

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO – EIXO DAS TECNOLOGIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ERIKA FERNANDA LISBOA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DO SULFATO DE ALUMÍNIO NA
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA ETA DO
DISTRITO PIAU EM PIRANHAS-AL.**

Delmiro Gouveia

2023

ERIKA FERNANDA LISBOA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DO SULFATO DE ALUMÍNIO NA
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA ETA DO
DISTRITO PIAU EM PIRANHAS-AL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto.

Coorientador: Dr. João Paulo Paes de Araújo Silva.

Delmiro Gouveia

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

S729a Santos, Erika Fernanda Lisboa dos

Análise da influência do uso do sulfato de alumínio na otimização do processo de tratamento de água na ETA do Distrito Piau em Piranhas – AL / Erika Fernanda Lisboa dos Santos. - 2023.
68 f. : il.

Orientação: Antonio Pedro de Oliveira Netto.
Coorientação: João Paulo Paes de Araújo Silva.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Engenharia Civil. 2. Estação de Tratamento de Água – ETA. 3. Sulfato de alumínio. 4. Otimização de processo. 5. Distrito Piau. 6. Piranhas – Alagoas. I. Oliveira Netto, Antonio Pedro. II. Silva, João Paulo Paes de Araújo. III. Título.

CDU: 628.012.81

ERIKA FERNANDA LISBOA DOS SANTOS

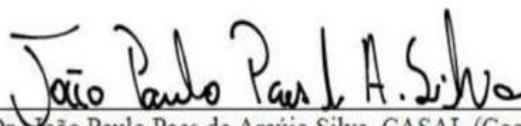
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DO SULFATO DE ALUMÍNIO NA
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA ETA DO
DISTRITO PIAU EM PIRANHAS/AL.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao corpo docente do Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Alagoas –
Campus do Sertão e aprovado em 29 de maio
de 2023.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ANTONIO PEDRO DE OLIVEIRA NETTO
Data: 30/05/2023 09:02:24-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)



Eng. Dr. João Paulo Paes de Araújo Silva, CASAL (Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 REGINA CAMARA LINS
Data: 30/05/2023 11:39:02-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Regina Camara Lins, UFAL – Campus do Sertão (Avaliadora)

Documento assinado digitalmente
 LUCAS DA SILVA TEIXEIRA
Data: 30/05/2023 14:32:27-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Eng. Lucas da Silva Teixeira, CASAL (Avaliador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por todas as oportunidades, por ter me dado forças e direcionamento durante essa caminhada. Por me fazer alçar voos altos e sempre me carregar no colo.

Agradeço a minha mãe, por todo o amor, por ser a minha maior incentivadora, por ter rompido ciclos para que eu chegasse até aqui, por sempre me apoiar e fazer todo o possível para que essa caminhada se tornasse mais leve. Essa conquista também é sua!

As minhas irmãs, Larissa e Beatriz por toda cumplicidade durante os momentos importantes da minha vida. Muito obrigada, amo vocês.

A todos os meus familiares que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e sonhando os meus sonhos juntos comigo.

Agradeço também aos meus amigos que sempre acreditaram em mim, às vezes mais que eu mesma. A Larice, Laura, Deisy, Nando Jr. e Affonso que apesar da distância estiveram sempre entendendo as minhas faltas e vibrando por mim.

As minhas companheiras de faculdade e irmãs do coração, Maila, Roberta, Daniela, Sarah, Karolyne e Natália que foram lar todas as vezes que eu sentia vontade de voltar para casa, compartilharam das alegrias, choros e desesperos sem soltar as mãos umas das outras, o que construímos levarei para a vida, gratidão por tornarem a caminhada mais leve e divertida.

Aos meus companheiros de estudo, Karla, Guilherme e Allyson, que por diversas vezes compartilharam os dias e madrugadas trocando conhecimentos e experiências, visando o mesmo objetivo. Obrigada por todos os momentos vividos na jornada acadêmica.

As minhas amigas que dividiram por anos o mesmo apartamento e tornaram dele lar, que aguentaram todas as minhas queixas, torceram e oraram pelas minhas conquistas, Gilvânia, Fabrizia e Kelliany que além de amiga é irmã do coração e está sempre presente, obrigada por ter me ensinado muito sobre o curso e a vida.

Agradeço aos companheiros de estágios e de trabalho que vibram pelas minhas conquistas e me ensinam todos os dias algo novo. Aos mestres, encanadores e pedreiros que me instruíram com prazer no dia a dia das obras que pude passar. Vocês foram peças essenciais na minha formação profissional e pessoal.

Ao meu orientador Dr. Antônio Netto pela orientação e confiança depositada neste processo de aprendizagem, contribuindo de forma tão importante na minha formação.

Ao coorientador Dr. João Paulo Paes pela presteza e pela decisiva dedicação a este trabalho, pelo incentivo, amizade e disponibilidade para auxiliar no processo construtivo desta pesquisa.

