT, dividindo a amostra em duas partes, onde 50% dos valores estão acima e 50% dos valores estão abaixo. Os valores resultantes das medianas indicaram que na sua maior parte, a turbidez se manteve em níveis baixos, apontando que o sistema de tratamento está funcionando de maneira consistente na remoção das partículas suspensas.

Esses resultados são todos relevantes, pois a turbidez com valores baixos após os processos de pré-filtração dinâmica e da filtração lenta demonstrou que o sistema está operando de forma adequada e todas as análises estão dentro do padrão estabelecido pela legislação vigente. Além disso, o Q1 e o Q3 com resultados relativamente próximos, mostrou uma boa uniformidade nos resultados ao longo do período de análise e nos diferentes pontos de coleta, percebendo um equilíbrio no sistema e demonstrando a conformidade com a legislação vigente.

A análise após o processo de desinfecção é um indicador essencial para avaliar a eficácia do tratamento e garantir que a água esteja adequada para consumo humano, conforme estabelecido pelas normas de potabilidade. De acordo com a

norma vigente, o valor máximo permitido da turbidez após a desinfecção é de 5uT. Como foi demonstrado pela Tabela 1 e a Figura 11, o valor máximo da turbidez, no ponto após a desinfecção, que foi registrado foi de 2,75 uT, um valor abaixo do limite máximo permitido e nisso indicou que a turbidez da água tratada no local esteve dentro dos parâmetros exigidos pela legislação. Além disso, foram desconsiderados os *outliers* 4,17 e 3,21 uT, o que corresponde a 2,7% do total de dados.

No entanto, a análise dos quartis e da mediana mostra a variabilidade dos dados nesse ponto. O Quartil 1 (Q1), teve resultado de 0,00, indicando que 25% das amostras apresentaram turbidez igual a 0,00, o que significou que a água tratada não apresentou partículas visíveis após a desinfecção. O Quartil 3 (Q3), teve valor de 1,19 uT, indicando que 75% das amostras apresentaram turbidez abaixo desse valor, o que também é um indicativo positivo, demonstrando que o parâmetro esteve abaixo em grande parte das análises ao longo do tempo. A mediana teve resultado de 0,68 uT, assinalando que o valor do meio (50%), foi baixo em relação ao máximo permitido de 5uT.

Entretanto, há evidências de que os dados analisados do sistema estiveram de acordo com os padrões de turbidez atendendo os requisitos da Portaria Nº 888/2021. Os níveis baixos de turbidez em todas as etapas de tratamento refletiram um desempenho positivo e satisfatório do sistema. Além do mais, as amostras da água tratada apresentaram turbidez abaixo dos limites permitidos, demonstrando também que a água tratada está adequada para o consumo humano, garantindo assim a qualidade de vida e a potabilidade da água que é fornecida para a população local.

Diferente do trabalho de Almeida *et al.* (2021), sobre filtração em múltiplas etapas (FiME), composto por três unidades de filtração ligadas em série, com meios filtrantes compostos por manta não tecida, resíduo de cerâmica vermelha e fibras de coco, onde o maior índice de atendimento ao padrão de potabilidade não ultrapassou a marca de 30% quando considerado os valores da água bruta e da água filtrada (pós processo de filtração).

A análise da eficiência do sistema com base no parâmetro da turbidez foi avaliada com base na redução do mesmo ao lado das etapas do tratamento. Primeiramente, retrata os dados da eficiência da linha esquerda do tratamento que é composta pela

água bruta (AB), pré-filtro dinâmico do lado esquerdo (PFD-LE), filtro lento do lado esquerdo (FL-LE), que demonstra uma visão completa sobre a eficiência do sistema. A Tabela 2 apresenta os dados da eficiência dos diferentes pontos do sistema de tratamento de água. Todos os valores são de turbidez e registrados em cada ponto da amostragem.

Tabela 2 - Eficiência mediana de remoção de turbidez na linha esquerda do tratamento.

DATA	PONTOS	VALORES
Março/23 a Fevereiro/24	Água Bruta	Turbidez mediana: 0,65
Março/23 a Fevereiro/24	PFD-LE	Turbidez mediana: 0,64
Março/23 a Fevereiro/24	Eficiência PFD-LE	Eficiência mediana: <b>1,50%</b>
Março/23 a Fevereiro/24	FL-LE	Turbidez mediana: 0,45
Março/23 a Fevereiro/24	Eficiência FL-LE	Eficiência mediana: <b>29,70%</b>

Legenda: PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo.

Fonte: elaborado pela autora.

Pode-se observar na Tabela 2 que a água bruta (AB) apresentou um valor de 0,65 uT e o pré-filtro dinâmico apresentou o mesmo valor de mediana de 0,64 uT, obtendo um resultado da eficiência média de 1,50%, significando que houve pouca redução de turbidez da água após o pré-filtro dinâmico. O principal fator para justificar esse evento é a observação que a turbidez da água bruta (AB) já apresenta um baixo nível de turbidez, ou seja, baixo nível partículas suspensas na água, com isso, a remoção de partículas do PFD pode ser minimizada. Além disso, a principal finalidade do PFD é a retenção de partículas maiores que eventualmente possam vir na água bruta devido a eventos extremos, como chuva, etc.

Na etapa seguinte, filtração lenta do lado esquerdo (FL-LE), o valor da mediana da turbidez nesse ponto foi de 0,45 uT, resultando em uma eficiência de 29,70%. Significa que o filtro lento dessa linha desempenhou adequadamente sua função de remoção de partículas de sólidos suspensas, resultando em uma eficiência positiva.

A Tabela 3 retrata os dados da eficiência da linha direita do tratamento que é composta pela água bruta (AB), pré-filtro dinâmico do lado direito (PFD-LD), filtro lento

do lado direito (FL-LD), que demonstra uma visão completa sobre a eficiência do sistema. Todos os valores são de turbidez e registrados em cada ponto da amostragem.

Tabela 3 - Eficiência da remoção da turbidez da linha direita do tratamento.

DATA	PONTOS	VALORES
Março/23 a Fevereiro/24	Água Bruta	Turbidez mediana: 0,65
Março/23 a Fevereiro/24	PFD-LD	Turbidez mediana: 0,41
Março/23 a Fevereiro/24	Eficiência PFD-LD	Eficiência mediana: <b>36,92%</b>
Março/23 a Fevereiro/24	FL-LD	Turbidez mediana: 0,73
Março/23 a Fevereiro/24	Eficiência FL-LD	Eficiência mediana: <b>-78,04%</b>

Legenda: PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Fonte: elaborado pela autora.

Pode-se observar na Tabela 3 que a água bruta (AB) apresentou um valor de 0,65 uT e o pré-filtro dinâmico apresentou de mediana de 0,41 uT, obtendo um resultado da eficiência de 36,92%, significando que houve uma redução na turbidez da água após o pré-filtro dinâmico, obtendo um efeito positivo nessa etapa do tratamento.

Na etapa seguinte, filtração lenta do lado direito (FL-LD), o valor da mediana da turbidez nesse ponto atingiu um valor de 0,73 uT, resultando em uma eficiência negativa de 78,04%. Significando que em vez da turbidez ter diminuído ela aumentou e de maneira significativa. Esse fenômeno pode estar associado a diversos fatores operacionais e estruturais do sistema de filtração. Um dos principais motivos pode ser o acúmulo excessivo de partículas no meio filtrante, especialmente se o filtro estiver próximo da saturação, reduzindo sua capacidade de retenção de sólidos suspensos, e também problemas na coleta e na análise, além de problemas externos como poeiras e etc. Além disso, a formação intensa de biofilme no meio filtrante pode ocasionar o desprendimento de material particulado, elevando a turbidez da água que sai dessa etapa.

Terin (2021) no seu trabalho sobre sistema de múltiplas etapas com filtração lenta no tratamento domiciliar de águas superficiais com riscos microbiológicos, construiu um sistema simples, com baixa complexidade e baixo custo, no qual o meio

filtrante nos filtros lentos era composto por areia fina e grossa e pedregulho fino e grosso, além de uma manta. Nesse trabalho, a turbidez apresentou uma significativa eficiência de redução, para uma turbidez abaixo de 5uT.

A comparação dos resultados dos dois trabalhos fica evidenciado que para igualar ou aumentar de maneira significativa a eficiência é importante aprimorar as etapas de filtração lenta, garantir a limpeza e evitar o acúmulo excessivo de partículas nos meios filtrantes, como foi feito na metodologia do trabalho de Terin (2021).

A Figura 12 apresenta os dados da análise da série temporal (com média móvel de dois termos) da turbidez ao longo do período de operação (março de 2023 a fevereiro de 2024), totalizando 366 dias, da linha direita do sistema simplificado de tratamento de água, que são: Água Bruta (AB), Pré-Filtro Dinâmico do lado direito (PFD-LD) e no Filtro Lento do lado direito (FL-LD), evidenciando as variações em resposta às mudanças nos processos operacionais. E logo em seguida, a Figura 13 apresenta a série temporal da turbidez ao longo do período de análise da linha esquerda do tratamento, que engloba: Água Bruta (AB), Pré-Filtro Dinâmico lado esquerdo (PFD-LE) e no Filtro Lento lado esquerdo (FL-LE). Ou seja, a análise do controle operacional foi feita através dos filtros lentos e dos pré-filtros dinâmicos.

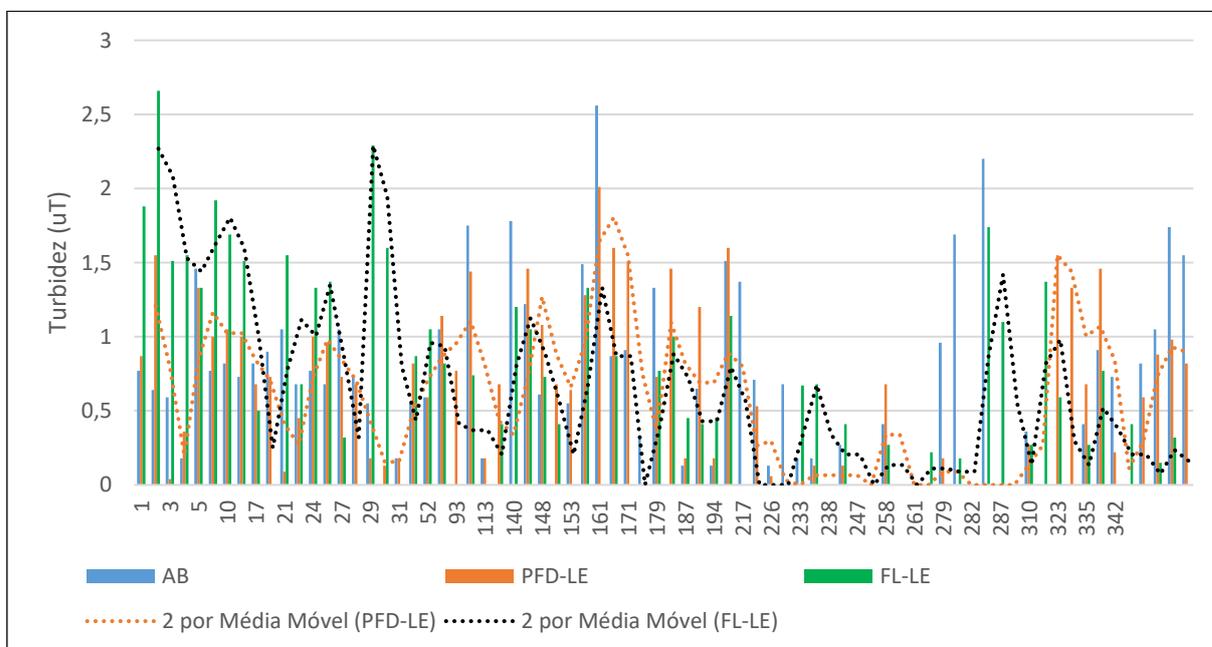


Figura 12 - Comportamento temporal da turbidez do lado esquerdo. (Fonte: elaborado pela autora)

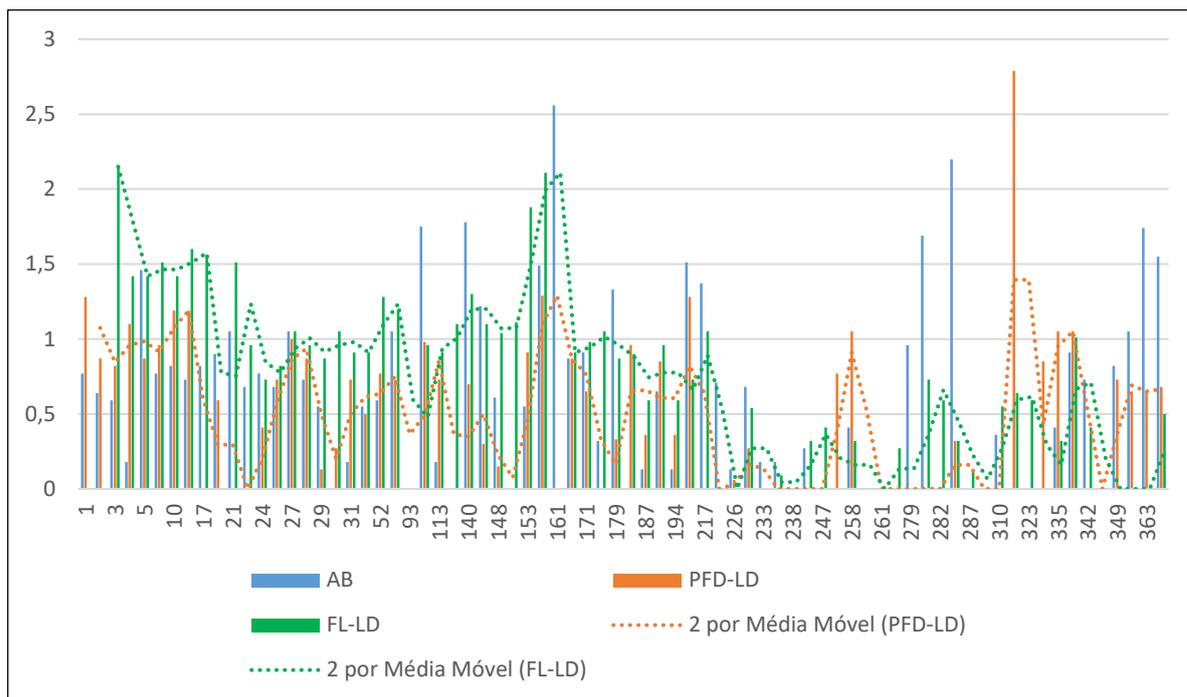


Figura 13 - Comportamento temporal da turbidez do lado direito. (Fonte: elaborado pela autora).

Na análise, os valores atípicos da água bruta 4,09; 19,00 e 13,25 uT representando aproximadamente 4,05% da quantidade total de dados, foram extraídos do gráfico para melhor visualização do conjunto dos dados pois sua elevação pode ter sido influenciada por fatores como chuvas intensas na região, presença de fuligem ou proliferação de algas, o que poderia comprometer a interpretação dos dados daquele dia. Além disso, foram retirados os *outliers* 3,30 uT do PFD-LE, 4,08 uT do PFD-LD, 6,65 e 5 uT do FL-LE e 4,12; 3,57 e 6,37 uT do FL-LD, representando respectivamente, 1,35%, 1,35%, 2,70% e 4,05% da quantidade total de dados.

As Figuras evidenciam que, durante o período inicial (primeiros 161 dias de operação do sistema), foram observados diversos picos na turbidez da água bruta (AB), significando, possivelmente, variações externas como: chuvas ou interferências ambientais e eventuais falhas na manutenção da operação. Nas linhas de tratamento, tanto lado direito (PFD-LD e FL-LD) quanto do lado esquerdo (PFD-LE e FL-LE), o pré-filtro atuou como a primeira barreira de remoção dos sólidos suspensos, mas a

principal parte removedora das partículas finas e mais finas é o filtro lento, que foi observado que após o processo da pré-filtração dinâmica, apresentou valores menores.

Após o período de 225 dias de operação, ou seja, após setembro de 2023, observou-se uma redução significativa da turbidez, com os valores mais homogêneos, próximos de 1uT ou inferiores e controlados. Esse comportamento pode estar relacionado à implementação de intervenções operacionais realizadas em outubro de 2023.

Entre as ações executadas operacionais, destaca-se a limpeza completa nas estruturas do sistema, englobando componentes essenciais como a caixa de passagem, a caixa d'água e os corpos dos filtros, permitindo a remoção de resíduos acumulados nos poros que prejudicavam a retenção de partículas e compromete o tratamento e aumentar, com isso aumentando a eficiência de remoção da turbidez da água.

Além disso, foi realizada a limpeza dos dois pré-filtros dinâmicos e dos dois filtros lentos, etapas essenciais para manter e elevar a qualidade da filtração e diminuir acúmulos de material. Os processos incluíram a raspagem do biofilme formado sobre o meio filtrante e uma retrolavagem utilizando água tratada por bombeamento.

As Figuras 14, 15, 16, 17 e 18 evidenciam os processos operacionais realizados, demonstrando a importância dessas ações e intervenções periódicas para a manutenção da qualidade da água do sistema e assegurar maior estabilidade nos parâmetros de qualidade.



Figura 14 - Caixa de passagem suja. (Fonte: elaborado pela autora)



Figura 15 - Caixa de passagem limpa. (Fonte: elaborado pela autora)



Figura 16 - Filtro lento com excesso de biofilme. (Fonte: elaborado pela autora)



Figura 17 – Filtro lento limpo. (Fonte: elaborado pela autora)

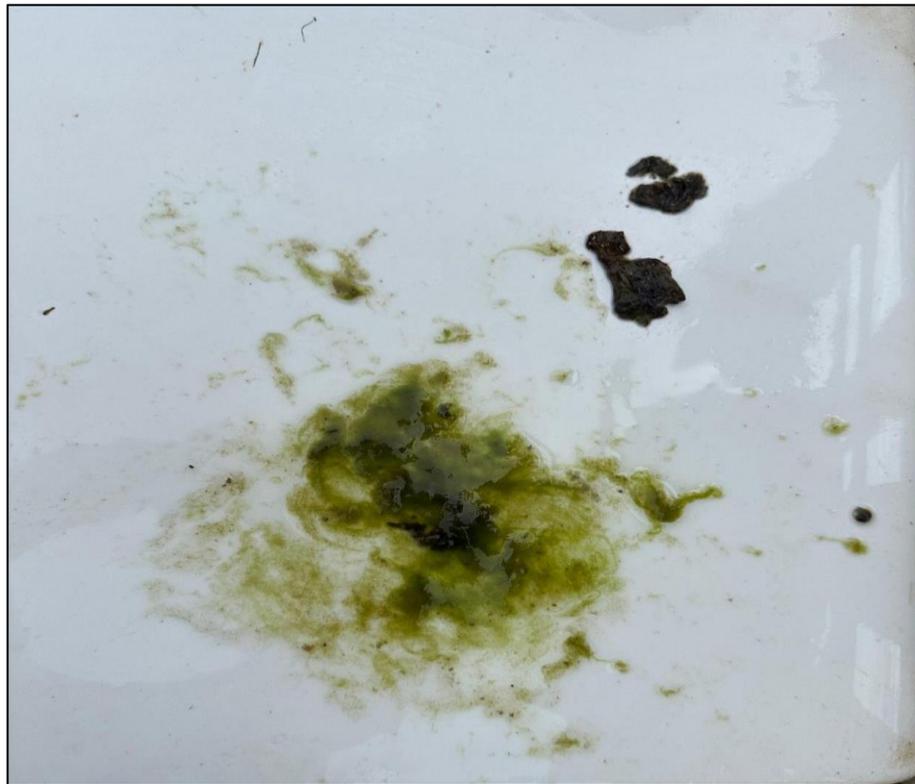


Figura 18 – Biofilme. (Fonte: elaborado pela autora)

Em resumo, o período que o sistema manteve com mais estabilidade foi entre outubro e dezembro de 2023, entre os dias 225 e 310, logo após os processos operacionais realizados.

No final da série temporal, entre janeiro e fevereiro de 2024, observou-se um novo aumento nos valores de turbidez, com um pico bem notável. Esse aumento pode ser atribuído a uma combinação de fatores que influenciam diretamente no sistema, como eventos externos. As mudanças climáticas como chuvas, especialmente em regiões com altos índices de precipitação, como é evidenciado no município de Ouro Preto-MG, a tendência do aparecimento de maior carga de sólidos pelos corpos d'água sobrecarrega o sistema, dificultando a remoção das partículas e com isso, aumentando a turbidez da água.

Ou seja, além das variáveis operacionais que são controláveis, é fundamental considerar as variáveis externas que influenciam na qualidade da água e no funcionamento dos filtros. O ambiente ao redor do sistema implantado pode impactar nos resultados. O objeto de estudo estava implantado em um local com alta

concentração de poeira, fuligem e outras partículas que podem se depositar nos processos de filtração e após a desinfecção interfere na eficiência das etapas. Além disso, a frequente manipulação por diferentes pessoas que residem no local pode influenciar no desempenho do sistema, tanto como o manuseio incorreto dos componentes.

Apesar desse aumento temporário da turbidez entre janeiro e fevereiro de 2024, o sistema não apresentou desconformidade aos padrões, uma vez que os valores permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela Portaria Nº 888/2021, onde estabelece os padrões de qualidade para o consumo humano no Brasil. Com isso, os processos de tratamento continuam eficientes.

No trabalho de Santos *et al.* (2022), foi avaliado o desempenho de filtros lentos em um sistema de filtração de múltiplas etapas, utilizando meio filtrante composto por misturas de areia e materiais sustentáveis. Os resultados apontaram para uma remoção insatisfatória da turbidez pelos filtros, o que levou os autores a enfatizarem a importância dos processos operacionais para o sucesso do tratamento. Segundo os pesquisadores, uma lavagem inadequada dos materiais empregados no meio filtrante pode ter contribuído significativamente para o desempenho negativo observado na remoção da turbidez.

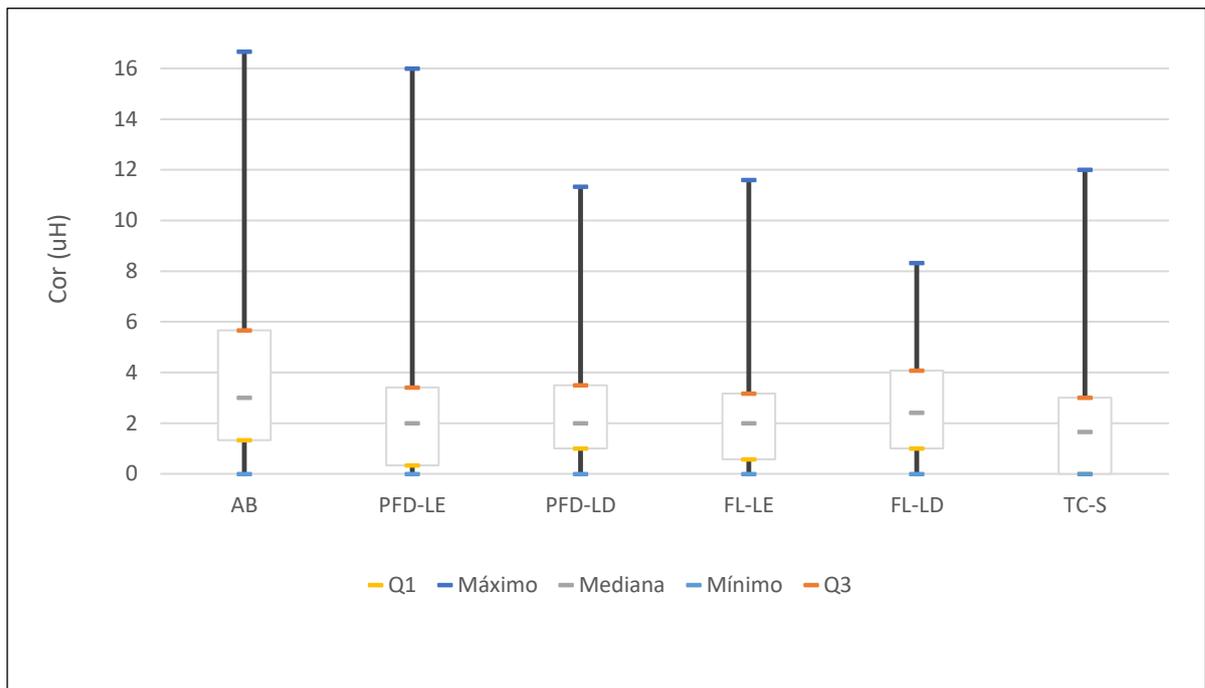
Portanto, a integração do presente estudo com o de Santos *et al.* (2022), aumenta a premissa de que os processos operacionais são cruciais para alcançar resultados satisfatórios em sistemas com filtração de água.