A CASAL, que disponibilizou a ETA do distrito Piau, município de Piranhas – AL, para a realização da pesquisa, assim como forneceu todos os meios necessários para a realização dos experimentos dessa dissertação.

Por fim, meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma contribuíram e me deram apoio para alcançar esse sonho.

EPÍGRAFE

“Ainda que a minha mente e o meu corpo enfraqueçam, Deus é a minha força, Ele é tudo o que eu sempre preciso”.

(Salmos 73:26)

RESUMO

A água para consumo humano deve atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria de nº 888, GM/MS de 2021, desse modo é função das Estações de Tratamento de Água (ETA) garantir que o consumidor tenha acesso a água potável e evitar prejuízos a saúde destes. A primeira etapa deste trabalho consiste em um estudo de coagulação e floculação a partir de ensaios em bancada com auxílio de um equipamento composto por teste de jarros (jar test) para a avaliação dos parâmetros físico-químicos pH, turbidez e cor aparente no comparativo entre a água bruta e após utilizar o sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, desenvolvido no laboratório da Estação de Tratamento de Água do Distrito Piau, na cidade de Piranhas – AL, localizada no alto sertão alagoano, a fim de obter a dosagem “ótima” de coagulante para o sistema de tratamento. Foram escolhidas dosagens diferentes de coagulante, obtidas a partir da solução de 60 ml/L de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ na água bruta e adicionadas nos jarros. Todas as amostras com sulfato de alumínio estavam dentro do limite estabelecido pela legislação e a melhor amostra foi a do jarro 3, com 1 ml de sulfato dissolvido em 2L de água, resultando na dosagem ótima por ter apresentado valor mais próximo do “pH ótimo”, menor turbidez e cor. A segunda etapa do estudo compreende a comparação dos parâmetros da água bruta e da água com $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ em escala real no sistema de tratamento da ETA, utilizando a dosagem ótima do coagulante definida no ensaio anterior, foram coletadas amostras de água tratada em diferentes etapas do processo, antes e após a adição de sulfato de alumínio. Os resultados mostraram uma melhora significativa referente as médias na remoção de 82% da cor, 91,62% da turbidez e estabilização do pH em 1,87%, após a adição do produto químico. Além disso, o uso de sulfato de alumínio aliado a filtração direta permitiu uma redução do uso de cloro na desinfecção, otimizando o processo de tratamento de água na ETA do Sertão Alagoano. Conclui-se que a adição de sulfato de alumínio é uma alternativa eficaz e viável para a otimização do processo de tratamento de água para essa estação de água e em outras que se caracterizem semelhante.

Palavras-chave: Sulfato de alumínio; Filtração direta; Coagulação; Jar test; Dosagem ótima.

ABSTRACT

Water for human consumption must meet the potability standards established by Ordinance No. 888, MS/MG of 2021, so it is the function of the Water Treatment Stations (ETA) to ensure that the consumer has access to drinking water and avoid losses their health. The first stage of this work consists of a study of coagulation and flocculation based on bench tests with the aid of equipment consisting of a jar test for the evaluation of the physical-chemical parameters pH, turbidity and apparent color in the comparison between raw water and after using aluminum sulfate $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, developed in the laboratory of the Water Treatment Station of the Piau District, in the city of Piranhas - AL, located in the high hinterland of Alagoas, in order to obtain the “optimal” dosage ” from coagulant to the treatment system. Different dosages of coagulant were chosen and added to each jar and obtained from a 60 ml/L solution of $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ in raw water. All samples with aluminum sulfate were within the limit established by law and the best sample was that of jar 3, with 1 ml of sulfate dissolved in 2L of water, resulting in the optimal dosage as it presented a value closer to the “optimal pH”, less turbidity and color. The second stage of the study comprises the comparison of raw water parameters and water with $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ on a real scale in the ETA treatment system, using the optimal coagulant dosage defined in the previous test, samples of treated water were collected in different stages of the process, before and after the addition of aluminum sulfate. The results showed a significant improvement in the removal of 82% of the color and 91.62% of the turbidity and pH stabilization in 1.87%, after the addition of the chemical product. In addition, the use of aluminum sulfate combined with direct filtration allowed a reduction in the use of chlorine in disinfection, optimizing the water treatment process at the Sertão Alagoano ETA. It is concluded that the addition of aluminum sulfate is an effective and viable alternative for optimizing the water treatment process for this water station and for other similar ones.