Por fim, os picos de turbidez observados no sistema estudado foram pontuais e controlados, demonstrando que o monitoramento, controle e operação desempenharam um papel essencial na garantia da qualidade de água distribuída para a população local, possibilitando as medidas corretivas e preventivas para manter a positividade e a estabilidade do sistema e assim, diminuindo os riscos e prevenindo enfermidades causadas pela água.

## **5.2 Cor aparente**

A Tabela 4 a Figura 19 a seguir exibem dados dos principais parâmetros estatísticos dessa variável ao longo do período analisado, março de 2023 a fevereiro

de 2024. Esses dados facilitam uma análise detalhada da dispersão dos dados, incluindo a mediana, os quartis e os limites extremos, possibilitando uma compreensão mais clara da cor. Além disso, essa visualização auxilia na identificação de possíveis flutuações nos níveis de cor da água e na verificação do seu cumprimento às normas nacionais vigentes.



Nota: As caixas blox-plot possuem linhas inferiores de quartil (Q1=25%), linhas do meio de valores medianos (50%) e linhas superiores de quartil (Q3=75%). As linhas retas que se estendem de cada extremidade das caixas são para mostrar os valores máximos e mínimos dos dados.

Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Figura 19 - Análise descritiva do parâmetro de Cor (uH). (Fonte: elaborado pela autora)

Tabela 4 - Análise descritiva do parâmetro de Cor (uH).

	<b>AB</b>	<b>PFD-LE</b>	<b>PFD-LD</b>	<b>FL-LE</b>	<b>FL-LD</b>	<b>TC-S</b>
<b>Mínimo</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Q3</b>	5,83	3,41	3,49	3,16	4,08	3,00
<b>Mediana</b>	3,00	2,00	2,00	2,00	2,41	1,66
<b>Q1</b>	1,33	0,33	1,00	0,57	1,00	0,00
<b>Máximo</b>	16,66	16,00	11,33	11,60	8,33	12,00

Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Fonte: elaborado pela autora.

Para a análise do parâmetro não foi considerado o *outlier* 22,00 uH, o que corresponde 1,35% do total de dados, da água bruta e do pré-filtro dinâmico do lado direito, pois esse valor significativamente alto pode ter acontecido devido a fatores naturais e em relação à interferência humana. Os naturais, como exemplo matéria orgânica dissolvida, chuvas intensas, e as condições antrópicas, como exemplo o despejo de resíduos sólidos e o desmatamento perto do manancial.

Os resultados da análise da água bruta do sistema indicaram uma mediana de 3,00 uH, um valor máximo de 16,66 uH, um primeiro quartil (Q1) de 1,33 uH e um terceiro quartil (Q3) de 5,83 uH. Esses dados demonstram um valor baixo da cor aparente, embora tenha sido registrado um pico de 16,66 uH, possivelmente decorrente de um evento atípico. Santos *et al.* (2022), em seu trabalho sobre desempenho dos filtros lentos com meios filtrantes de mistura de areia e materiais sustentáveis, relataram valores de cor aparente na água bruta variando de 22,00 a 29,40 uH.

De acordo com a Portaria N° 888/2021, os valores de cor nos processos do tratamento de água PFD-LE, PFD-LD, FL-LD e FL-LE não podem ultrapassar o limite máximo de 15 uH. Como evidenciado na figura 16 e na tabela 4, os valores máximos de cor aparente registrados durante essas etapas foram, respectivamente, 16,00;

11,33; 8,33 e 11,60 uH, novamente exposto esse valor de 16,00 uH um pouco acima do máximo estão relacionados aos períodos isolados de exceção. Esses valores representam que em quase todas as etapas analisadas, a cor aparente da água permaneceu abaixo do limite estabelecido pela norma, refletindo um efeito positivo do tratamento de água implantado no sistema.

Para os pontos, PFD-LE, PFD-LD, FL-LD e FL-LE, o Quartil 1 (Q1), apresentou valores, respectivamente, de 0,33; 1,00; 1,00 e 0,57 uH, indicando que 25% das amostras de turbidez apresentaram valores inferiores a esses números, o que demonstra uma grande parte de amostra com a cor aparente baixa. Já o Quartil 3 (Q3), os valores, respectivamente, foram de 3,41; 3,49; 4,08 e 3,16 uH, evidenciando que 75% das amostras ficaram abaixo desses valores, o que mostra também que a grande maioria dos resultados das análises possui uma cor aparente muito baixa.

Além disso, a mediana de cada um dos pontos, PFD-LE, PFD-LD, FL-LD e FL-LE, foram, respectivamente, 2,00; 2,00; 2,41 e 2,00 uH, dividindo a amostra em duas partes, onde 50% dos valores estão acima e 50% dos valores estão abaixo. Os valores resultantes das medianas indicaram que na sua maior parte, a cor aparente se manteve em níveis baixos, apontando que o sistema de tratamento está funcionando de maneira consistente na remoção de contaminantes e impurezas que são responsáveis pela coloração da água, como exemplo: matéria orgânica dissolvida.

Todos os resultados apresentados foram pertinentes, pois a cor aparente após os processos do tratamento da água das duas linhas, direita e esquerda, dos pré-filtros dinâmicos e as duas linhas da filtração lenta apresentaram valores que estão dentro da norma nacional estabelecida, apesar da exceção do valor máximo do PFD-LE de 16,00 uH, do limite máximo de 15 uH. Diferente de Santos *et al.* (2022), que mostrou valores de cor aparente nos filtros variando de 8 a 110 uH, mostrando que os filtros não apresentaram médias abaixo do valor permitido pela legislação vigente.

A avaliação da qualidade da água após o tratamento é um aspecto fundamental para verificar a eficiência do processo e assegurar que a água atenda aos padrões de potabilidade exigidos para o consumo humano. De acordo com a Portaria Nº 888/2021, o limite máximo permitido para a cor aparente após a desinfecção é de 15 uT. Conforme apresentado os dados na Tabela 4 e na Figura 19, o maior valor

registrado para esse parâmetro no ponto pós-desinfecção foi 12,00 uH, permanecendo abaixo do limite estabelecido. Esse resultado indica que a água tratada está dentro dos padrões normativos e que o sistema tem sido eficaz na remoção das substâncias responsáveis pela coloração.

Além disso, a análise estatística dos quartis e da mediana evidencia a distribuição dos dados nesse ponto do sistema. O primeiro quartil (Q1) apresentou valor igual a 0, demonstrando que 25% das amostras não apresentaram coloração aparente após o tratamento, o que indica uma remoção eficiente das partículas. O terceiro quartil (Q3) foi 3,00 uH mostrando que 75% das amostras registraram valores inferiores a esse limite, reforçando a predominância de baixos níveis de cor na água tratada. Já a mediana, de 1,66 uH, revela que metade das amostras analisadas apresentaram valores abaixo desse patamar, um indicativo positivo de que a coloração da água tratada permaneceu, na maior parte do tempo, significativamente abaixo do valor máximo permitido pela regulamentação vigente.

Todos os resultados obtidos indicam que os valores da cor aparente durante as etapas do sistema simplificado de tratamento e após a desinfecção estão dentro dos limites estabelecidos pela Portaria Nº 888/2021 da legislação vigente, deixando claro a conformidade com os padrões de qualidade exigidos pela norma. Os índices baixos da cor aparente observados em todas as etapas do tratamento do sistema evidenciaram que foi positivo na remoção das impurezas que poderiam comprometer a qualidade visual da água. Além disso, as análises realizadas demonstraram que a água tratada permaneceu abaixo dos valores máximos permitidos, assegurando sua adequação para o consumo humano.

No trabalho de Santos *et al.* (2022), os valores de cor aparente para a água tratada nos filtros variaram de 8 a 110 uH, com isso, não apresentaram médias do parâmetro com valores permitidos pela legislação vigente, que é de 15 uH, diferente do presente estudo, onde os valores da cor aparente estiveram dentro dos valores estabelecidos pela Portaria Nº 888/2021 do Ministério da Saúde.

A Tabela 5 apresenta os dados da eficiência dos diferentes pontos do sistema de tratamento de água. Primeiramente, retrata a eficiência da linha esquerda do tratamento que é composta pela água bruta (AB) e filtro lento do lado esquerdo (FL-

LE), que demonstra uma visão completa sobre a eficiência do sistema. Todos os valores são de cor aparente e registrados em cada ponto da amostragem.

Tabela 5 - Eficiência da remoção da cor aparente da linha esquerda do tratamento.

DATA	PONTOS	VALORES
Março/23 a Fevereiro/24	Água Bruta	Cor mediana: 3,00
Março/23 a Fevereiro/24	FL-LE	Cor mediana: 2,00
Março/23 a Fevereiro/24	Eficiência FL-LE	<b>Eficiência mediana: 33,33%</b>

Legenda: FL-LE: filtro lento do lado esquerdo.

Fonte: elaborado pela autora.

A eficiência do sistema foi avaliada com base na redução da cor aparente ao longo das etapas do tratamento. Conforme os resultados obtidos, a água bruta apresentou um valor inicial de 3,00 uH, e, à medida que avançou pelo sistema de tratamento, observou-se a redução desse parâmetro em diferentes etapas.

A filtração lenta do lado esquerdo (FL-LE), parâmetro essencial na remoção da cor da água, o valor da cor aparente manteve-se em 2,00 uH, resultando em uma eficiência de 33,33% nessa etapa em relação a Água Bruta (AB). Esse resultado indicou que nessa etapa especificamente a filtração lenta promoveu uma maior redução na cor aparente, mostrando uma eficiência no sistema e no processo da filtração.

De modo geral, todos os resultados indicaram uma eficiência no sistema de tratamento significativo na remoção da cor aparente. A filtração lenta, apresentou uma redução considerável nesse parâmetro e desempenha papel fundamental na remoção de outras impurezas.

A Tabela 6 retrata os dados da eficiência da linha direita do tratamento que é composta pela água bruta (AB), pré-filtro dinâmico do lado direito (PFD-LD), filtro lento do lado direito (FL-LD), que demonstra uma visão completa sobre a eficiência do sistema. Todos os valores são de cor aparente e registrados em cada ponto da amostragem.

Tabela 6 - Eficiência da remoção da cor aparente da linha direita do tratamento.

<b>DATA</b>	<b>PONTOS</b>	<b>VALORES</b>
Março/23 a Fevereiro/24	Água Bruta	Cor mediana: 3,00
Março/23 a Fevereiro/24	FL-LD	Cor mediana: 2,41
Março/23 a Fevereiro/24	Eficiência FL-LD	<b>Cor mediana: 19,66%</b>

Legenda: FL-LD: filtro lento do lado direito.

Fonte: elaborado pela autora.

Mais uma vez a eficiência do sistema de tratamento foi analisada com base na variação da cor aparente ao longo das diferentes etapas do processo. Primeiramente, a água bruta apresentou um valor de 3,00 uH, no qual foi reduzido nas outras etapas, demonstrando assim o efeito positivo do sistema na melhoria da qualidade da água fornecida para o consumo humano.

Na etapa da filtração lenta do lado direito (FL-LD), a cor aparente teve um valor de 2,41 uH, resultando em uma eficiência positiva de 19,66%. Essa redução da água bruta para a filtração lenta pode estar relacionada a diversos fatores, como a estabilidade do sistema, mostrando que o filtro lento do lado direito (FL-LD), embora tenha apresentado uma menor eficiência em relação ao filtro lento do lado esquerdo (FL-LE), demonstrou que o filtro está operando dentro do normal e desempenhando um papel fundamental na remoção da coloração da água.

A diferença de eficiência entre os dois filtros das linhas direita e esquerda pode estar relacionado à diversos fatores, como manutenção e limpeza mais eficiente no FL-LD, interferências antrópicas mais frequentes, entrada de maior concentração de matéria orgânica no filtro.

As remoções médias de cor aparente nos filtros foram inferiores as obtidas por Lima (2020), onde os filtros lentos foram constituídos com meios filtrantes convencionais e não convencionais, compostos por areia, fibras de coco, maravalha, carvão vegetal caseiro, resíduo cerâmico, no qual todos os filtros alcançaram mais de 60% na remoção média da cor aparente, valores esses acima do resultado encontrado no presente estudo.

A Figura 20 apresenta os dados da análise da série temporal (com média móvel de dois termos) da cor aparente ao longo do período de operação (março de 2023 a fevereiro de 2024) da linha direita do sistema simplificado de tratamento de água, que são: Água Bruta (AB) e Filtro Lento do lado direito (FL-LD) evidenciando as variações em resposta às mudanças nos processos operacionais. E logo em seguida, a Figura 21, apresenta os dados da série temporal da cor aparente ao longo do período de análise da linha esquerda do tratamento, que engloba: Água Bruta (AB) e Filtro Lento lado esquerdo (FL-LE).

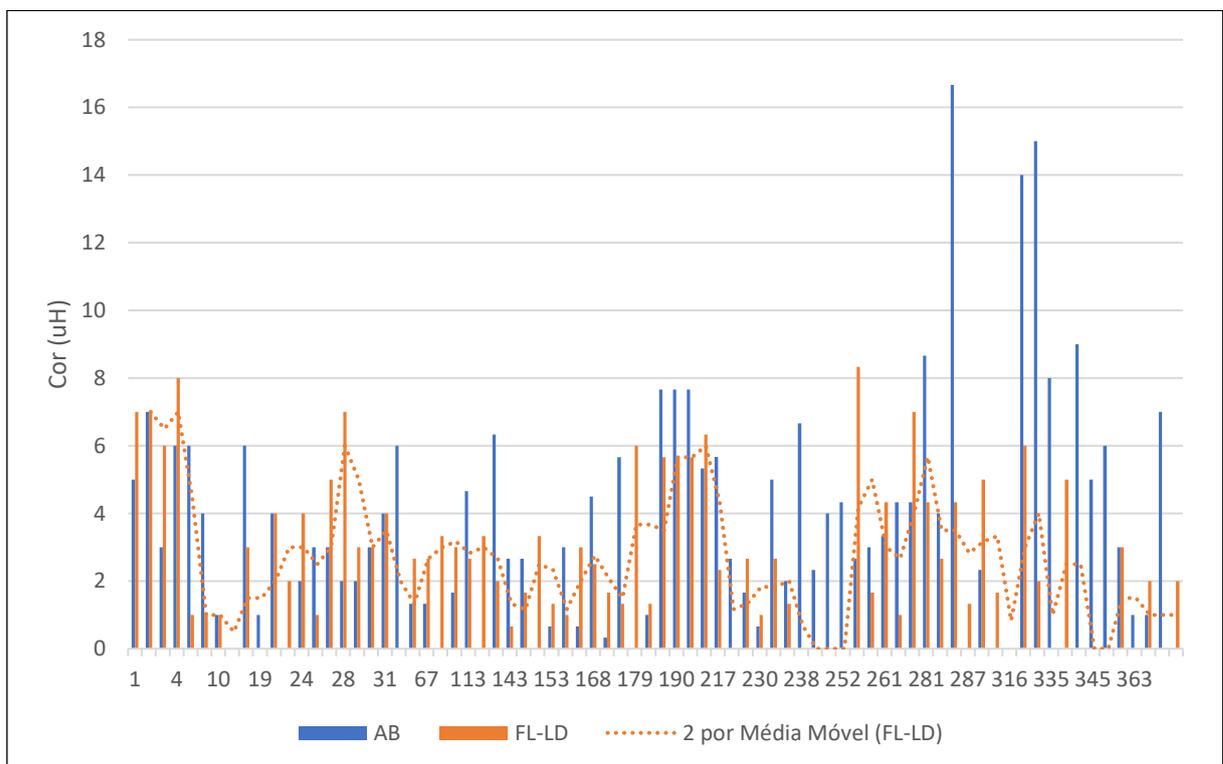


Figura 20 - Comportamento temporal da cor aparente do lado direito. (Fonte: elaborado pela autora)

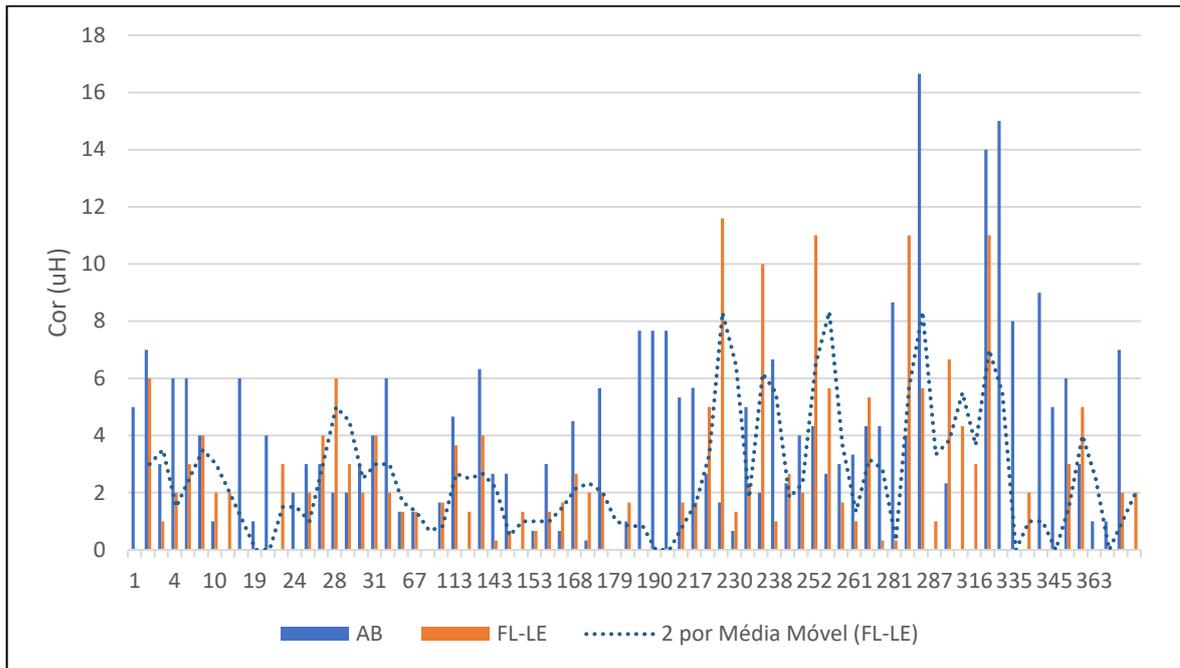


Figura 21 - Comportamento temporal da cor aparente do lado esquerdo. (Fonte: elaborado pela autora).

Para a análise do parâmetro não foi considerado o *outlier* 22,00, o que equivale 1,35% do total de dados, da água bruta, pois esse valor significativamente alto pode ter acontecido devido a fatores naturais e em relação à interferência humana. Os naturais, como exemplo matéria orgânica dissolvida, chuvas intensas, e as condições antrópicas, como exemplo o despejo de resíduos sólidos e o desmatamento perto do manancial

A análise dos gráficos referentes à cor aparente mostra que, diferentemente da turbidez, o parâmetro não foi influenciado pela pré-filtração dinâmica – função esta que se restringe à remoção de sólidos – mas sim pelo desempenho dos filtros lentos.

O comportamento geral dos valores de cor nos Filtros Lentos (FL-LD e FL-LE) apresenta flutuações ao longo do período analisado. Os filtros, seguiu um padrão menor que a da Água Bruta (AB), ou seja, na maioria das vezes, no total de dias de operação, a AB apresenta valores mais altos em relação a filtração lenta, o que indica que o FL está cumprindo o seu papel na remoção da cor da água.

Em outubro de 2023, foram implementados processos operacionais com o objetivo principal de otimizar o desempenho do sistema de tratamento e aumentar a

eficiência dos filtros lentos. Dentre essas ações, destacou-se a limpeza dos dois filtros lentos, etapa fundamental para assegurar a manutenção da eficiência da filtração e reduzir a concentração de material acumulado nos meios filtrantes. Esse processo incluiu a raspagem do biofilme depositado sobre o meio filtrante e a realização de uma retrolavagem utilizando água tratada por bombeamento, a fim de restaurar a capacidade de remoção dos filtros.

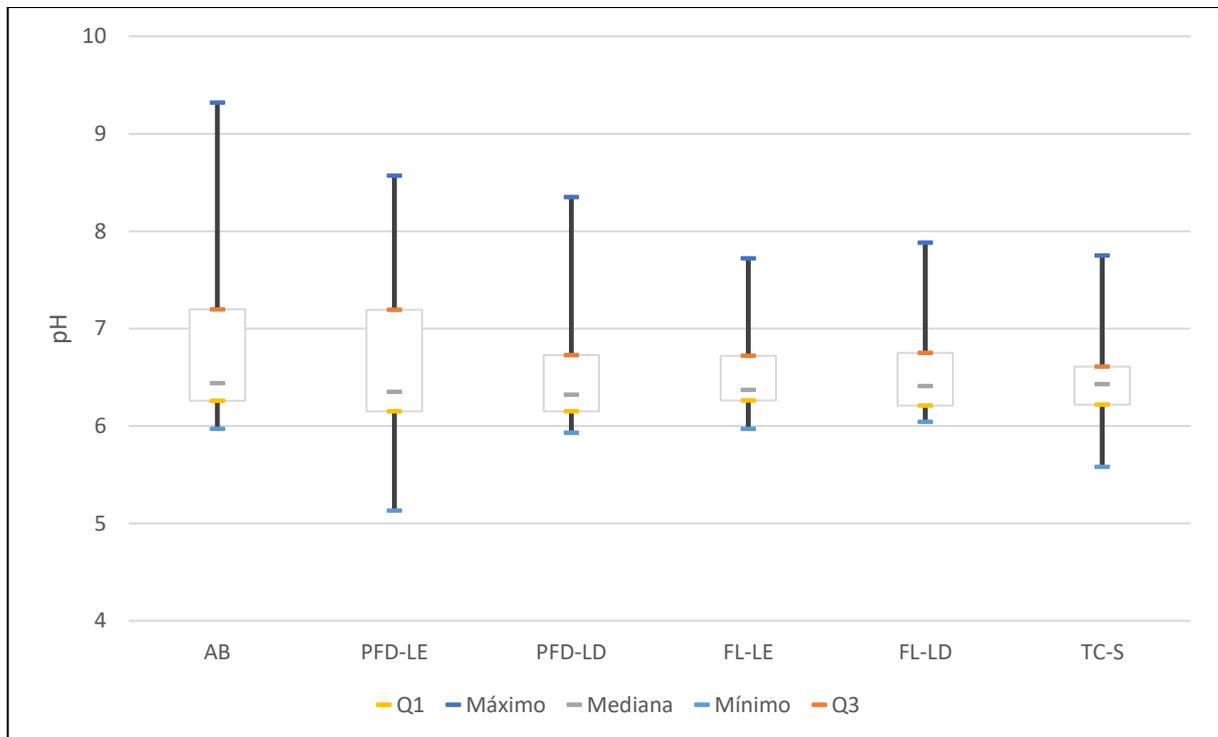
Os resultados obtidos após a limpeza indicaram uma melhora significativa na eficiência dos filtros. No período de outubro, entre os dias 226 e 252 de operação, observou-se que os valores de cor nos filtros lentos apresentaram uma redução em relação à água bruta, demonstrando que a filtração lenta manteve sua função de remoção da coloração de maneira eficaz. No entanto, entre novembro e dezembro (258 a 316 dias de operação), houve um aumento progressivo nos valores de cor aparente na água filtrada, sugerindo uma perda gradual da eficiência do carvão antracito na remoção da coloração ao longo do tempo. Esse fenômeno ocorre devido à saturação do material filtrante e à diminuição da capacidade de adsorção, fatores que impactam diretamente a remoção da cor, no qual pode ser influenciado pela limpeza operacional. Apesar dessa queda na eficiência, os valores registrados permaneceram dentro dos limites estabelecidos pelas normas de potabilidade, garantindo que a qualidade da água não foi comprometida.

Diante dessa observação, três meses depois, em janeiro de 2024, foi realizada uma nova intervenção nos filtros lentos das duas linhas, direita e esquerda, incluindo a retrolavagem do meio filtrante. Após essa operação, verificou-se que os filtros lentos demonstraram oscilações menores nos valores de cor, evidenciando que a filtração foi eficaz na remoção do parâmetro. Além disso, a análise dos dados pós-limpeza revelou uma recuperação significativa da capacidade de adsorção do carvão antracito, resultando em uma melhoria na remoção da coloração da água.

### **5.3 pH**

Na Figura 22 e na Tabela 7, são exibidos os dados dos principais indicadores estatísticos dessa variável durante o intervalo analisado, de março de 2023 a fevereiro de 2024, oferecendo uma visão detalhada sobre a dispersão dos dados, a mediana,

os quartis e os valores atípicos. Além disso, contribui para a detecção de eventuais flutuações nos índices de turbidez e sua conformidade com a norma nacional em vigor.



Nota: As caixas blox-plot possuem linhas inferiores de quartil (Q1=25%), linhas do meio de valores medianos (50%) e linhas superiores de quartil (Q3=75%). As linhas retas que se estendem de cada extremidade das caixas são para mostrar os valores máximos e mínimos dos dados.

Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Figura 22 - Análise descritiva do parâmetro de pH. (Fonte: elaborado pela autora)

Tabela 7 - Análise descritiva do parâmetro do pH.

	<b>AB</b>	<b>PFD-LE</b>	<b>PFD-LD</b>	<b>FL-LE</b>	<b>FL-LD</b>	<b>TC-S</b>
<b>Mínimo</b>	5,97	5,13	5,93	5,97	6,04	5,58
<b>Q3</b>	7,17	7,19	6,72	6,72	6,75	6,60
<b>Mediana</b>	6,43	6,35	6,32	6,37	6,41	6,42
<b>Q1</b>	6,25	6,15	6,15	6,26	6,21	6,22
<b>Máximo</b>	9,32	8,57	8,35	7,72	7,88	7,75

Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Fonte: elaborado pela autora.

Analisando os dados fornecidos em relação ao pH do tratamento de água, podemos observar como o pH da água evolui ao longo dos diferentes estágios do tratamento, desde a água bruta (AB) até o tratamento após a desinfecção (TC-S). O pH é um parâmetro importante, pois influencia diretamente a eficácia do tratamento e a adequação da água para consumo humano.

Primeiramente, a avaliação do pH na água bruta (AB) demonstrou que teve uma variação relevante. O valor mínimo registrado foi de 5,97 e o máximo registrado foi de 9,32. A mediana é 6,43, um primeiro quartil (Q1) de 6,25 e um terceiro quartil (Q3) de 7,17. Esses dados indicaram que os valores da água bruta não foram constantes, ou seja, houve uma variação considerável do pH e isso pode ocorrer devido a diferentes fatores, como contaminação do manancial.

De acordo com a Portaria N<sup>o</sup> 888/2021, os valores de pH nos processos de tratamento de água PFD-LE, PFD-LD, FL-LD e FL-LE têm que estar entre os limites de 6 e 9. No pré-filtro dinâmico do lado esquerdo (PFD-LE), possuíram valores variando de 5,13 a 8,57 e no pré-filtro dinâmico do lado direito (PFD-LD), os valores variaram de 5,93 a 8,35. O pH mínimo registrado do PFD-LE é mais ácido (5,13) e o pH máximo registrado (8,57) esteve dentro da faixa do limite. Além disso, a mediana das duas linhas do pré-filtro dinâmico são, respectivamente, 6,35 e 6,32, o que

significa que são valores que demonstraram ácidos a neutros, o que demonstrou ser normal na primeira etapa do processo de tratamento de água, logo após a remoção inicial das impurezas da água bruta.

Além disso, nos filtros lentos (FL-LE e FL-LD) das duas linhas, tanto direita quanto esquerda, o pH permaneceu relativamente estável com uma variação de valores mínimos e máximos de: FL-LE variou de 5,97 a 7,72 e o FL-LD variou de 6,04 a 7,88. A mediana foi de, respectivamente, 6,37 e 6,41, o que significa que é levemente ácido a neutro, mas mesmo assim dentro da faixa aceitável para o consumo humano como previsto na portaria vigente com valores de pH tem que estar dentro da faixa de 6 a 9. Ou seja, o processo de filtração produziu uma água estável e adequada, apesar de ser levemente ácida, ela esteve dentro dos limites desejáveis.

Após o processo de desinfecção (TC-S), no valor mínimo foi desconsiderado o *outlier* de 4,94, o que resulta 1,32% do total de dados, pois esse valor significativamente atípico pode ter acontecido devido à alguma particularidade e o valor não é alarmante para surgir algum erro.

O valor mínimo do pH é de 5,58 o que significa que embora não seja o valor ideal (6 a 9), ele não é extremamente baixo e é considerado moderadamente ácido, mas nada a ponto que poderia causar problemas no sistema e na segurança hídrica da população. O valor máximo foi considerado levemente alcalino (7,75), mas ainda assim esteve dentro do limite estabelecido para água potável para o consumo humano constatado pela norma da Portaria Nº 888/2021.

A mediana tem um valor de 6,42, significando que foi ligeiramente ácida e é aceitável para o consumo humano, o que mostra a norma da legislação vigente. A mediana 6,42 demonstrou que a maioria dos valores do pH após o processo de desinfecção (TC-S), esteve dentro da faixa de limite aceitável e próxima ao pH neutro (7). Ou seja, o parâmetro tem valores que na maioria estão dentro dos limites estabelecidos pela norma da Portaria Nº 888/2021.

O Quartil 1 (Q1) de 6,22 significa que 25% das amostras têm pH abaixo dessa faixa, demonstrando que algumas amostras foram um pouco ácidas, mas todas dentro do padrão de potabilidade. O Quartil 3 (Q3) tem resultado de 6,6, o que indica que 75% das amostras têm pH abaixo desse valor, o que resultou em um pH

moderadamente ácido a neutra, mostrando que o pH da água tratada foi bem controlado e adequada para o uso do consumo humano.

Em resumo, a diferença do Q1 para o Q3 é de 0,38, o que quer dizer que os valores do pH não variaram excessivamente, ou seja, foram bastante estáveis e bem controlados para um pH saudável e adequado, sem riscos de corrosão ou sabor indesejável.

Em comparação com o trabalho de Rocha Júnior (2024), que empregou um sistema FiME composto por um pré-filtro com meio filtrante de resíduo cerâmico e dois filtros lentos com meios filtrantes de fibras de coco, ambos os estudos mantiveram os valores de pH dentro da faixa de potabilidade (6 a 9). Esse resultado indica que, independentemente das variações nos meios filtrantes utilizados, tanto o presente trabalho quanto o de Júnior apresentaram um efeito positivo na estabilização do pH da água, assegurando o atendimento aos padrões de qualidade para consumo humano.

#### **5.4 Cloro residual livre**

Na Figura 23 e na Tabela 8, são exibidos os dados dos principais indicadores estatísticos dessa variável durante o intervalo analisado, de março de 2023 a fevereiro de 2024, e na etapa do tratamento após a desinfecção (TC-S), pois é onde há o uso da pastilha de cloro residual livre. Além disso, oferece uma visão detalhada sobre a dispersão dos dados, a mediana, os quartis e os valores atípicos. E por fim, contribui para a detecção de eventuais flutuações nos índices de turbidez e sua conformidade com a norma nacional em vigor.

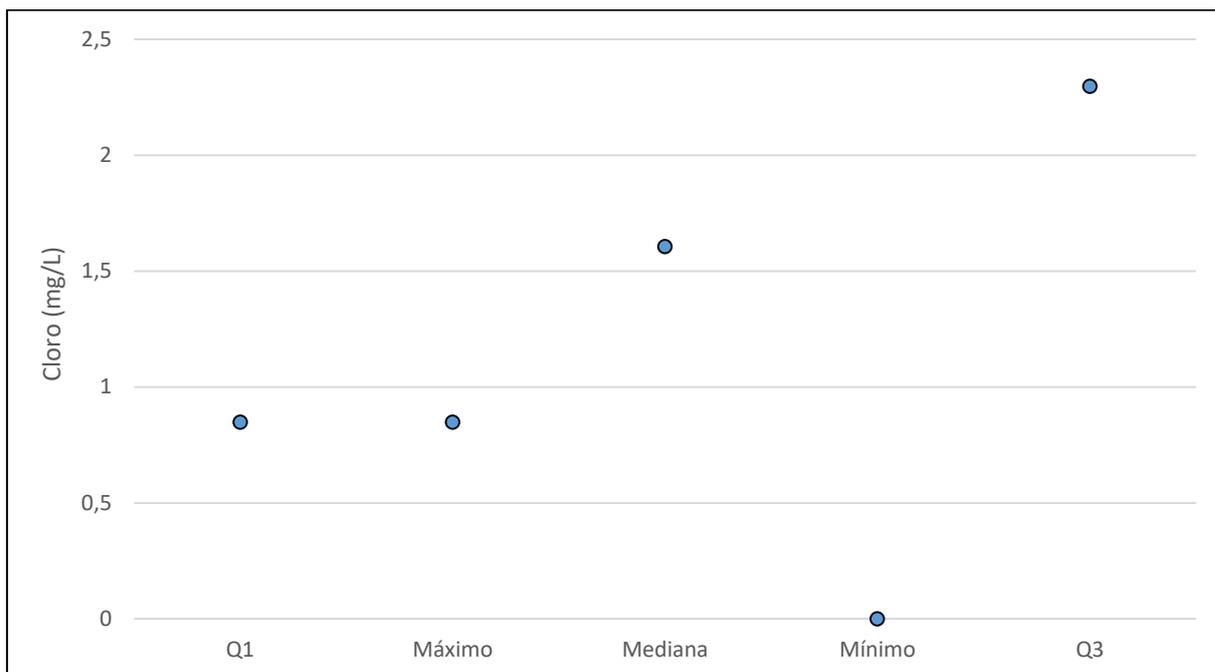


Figura 23 - Análise descritiva do parâmetro de cloro residual livre. (Fonte: elaborado pela autora)

Tabela 8 - Análise descritiva do parâmetro do cloro residual livre após a desinfecção (TC-S).

<b>Q1</b>	0,84
<b>Máximo</b>	0,84
<b>Mediana</b>	1,60
<b>Mínimo</b>	0,00
<b>Q3</b>	2,29

Fonte: elaborado pela autora.

O valor mínimo analisado foi de 0,00 mg/L, indicando que em algumas análises do sistema após a desinfecção não houve cloro residual livre detectável, pois, o valor mínimo exigido pela Portaria N° 888/2021 da legislação vigente de 0,2 mg/L. Isso pode ser comprovado que em algum momento as condições operacionais foram falhas,

como falta de reposição da pastilha de cloro residual livre, intervalos de reposição incorretos, monitoramento deficiente, e com isso resultando em um tratamento inadequado e comprometendo os resultados, possibilitando que a água não seja desinfetada adequadamente. Resultando na não segurança microbiológica da água, já que a função do cloro residual é livrar a água tratada de patógenos. Portanto, em algum evento atípico algumas análises microbiológicas podem ter sido negativas.

O valor máximo é de 0,84 mg/L que se encontra dentro do limite estabelecido pela norma, pois o limite máximo é resultante de 2,0 mg/L., portanto esse dado se mostrou positivo na água tratada que se encontra após a desinfecção no sistema.

A maioria das amostras de cloro residual livre também se encontra dentro dos limites estabelecidos pela portaria, pois a mediana tem um valor de 1,60 mg/L e assim comprovou que os valores são suficientes, na maioria das vezes, para garantir a desinfecção eficaz e a segurança microbiológica.

O quartil 1 (Q1) é de 0,84 mg/L indica que 25% das amostras apresentaram valores de cloro residual livre abaixo do valor do Q1 e o quartil 3 (Q3) é de 2,29 mg/L, indicando que 75% das amostras apresentaram valores abaixo do Q3, demonstrando que esteve dentro da faixa ideal de cloro residual livre para o consumo humano adequado.

Com isso, há uma problemática nos valores mínimos demonstrado em alguns eventos, e com isso o cloro residual livre foi totalmente consumido ou não foi adequadamente repostado. Mas apesar disso, a maioria das amostras apresentaram valores de cloro residual livre dentro da faixa de limite ideal para o consumo humano, demonstrando que teve uma garantia contínua na desinfecção da água, pois a mediana tem valor de 1,60 mg/L e o Q3 de 2,29 mg/L. Esses parâmetros são pertinentes de acordo com a Portaria N° 888/2021 que estabelece os limites e garante a potabilidade e a segurança microbiológica.

Para controlar o processo de desinfecção da água por cloração, é necessário manter os tempos de contato correspondentes às concentrações residuais de cloro residual livre no tanque de contato, ajustando-os de acordo com os valores de pH e temperatura estabelecidos na portaria de potabilidade. Os dados médios observados de temperatura foram de 23,5 °C e de pH de 6,5 da água na entrada do tanque de

contato e do cloro residual livre foi de 1,5 mg/L na saída do tanque de contato, o tempo de contato recomendado para ocorrer a desinfecção é de aproximadamente 6 minutos e para a concentração mínima de cloro residual livre observada (tirando os valores atípicos de 0 mg/L, 0,03 mg/L, 0,04 mg/L, e 0,05 mg/L, o que equivale 5,41% do total de dados) de 0,18 mg/L, o tempo de contato deveria ser de 34 minutos. A água é bombeada para o reservatório de distribuição e permanece por um período adicional antes de ser distribuída para a população local. Esse intervalo prolonga o tempo de contato com o cloro residual livre, aumentando assim, a eficiência do processo de desinfecção. A presença do cloro residual livre por mais tempo possibilita uma inativação mais completa dos microrganismos patogênicos, contribuindo para que a água atenda plenamente aos padrões de potabilidade estabelecidos e reduza os riscos de contaminação ao longo da distribuição. Além disso, a caixa de desinfecção tem capacidade de 1000L e, mesmo que o bombeamento seja acionado com 450 L, quando a água não está em uso, o tempo de detenção nesse reservatório aumenta. Essa permanência prolongada em contato com o cloro residual livre intensifica ainda mais o processo de desinfecção, favorecendo a inativação mais completa ainda de microrganismos patogênicos.

Considerando a vazão média de 0,0243 L/s na entrada do tanque de contato, por hora a vazão média é de 87,5 litros e o volume de 450 litros do tanque de contato para ocorrer o bombeamento para a caixa superior, o tempo médio de contato do cloro residual livre com a água filtrada resultou em 5,1 hora. Assim, o tempo em que o cloro residual livre permaneceu em contato com a água filtrada no tanque de contato foi maior do que o mínimo exigido, assegurando a eficácia do processo de desinfecção.

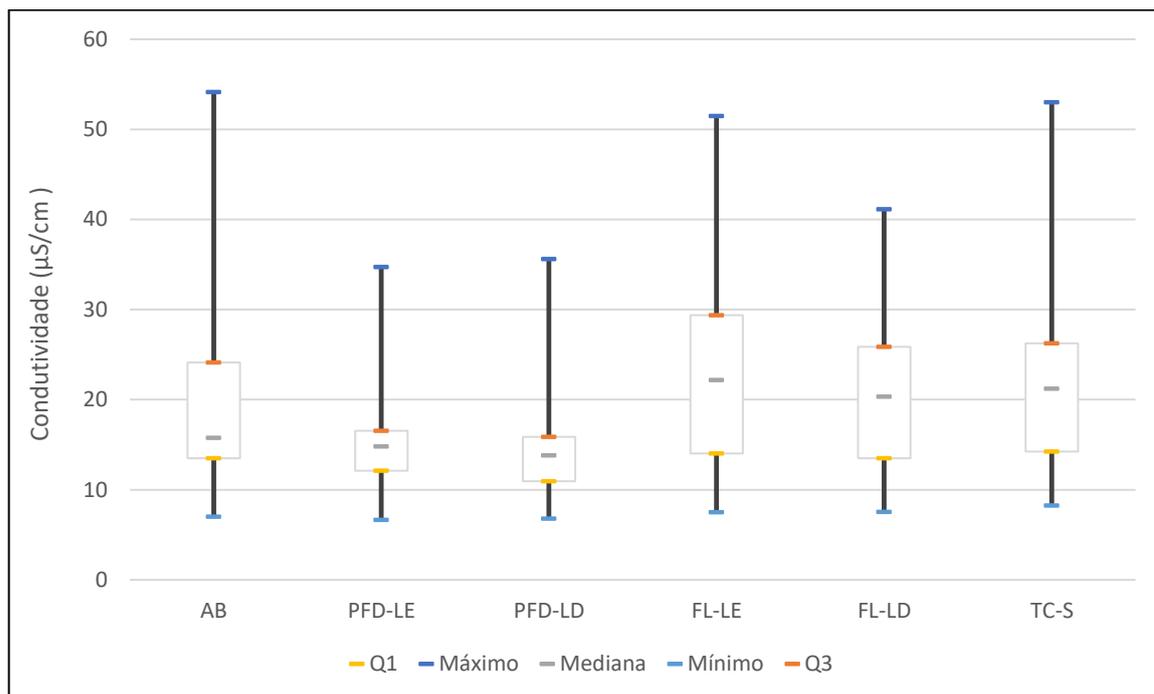
Para a vazão mínima de 0,00537 L/s, a água que entrou no tanque em uma hora foi de 19,33 litros, resultando em um tempo médio de contato do cloro residual livre de 23,2 horas, o que supera o tempo mínimo exigido pela norma. Em contraste, com a vazão máxima de 0,04798 L/s, o tanque recebeu 172,73 litros em uma hora, proporcionando um tempo médio de contato de 2,6 horas, também atendendo ao tempo mínimo estabelecido.

Portanto, o monitoramento e o controle da temperatura são extremamente importantes para a oferta da água potável de qualidade para o consumo humano da população local e assim, assegurar a eficácia do tratamento e a segurança hídrica.

De maneira comparativa, Silva *et al.* (2016) avaliaram a eficiência de um clorador de passagem artesanal, utilizado em propriedades rurais de Medeiros durante 30 dias, empregando pastilhas de cloro orgânico para a desinfecção, nesse estudo o valor máximo de cloro residual livre medido foi de 5 mg/L, demonstrando que o sistema também atingiu os níveis exigidos pela legislação vigente. Essa comparação reforça a relevância dos métodos simplificados de cloração na obtenção de água tratada de qualidade em diferentes contextos.

## **5.5 Condutividade elétrica**

Na Figura 24 e na Tabela 9 a seguir, são apresentados os dados dos principais parâmetros estatísticos dessa variável ao longo do período analisado, de março de 2023 a fevereiro de 2024. Esses dados permitem uma análise detalhada da distribuição, incluindo a mediana, os quartis e os valores extremos. Além disso, auxiliam na identificação de possíveis variações nos níveis de condutividade e na verificação de sua conformidade com a regulamentação nacional vigente.



Nota: As caixas blox-plot possuem linhas inferiores de quartil (Q1=25%), linhas do meio de valores medianos (50%) e linhas superiores de quartil (Q3=75%). As linhas retas que se estendem de cada extremidade das caixas são para mostrar os valores máximos e mínimos dos dados.

Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Figura 24 - Análise descritiva do parâmetro de condutividade. (Fonte: elaborado pela autora)

Tabela 9 - Análise descritiva do parâmetro de condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

	<b>AB</b>	<b>PFD-LE</b>	<b>PFD-LD</b>	<b>FL-LE</b>	<b>FL-LD</b>	<b>TC-S</b>
<b>Mínimo</b>	7,01	6,66	6,78	7,49	7,55	8,24
<b>Q3</b>	24,10	16,55	15,87	29,37	25,85	26,60
<b>Mediana</b>	15,76	14,78	13,79	22,18	20,32	21,20
<b>Q1</b>	13,49	12,10	10,94	14,00	13,48	14,21
<b>Máximo</b>	54,14	34,70	35,60	57,47	41,13	53,00

Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); PFD-LE: pré-filtro dinâmico do lado esquerdo; PFD-LD: pré-filtro dinâmico do lado direito; FL-LE: filtro lento do lado esquerdo; FL-LD: filtro lento do lado direito.

Fonte: elaborado pela autora.

Primeiramente, não foram considerados os *outliers* 71,40; 130,69; 73,22; 77,90 e 84,70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  da água bruta, o que resulta 6,76% do total de dados e 166,66 do Filtro Lento do lado direito (FL-LD), resultando em 1,35% do total de dados, pois esses valores significativamente altos podem ter acontecido devido a contaminação do manancial, uso excessivo de fertilizantes ou até mesmo erro no equipamento, impactando na análise do dia.

A água bruta (AB) demonstrou uma grande variação da condutividade, com o mínimo de 7,01  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e um máximo de 54,14  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , significando uma grande flutuação. A mediana foi de 15,76  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando que na maioria das vezes a água bruta apresentou um valor moderado de sais. O terceiro quartil (Q3) foi de 24,10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  o que mostrou que 75% das amostras apresentam valores inferiores a esse e o primeiro quartil (Q1) é de 13,49 e mostrou que 25% das amostras têm valores inferiores a esse.

No pré-filtro dinâmico do lado esquerdo (PFD-LE) e no pré-filtro dinâmico do lado direito (PFD-LD) houve uma variação quase semelhante sendo, respectivamente, os valores mínimos de 6,66  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 6,78  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e os valores máximos de 34,70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 35,60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o que indicou que houve uma alteração significativa na concentração de sais minerais dos pré-filtro dinâmico. A mediana do PFD-LE e PFD-LD teve valores

de, respectivamente, 14,78  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 13,79  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o que demonstrou que na maioria das vezes a água que sai dos PFD possuíam níveis de condutividade moderados. E por fim, o terceiro quartil (Q3) teve valores de, respectivamente, 16,55  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 15,87, indicando que 75% das amostras tiveram valores inferiores a esse e o primeiro quartil (Q1) obteve valores de, respectivamente, 12,10  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 10,94  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando que 25% das amostras têm valores inferiores a esse.

Nos Filtros Lentos FL-LE e FL-LD, houve uma variação quase semelhante sendo, respectivamente, os valores mínimos de 7,49  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 7,55  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e os valores máximos de 57,47  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 41,13  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o que indicou que houve uma alteração significativa na concentração de sais minerais dos filtros lentos. A mediana do FL-LE e FL-LD tem valores de, respectivamente, 22,18  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 20,32  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o que demonstrou que na maioria das vezes a água que sai dos FL possuíam níveis de condutividade relativamente modestos. E por fim, o terceiro quartil (Q3) teve valores de, respectivamente, 29,37  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 25,85  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando que 75% das amostras teve valores inferiores a esse e o primeiro quartil (Q1) obteve valores de, respectivamente, 14,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 13,48  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando que 25% das amostras obtiveram valores inferiores a esse. Como observado, a condutividade aumentou após a passagem dos filtros lentos, com medianas superiores às do pré-filtro dinâmicos. Esse aumento pode estar relacionado à diversos fatores, como exemplo: à elevada dissolução de sais minerais presentes no meio filtrante dos filtros lentos, no qual podem liberar íons na água.

Por fim, a condutividade após a desinfecção (TC-S), possuiu uma alta variância com valor mínimo de 8,24  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e valor máximo de 53,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , significando um aumento considerado nos níveis de sais minerais. A mediana teve valor de 21,20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando que na maioria das vezes a água tratada possuiu esses valores. O terceiro quartil (Q3), foi de 26,26  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o que significou que 75% das amostras tiveram valores inferiores a esse e o primeiro quartil (Q1) foi de 14,21  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o que significou que 25% das amostras possuíam valores inferiores a 14,21  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Com a variável da mediana e do máximo indicou que a condutividade não diminuiu de maneira significativa após a desinfecção, indicando que a água tratada ainda possuía um moderado nível de sais minerais. Apesar disso, os valores não aumentaram de

forma brusca, resultando em valores baixos, deixando claro que a água tratada foi de uma alta qualidade para o consumo humano da população local.

A Portaria Nº 888/2021 não estabelece um limite específico para a condutividade elétrica da água potável. Apesar disso, valores muito altos do parâmetro na água tratada, logo após a desinfecção (TC-S), podem apresentar alteração do sabor devido ao alto nível de sais dissolvidos, corrosão nas tubulações, entre outras, o que não acontece no sistema em questão estudado.

Diferente do trabalho de Lima (2019), sobre a análise da qualidade da água de um sistema simplificado de tratamento, o ponto de coleta 3 (P3) localizado na estação de tratamento, depois da filtração, resultou em valores acima de 100 uS/cm, demonstrando que a água analisada nesse ponto apresenta níveis de sais minerais altos, diferente do presente estudo.

## **5.6 E. Coli e Coliformes Totais**

A avaliação da qualidade microbiológica da água foi realizada na saída do sistema de tratamento, especificamente após o reservatório de contato na etapa de desinfecção. As análises foram feitas de acordo com a norma de potabilidade da portaria Nº 888/2021, onde estabelece que para *Escherichia coli* (*E. coli*): ausência em 100ml de amostra; e para coliformes totais: ausência em 100ml de amostra.

Ao longo do monitoramento, foram realizadas 40 análises microbiológicas, permitindo a verificação da presença de coliformes totais e *Escherichia coli* na água tratada. Os resultados indicaram que 77,5% das amostras testaram negativas para coliformes totais, enquanto 80% das amostras apresentaram ausência de *Escherichia coli*, demonstrando uma eficiência significativa do processo de desinfecção e na segurança hídrica para a população residente do local.

Entretanto, a presença de resultados positivos em algumas amostras sugere falhas pontuais no sistema de desinfecção, que, em grande parte dos casos, estavam associadas à falta de reposição das pastilhas de cloro residual livre, fator principal para a eliminação desses parâmetros microbiológicos. Esse fator evidencia a

importância de um monitoramento contínuo e da correta dosagem do agente desinfetante para garantir a eliminação eficaz de microrganismos patogênicos.

É importante destacar que, conforme apontado por Pinto e Hermes (2006), os Coliformes totais tendem a ser removidos na camada superficial do meio filtrante, onde se desenvolve o biofilme microbiano. Esse biofilme atua como uma barreira natural, favorecendo a adsorção e degradação biológica dos contaminantes microbiológicos. Dessa forma, a eficiência do sistema de filtração também desempenha um papel fundamental na redução da carga microbiana antes da etapa de desinfecção, reforçando a necessidade de uma manutenção adequada dos filtros e da prevenção da saturação do meio filtrante.

Conforme mencionado anteriormente, observou-se um resultado positivo no sistema de tratamento, uma vez que a maioria das amostras analisadas apresentaram resultados negativos para contaminação microbiológica. Esse dado reforça a eficácia do processo de desinfecção, evidenciando que, na maior parte do tempo, a água tratada atendeu aos padrões de potabilidade da Portaria Nº 888/2021 e esteve segura para o consumo humano, isenta de agentes patogênicos que poderiam representar riscos à saúde da população.

No trabalho de Machado e Scalize (2013), sobre avaliação da filtração em múltiplas etapas em águas com baixa turbidez, a remoção de coliformes totais e *E. Coli* ficaram na faixa de 95 a 100% nos filtros lentos, o que é de grande significado. Contudo, no trabalho os filtros lentos já removem uma grande parte dos microrganismos, porém os autores deixam claro que essa etapa não substitui a desinfecção final que deve ser seguida por um processo de desinfecção (como a cloração) para assegurar que quaisquer microrganismos remanescentes sejam inativados e a água esteja apta para consumo humano, eliminando mais ainda os patógenos.

A tabela 10 apresenta um quadro geral dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho, reunindo de forma sintética os principais parâmetros analisados, seus respectivos valores e a conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente.

Tabela 10: Tabela geral dos Resultados.

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultados Obtidos após a desinfecção</b>	<b>Limite (Portaria Nº 888/2021)</b>	<b>Avaliação</b>
<b>Turbidez (uT)</b>	Mediana: 0,68 uT Máximo: 2,75 uT	Máximo permitido após desinfecção: 5,0 uT	Dentro do padrão
<b>Cor Aparente (uH)</b>	Mediana: 1,66 uH Máximo: 12,00 uH	Máximo permitido: 15 uH	Dentro do padrão
<b>pH</b>	Mediana: 6,42 Máximo: 7,75	Faixa recomendada: 6,0 a 9,0	Dentro da faixa ideal de potabilidade.
<b>Cloro Residual Livre</b>	Mediana: 1,60 mg/L	Mínimo: 0,2 mg/L Máximo: 2,0 mg/L	Dentro do padrão
<b>Coliformes Totais</b>	77,5% das amostras negativas	Ausência em 100 mL	Requer melhoria. Cerca de 22,5% das amostras fora do padrão.
<b><i>Escherichia coli</i></b>	80% das amostras negativas	Ausência em 100 mL	Requer atenção. 20% de contaminação ainda detectada.

Fonte: elaborado pela autora.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou a eficiência da implementação de um sistema simplificado de abastecimento de água, no qual foi aplicado em um acampamento de desabrigados em Ouro Preto-MG, no bairro Saramenha, por meio de filtração em múltiplas etapas e complementado pela cloração. O sistema demonstrou uma alternativa viável e necessária para garantir o acesso à água potável e de boa qualidade em comunidades vulneráveis. A pesquisa deixou claro que, a operação foi um desafio, principalmente por estar ligada a um contexto de baixíssimas condições operacionais, onde há limitações estruturais e técnicas, já os parâmetros demonstraram em alguns momentos algumas oscilações. Porém, o sistema foi capaz de reduzir as impurezas e os microrganismos patogênicos e atendeu, em grande parte, os padrões de potabilidade físico-químico e microbiológicos estabelecidos pela norma brasileira vigente de Nº 888/2021 do Ministério da Saúde.

Além dos resultados técnicos, o presente estudo deixa claro a importância de soluções alternativas coletivas e de baixo custo para áreas onde a infraestrutura de saneamento é precária e a participação comunitária permite que os moradores contribuam com conhecimentos locais, identificando as necessidades específicas da região, sugerindo ajustes que possam melhorar a eficiência do sistema. Dessa forma, a interação técnica e a participação social se torna base para enfrentar os desafios do saneamento básico precário.

Por fim, o trabalho reflete a urgência de implementação de políticas públicas que promovem o acesso à água potável e aos elementos de saneamento básico para toda a população. O sistema implementado serviu como incentivo para o fornecimento da água com qualidade e novas soluções, onde o conhecimento técnico se alia ao compromisso social, tornando a cidade mais justa e mais sustentável.

Recomenda-se a adoção dessa tecnologia em outros contextos com características similares, pois investir em alternativas coletivas de abastecimento de água é um passo essencial para transformar a realidade de comunidades carentes e assim, promover saúde hídrica, bem-estar, qualidade de vida, e além disso, o fortalecimento com os cidadãos e a inclusão social.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Sergio Brasil. **Comportamento de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento mediante o emprego de polímeros como auxiliares de filtração.** Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-09092009-141154/publico/Tese\\_Doutorado\\_Final.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-09092009-141154/publico/Tese_Doutorado_Final.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

ALMEIDA, Isaura Florisa Gottschall de. **Desigualdades e políticas públicas de habitação no Brasil.** 2011. 158 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/8907/1/Isaura%2520Almeida.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ALMEIDA, Tiago Silva de; LIMA, Anderson de Jesus; SOUZA, Lucas de Araújo; MICHELANA, Denise Conceição de Góis Santos. **Filtração em múltiplas etapas (FiME) modificada por materiais não convencionais.** *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, v. 9, n. 1, p. 147–163, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/45440>. Acesso em: 20 mar. 2025.

ANDRADE, Gabriela Ferreira de; BARROS, Danielly Bezerra. **Bioindicadores microbiológicos para indicação de poluição fecal.** *Acervo Saúde*, v. 11, supl. 34, p. e1099, 2019. Disponível em: <https://acervomais.com.br/index.php/saude/article/view/1099/824>. Acesso em: 20 mar. 2025.

APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012. 1496 p.

ARAÚJO, Daniela Lima; ANDRADE, Rafael França. **Qualidade Físico-Química e Microbiológica da Água Utilizada em Bebedouros de Instituições de Ensino no Brasil: Revisão Sistemática da Literatura.** *Brazilian Journal of Human Resources*, v. 3, n. 4, p. 7301-7324, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/12609/10584>. Acesso em: 18 fev. 2025.

AZEVEDO NETTO, José M. **Cronologia dos Serviços de Esgoto, com menção ao Brasil.** *Revista DAE*, v. 33, n. 704, p. 15-19, 1959. Disponível em: [http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_33\\_n\\_704.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_33_n_704.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

BARBOSA, Guilherme de Andrade Carvalho Dantas. **Determinação da remoção de cor e parâmetros físico-químicos em efluente têxtil via adsorção.** João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13553/1/GACDB28062018.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.



BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984, de 17 de julho de 2000; nº 10.768, de 19 de novembro de 2003; nº 11.107, de 6 de abril de 2005; e nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm). Acesso em: 26 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde.** Brasília: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/boas\\_praticas\\_agua.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/boas_praticas_agua.pdf). Acesso em: 26 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano: módulo II – aula 1.** Brasília: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso\\_basico\\_vigilancia\\_qualidade\\_agua\\_modulo\\_II\\_aula\\_1.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_II_aula_1.pdf). Acesso em: 20 mar. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Qualidade da água para consumo humano: cartilha de promoção.** Brasília: Ministério da Saúde, 2018. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/qualidade\\_agua\\_consumo\\_humano\\_cartilha\\_promocao.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/qualidade_agua_consumo_humano_cartilha_promocao.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água.** 2006. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia\\_controle\\_qualidade\\_agua.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 86, p. 78–79, 7 maio 2021. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 26 mar. 2025.

CAMPLESI, Daniela Cristina Fonseca. **Desempenho da tecnologia de filtração em múltiplas etapas (FiME) no tratamento de águas.** Goiânia: Universidade Federal de Goiás, dez. 2009. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/teserver/api/core/bitstreams/3b2d435c-02a0-429d-a8b7-c63388cfa418/content>. Acesso em: 18 fev. 2025.

CASTRO, César Nunes de. **Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica. Rio de Janeiro:** Ipea, 2022. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11115/1/%C3%81gua\\_problemas\\_complexos.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11115/1/%C3%81gua_problemas_complexos.pdf). Acesso em: 26 mar. 2025.

CETESB. Apendice D – **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade.** São Paulo: CETESB, 29 abr. 2014. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Apendice-D-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C.C.S.; HELLER, L. **Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas.** (Ed.) PROSAB-Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. ABES–Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro.1999.

FERREIRA, Angélica Franco. **Avaliação da ETA de Hidrolândia para atendimento do padrão de turbidez da Portaria 2914.** Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2014. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/AVALIA%C3%87%C3%83O\\_DA\\_ETA\\_D\\_E\\_HIDROL%C3%82NDIA\\_PARA\\_ATENDIMENTO\\_DO\\_PADR%C3%83O\\_DE\\_TURBIDEZ\\_DA\\_PORTARIA\\_2914.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/AVALIA%C3%87%C3%83O_DA_ETA_D_E_HIDROL%C3%82NDIA_PARA_ATENDIMENTO_DO_PADR%C3%83O_DE_TURBIDEZ_DA_PORTARIA_2914.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

FRANCO, Monalisa M. **Uso de coagulante extraído de sementes de Moringa oleifera como auxiliar no tratamento de água por filtração em múltiplas etapas.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola, 2010. Acesso em: 18 fev. 2025.

FUNASA. **Abastecimento de água potável.** 2018. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Abastecimento+de+%C3%81gua+Pot%C3%A1vel.pdf/c42e2752-7de2-4a0b-a751-fa352f1bdbc3?version=1.0>. Acesso em: 18 fev. 2025.

FUNASA. **Manual da SALTA-z WEB.** Brasília/DF: FUNASA, 2017. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/bitstream/handle/123456789/476/Manual%20da%20SALTA-z%20WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 fev. 2025.

FUNASA. **Manual de Controle e Qualidade da Água para Técnicos: Trabalho em METAS.** Brasília/DF: FUNASA, 2014. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manualcont\\_quali\\_agua\\_tecnicos\\_trab\\_emetas.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

FUNASA. **Manual prático de análise de água.** Brasília/DF: FUNASA, 2013. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp->

content/files\_mf/manual\_pratico\_de\_analise\_de\_agua\_2.pdf. Acesso em: 18 fev. 2025.

GUEDES, A. F.; TAVARES, L. N.; MARQUES, M. N. N.; MOURA, S. P.; SOUSA, M. N. A. **Tratamento da água na prevenção de doenças de veiculação hídrica.** Journal of Medicine and Health Promotion, v. 2, n. 1, p. 452–461, 2017.

HOGAN, Daniel Joseph. **Mobilidade populacional, sustentabilidade ambiental e vulnerabilidade social.** Revista Brasileira de Estudos de População, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 323–338, jul./dez. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepop/a/LWGGJ5dnzkNkfqD4ggSMqhCz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 mar. 2025.

IBGE. **Atlas de Saneamento espacializa dados relacionados a meio ambiente e saúde.** Agência de Notícias – IBGE, 2021. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32304-atlas-de-saneamento-espacializa-dados-relacionados-a-meio-ambiente-e-saude>. Acesso em: 18 fev. 2025.

IBGE. **Censo 2022: 87% da população brasileira vive em áreas urbanas.** Agência de Notícias - IBGE, 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/41901-censo-2022-87-da-populacao-brasileira-vive-em-areas-urbanas>. Acesso em: 18 fev. 2025.

IBGE. **Panorama de Ouro Preto.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ouro-preto/panorama>. Acesso em: 18 fev. 2025.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **ESG e tendências no setor de saneamento do Brasil. São Paulo: ITB, 2023.** Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/02/ESG-e-Tendencias-no-Setor-de-Saneamento-do-Brasil-ITB.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Infraestrutura social: educação, saúde, assistência e segurança.* Brasília: IPEA, 2010. **Infraestrutura Social e Urbana no Brasil**, v. 2. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3211?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3211?locale=pt_BR). Acesso em: 20 mar. 2025.

JESUS, Djalma Santos de; ALMEIDA, Rosa Alencar Santana de. **Condições operacionais de reservatórios em sistemas de abastecimento de água indiretos: Estudo de caso em um Campus Universitário.** Águas Subterrâneas, v. 31, n. 1, p. 1–10, 2023. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29504/19082>. Acesso em: 20 mar. 2025.

LIBÂNIO, P. A. C.; CHERNICHARO, C. A. L.; NASCIMENTO, N. O. **A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 219–228, 2005.

LIMA, Adneilda Gomes de. **Análise da qualidade da água de um sistema simplificado localizado na zona rural de Princesa Isabel** – PB. 2019. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental de Municípios) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Princesa Isabel, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/2224/1/tccfinal1\\_Adneilda%20Lima.pdf](https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/2224/1/tccfinal1_Adneilda%20Lima.pdf). Acesso em: 26 mar. 2025.

LIMA, Anderson Jesus. **Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencionais.** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2020. Disponível em: [https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/14312/2/ANDERSON\\_JESUS\\_LIMA.pdf](https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/14312/2/ANDERSON_JESUS_LIMA.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

LIMA, Julyenne Kerolainy Leite. **Avaliação da filtração direta descendente no tratamento de água de abastecimento.** 2014. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1689/Julyenne%20Kerolainy%20Leite%20Lima.TCC.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 20 mar. 2025.

LIMA, Lucas Oliveira da Cruz. **Sistemas Alternativos de Abastecimento de Água Tratada Aplicados em Bairros Carentes.** Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2021. TCC (Bacharelado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3349/1/TCC%2002%20LUCAS%20OLIVEIRA%20DA%20CRUZ%20LIMA.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

LIMA, Lucas Oliveira da Cruz. **Sistemas alternativos de abastecimento de água tratada aplicados em bairros carentes, como forma de prevenir doenças e promover a saúde pública.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/3349>. Acesso em: 26 mar. 2025

MACHADO, Renato e DI BERNARDO, Luiz. **Dimensionamento de filtros rápidos por gravidade com taxa declinante variável**. 1997, Anais. Foz do Iguaçu: ABES, 1997. Acesso em: 19 fev. 2025.

MACHADO, Luciana de Souza Melo; SCALIZE, Paulo Sérgio. **Avaliação da filtração em múltiplas etapas em águas com baixa turbidez e estimativa da biomassa algal – caso represa Samambaia**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES, 22., 2013, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: ABES, 2013. Disponível em: [https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/22\\_Download/Trabalhos Completos PDF/I-059.pdf](https://abes-dn.org.br/anais eletronicos/22_Download/Trabalhos Completos PDF/I-059.pdf). Acesso em: 26 mar. 2025.

MARICATO, E. **As ideias fora do lugar e o lugar fora das ideias**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. Disponível em: <https://labcs.ufsc.br/files/2011/12/07.-MARICATO-E.-As-id%C3%A9ias-fora-do-lugar-e-o-lugar-fora-das-id%C3%A9ias.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MARCHESAN, L.; CARISSIMI, E.; GRAEPIN, C.; BRACHER, G. H. **Influência do pH inicial no tratamento de água por eletrocoagulação-flotação**. Rev. Bras. de Iniciação Científica (RBIC), Itapetininga, v. 8, p. 1–11, 2021.

MASTROPAULO, Audry de Almeida; RAZZOLINI, Maria Tereza Pepe. **Qualidade da Água de Sistema Alternativo Coletivo de Abastecimento para Consumo Humano: Ocorrência de Cistos de Giardia e Oocistos de Cryptosporidium em Poços de São Paulo-SP**. Revista Brasileira de Ciências da Saúde, João Pessoa, v. 22, n. 3, p. 237-246, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/rbcs/article/view/35161/19856>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MEYER, Sheila T. **O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública**. Cadernos de Saúde Pública, v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/pQy9fHxmbtW7Jx7BkxNjttp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MOLIN, José P.; RABELLO, Ladislau M. **Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo**. EAGRI, v. 31, n. 1, p. 90-101, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/XCcqhxxDb8srRpNP5xC3jRm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MORAIS, Juciela Brum Soares de. **Soluções alternativas coletivas de abastecimento de água: um desafio para a vigilância e o controle da qualidade da água no município de Matelândia/PR**. 2014. 47 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/22576/3/MD\\_GAMUNI\\_VI\\_2014\\_45.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/22576/3/MD_GAMUNI_VI_2014_45.pdf). Acesso em: 20 mar. 2025.

MURTHA, N. A.; HELLER, L.; LIBÂNIO, M. **A filtração lenta em areia como alternativa tecnológica para o tratamento de águas de abastecimento no Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu: ABES, 1997.

ONU BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 18 fev. 2025.

PARENTE, Caroline Menezes Tosaka; OLIVEIRA, Erika Maria Jamir de. **Crescimento urbano desordenado e os desafios da política urbana em promover o desenvolvimento inclusivo, sustentável e equilibrado: casuística Plano Diretor da Cidade de Petrolina-PE.** Petrolina-PE: Jusbrasil, 2019. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/crescimento-urbano-desordenado-e-os-desafios-da-politica-urbana-em-promover-o-desenvolvimento-inclusivo-sustentavel-e-equilibrado/712755285>. Acesso em: 18 fev. 2025.

PEREIRA, C. S.; RODRIGUES, M. O. S.; BARROS, C. L. S.; ALMEIDA, B. L. N.; DIOGO, M. L. S. **A. Identificação de impactos ambientais provocados pelo lançamento de resíduos sólidos e líquidos no Rio Itapecuru.** Nature and Conservation, v. 13, n. 2, p. 59–66, 2020.

PINTO, Nayara de Oliveira; HERMES, Luiz Carlos. **Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil.** Jaguariúna, SP: Embrapa, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/16002/1/documentos53.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2025.

PITERMAN, Ana; GRECO, Rosângela Maria. **A água: seus caminhos e descaminhos entre os povos.** Revista APS, v. 8, n. 2, p. 151-164, jul./dez. 2005. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/nates/files/2009/12/agua.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **Plano Municipal de Emergência e Contingência.** Ouro Preto, MG. Disponível em: [https://www.ouropreto.mg.gov.br/static/PMSOP/5\\_EMERGENCIA\\_E\\_CONTINGENCIA.pdf](https://www.ouropreto.mg.gov.br/static/PMSOP/5_EMERGENCIA_E_CONTINGENCIA.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE OURO PRETO. **Plano Municipal de Saneamento Básico Prognósticos e Alternativas para Universalização dos Serviços.** Ouro Preto: 2013. Disponível em: [https://www.ouropreto.mg.gov.br/static/PMSOP/3\\_PROGNOSTICOS\\_FINAL.pdf](https://www.ouropreto.mg.gov.br/static/PMSOP/3_PROGNOSTICOS_FINAL.pdf).

ROCHA JÚNIOR, Fernando Rodrigues da. **Sistema de tratamento de água subterrânea em áreas rurais para abastecimento humano com filtração lenta**

**não convencional**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024.

ROCHA, P. S. G. **Análise da influência da turbidez em resultados de amostra de água subterrânea**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Pós-graduação) – Escola Superior da CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2020/11/Paulo-Sergio-Goncalves-Rocha-TCC-T2.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2025.

SANTOS, Samara Tavares dos; LIMA, Anderson de Jesus; MICHELAN, Denise Conceição de Gois Santos. **Desempenho de filtros lentos com meio filtrante de misturas de areia e materiais sustentáveis**. Revista AIDIS, v. 16, n. 1, p. 139-153, 2022.

SILVA, Clélia Cristina Almeida da; PEDROSA, Jéssica Reis; TEIXEIRA, Lerranya Lasmar; PACIULLI, Sônia Oliveira Duque; PACIULLI, Alberto Schwaiger; ORTIZ, Gaby Patricia Teran. **Avaliação da eficiência do "clorador de passagem artesanal" na desinfecção da água utilizada nas propriedades rurais de Medeiros**. Simpósio de Iniciação Científica do IFMG, Bambuí, 2016. Disponível em: <https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-anteriores/resumos-2016/avaliacao-da-eficiencia.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2025.

SILVA, Elmo Rodrigues da. **O Curso da Água na História**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 1998. Disponível em: [https://www.pick-upau.org.br/mundo/curso\\_agua/O%20Curso%20da%20%C1gua%20na%20Hist%F3ria.pdf](https://www.pick-upau.org.br/mundo/curso_agua/O%20Curso%20da%20%C1gua%20na%20Hist%F3ria.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

SILVA, José Carlos da; CAVALCANTE, José Alberto; MEDEIROS, Cícero Jefferson Lopes de. **Avaliação da qualidade da água utilizada no consumo humano na comunidade do Gravatá, município de São João do Rio do Peixe - PB**. Revista Brasileira de Geografia Física Aplicada – RBGA, v. 7, n. 2, p. 205–216, 2017. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RBGA/article/view/4678/4086>. Acesso em: 26 mar. 2025.

SILVA, Decauita Poliana Peixoto da; ANDRADE, Nara Luisa Reis de; WEBLER, Alberto Dresh. **Qualidade da água de nascentes urbanas: estudo de caso em microbacia Amazônica, município de Ji-Paraná/RO**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 10, n. 3, p. 90–102, 2019.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Cor das águas naturais: remoção de cor nas estações por adsorção e por oxidação química**. São Paulo – SP, 2021. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/cor-aguas-naturais/#:~:text=REMO%C3%87%C3%83O%20DE%20COR%20NAS%20ESTA%C3%87%C3%95ES,adsor%C3%A7%C3%A3o%20e%20por%20oxida%C3%A7%C3%A3o%20qu%C3%ADmica>. Acesso em: 18 fev. 2025.

STARCK, Keli; WINCKLER, Silvana Terezinha; RENK, Arlene Anelia; LINS, Eduardo Antonio Maia. **Conresol 2024: VIII-002.** 2024. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2024/VIII-002.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

TEIXEIRA, Inara Siqueira de Carvalho; PERESI, Jacqueline Tanury Macruz; SILVA, Sonia Izaura de Lima; RIBEIRO, Aparecida Klai; GRACIANO, Rejane Alexandre Silva; POVINELLI, Rodrigo Friozi; SANTO, Cecília Cristina Marques dos. **Solução alternativa coletiva de abastecimento de água (SAC): avaliação da qualidade bacteriológica e da cloração.** RIAL, v. 71, n. 3, p. 514-519, 21 ago. 2012. Disponível em: [https://www.ial.sp.gov.br/resources/insituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/10/rial71\\_3\\_completa/1498.pdf](https://www.ial.sp.gov.br/resources/insituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/10/rial71_3_completa/1498.pdf). Acesso em: 18 fev. 2025.

TERIN, Ulisses Costa. **Sistema de múltiplas etapas com filtração lenta no tratamento domiciliar de águas superficiais com riscos microbiológicos.** 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

TOLEDO, Renata Ferraz de; GIATTI, Leandro Luiz; PELICIONI, Maria Cecília Focesi. **Mobilização social em saúde e saneamento em processo de pesquisa-ação em uma comunidade indígena no Noroeste Amazônico.** Saúde e Sociedade, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 206–218, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sausoc/a/GSKjdXc4x5bDKkkzYZvBW5C/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 mar. 2025.

TOMASONI, Marco Antônio; PINTO, Josefa Eliane de Siqueira; SILVA, Heraldo Peixoto da. **A questão dos recursos hídricos e as perspectivas para o Brasil.** Salvador, BA: Universidade Federal da Bahia, 2009. v. 5, n. 2, p. 107-127. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/3789>. Acesso em: 18 fev. 2025.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas.** Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrvtkxybFsjYQtx7v/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 fev. 2025.

UNICEF BRASIL. **1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso à água potável, dizem UNICEF e OMS.** 2019. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-dizem-unicef-oms>. Acesso em: 18 fev. 2025.

VENTURA, Glorimar da Silva; GUIMARÃES, Davi Fonseca. **Abastecimento de água em comunidades rurais – o caso de Para Terra 1 em Bocaiuva (MG).** Geofronter, v. 8, p. 1-22, 2022. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/6836/4852>. Acesso em: 20 mar. 2025.

VERAS, Luciana Rodrigues Valadares; DI BERNARDO, Luiz. **Tratamento de água de abastecimento por meio da tecnologia de filtração em múltiplas etapas – FIME**. Estudos em Saneamento Ambiental, v. 13, n. 1, p. 109-116, 2008.

VIEIRA, Paulo de Castro; TENORIO, Natasha Rodrigues Vitorino Carvalho; FÉLIX, Ana Luiza Silva Santos; SEIDL, Martin; BORGES, Vitória Queiroz. **Sistema simplificado de tratamento de água em um acampamento de desabrigados em Ouro Preto – MG**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES, 32., 2023, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: ABES, 2023. Artigo completo. Disponível em: [https://cbesa.sigotech.online/storage/trabalhos/arquivos/completo/1470\\_tema\\_i.pdf](https://cbesa.sigotech.online/storage/trabalhos/arquivos/completo/1470_tema_i.pdf). Acesso em: 20 mar. 2025.