Keywords: Aluminum sulfate; Direct filtration; Coagulation; jar test; Great dosage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Prestadores por abrangência dos serviços.....	20
Figura 2 - Processo inicial de coagulação após a inserção de coagulante.....	24
Figura 3 - Fluxogramas esquemáticos dos sistemas de filtração direta.....	26
Figura 4 - Esquema de tratamento por dupla filtração.	28
Figura 5 - Esquema de uma instalação de dupla filtração.	29
Figura 6 - Localização da Estação de Tratamento em estudo.	32
Figura 7 - Localização da captação da Estação de Tratamento de água do Piau.	33
Figura 8 - Captação da ETA do Piau.....	33
Figura 9 - Fluxograma das etapas de tratamento de água da estação em estudo.....	34
Figura 10 - Planta baixa da ETA.	36
Figura 11 – Turbídmetro PoliControl utilizado nos ensaios para medir a turbidez das amostras.	38
Figura 12 – Colorímetro PoliControl utilizado nos ensaios para medir a cor das amostras. ...	39
Figura 13 - Kit de testes Polilab utilizado nos ensaios para medir o teor de cloro nas amostras.	40
Figura 14 – pHmetro portátil Bel utilizado nos ensaios para medir o pH das amostras.	40
Figura 15 – Equipamento Jar test utilizado no ensaio.	42
Figura 16 – Balança usada nos ensaios.	43
Figura 17 – Amostras após o Jar Test e com 10 minutos de sedimentação.	45
Figura 18 – Estágio final de sedimentação dos sólidos após ensaio no Jar Test.	45
Figura 19 - Relação entre turbidez, pH e cor após o ensaio feito no Jar Test.	46
Figura 20 – Valores máximos, mínimos e médios do pH da água em estado bruto.....	48
Figura 21 – Valores máximos, mínimos e médios do pH da água com adição de sulfato de alumínio.....	48
Figura 22 – Média dos valores do pH para água sem e com adição de sulfato de alumínio....	49
Figura 23 – Valores máximos, mínimos e médios para a turbidez da água em estado bruto...50	50
Figura 24 – Valores máximos, mínimos e médios para a turbidez da água com adição de sulfato de alumínio.	50
Figura 25 - Média dos valores de turbidez para água sem e com adição de sulfato de alumínio.	51
Figura 26 – Comparativo de turbidez sem e com sulfato de alumínio após a saída dos filtros.	52

Figura 27 – Médias da turbidez sem e com sulfato de alumínio após a saída dos filtros.....	53
Figura 28 – Valores máximos, mínimos e médios para a cor da água em estado bruto.....	54
Figura 29 – Valores máximos, mínimos e médios para a cor aparente da água com adição de sulfato de alumínio.	54
Figura 30 – Média dos valores de cor para água sem e com adição de sulfato de alumínio....	55
Figura 31 – Valores máximos, mínimos e médios para a incidência de cloro na água em estado bruto.....	56
Figura 32 – Valores máximos, mínimos e médios para a incidência de cloro na água com sulfato de alumínio.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais tipos de consumo de água.	16
Tabela 2 – Rotina de lavagem dos filtros da Estação de tratamento de água.....	35
Tabela 3 – Composição da Estação de Tratamento de água em estudo.	37
Tabela 4 – Parâmetros de projeto que a ETA deve atender.....	37
Tabela 5 – Quantidade de Sulfato de Alumínio.	43
Tabela 6 – Turbidez e pH da amostra de água bruta para ensaio no Jar Test.....	44
Tabela 7 – Turbidez e pH das amostras após o ensaio no Jar Test.....	46

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 Problemática da água no semiárido	16
3.2 Sistema de abastecimento de água.....	18
3.3 Qualidade da água.....	20
3.3.1 Turbidez.....	21
3.3.2 Cor	22
3.3.3 pH	22
3.3.4 Cloro	22
3.4 Tratamento de água.....	23
3.5 Coagulação	24
3.6 Sulfato de alumínio.....	25
3.7 Filtração direta	26
3.8 Filtração ascendente.....	27
3.9 Filtração direta descendente	28
3.10 Eta compacta – Sistema de dupla filtração	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1 Área de estudo	31
4.2 Funcionamento da ETA	34
4.3 Equipamentos e componentes do sistema.....	36
4.4 Composição dos Filtros Ascendentes e descendentes	38
4.4.1 Turbídmetro	38
4.4.2 Cor	39

4.4.3	Cloro	39
4.4.4	pH	40
4.5	Ensaio e procedimentos.....	41
4.5.1	Jar Test.....	41
4.5.2	Ensaio de coagulação-floculação e sedimentação.....	42
5.	RESULTADOS	44
5.1	Jar Test.....	44
5.2	Ensaio em escala real utilizando a dosagem ótima	47
5.2.1	pH	47
5.2.2	Turbidez.....	49
5.2.3	Turbidez após os filtros	51
5.2.4	Cor aparente.....	53
5.2.5	Cloro	56
6.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	59
6.1	Conclusões.....	58
6.2	Recomendações para trabalhos futuros.....	60
	REFERÊNCIAS	61
	ANEXOS	65

1. INTRODUÇÃO

A água, apesar de ser um recurso abundante e natural de suma importância para o desenvolvimento humano e socioeconômico, tem sido bastante utilizada de forma irresponsável produzindo prejuízos ambientais, o que gera uma preocupação de ordem internacional com relação ao desenvolvimento sustentável.

A água, utilizada não só para o consumo humano, mas para manutenção de todos os seres vivos do planeta, além de estar presente nos ciclos hidrológicos naturais que envolvem os cursos da água, é o solvente universal para a grande maioria dos processos industriais. O uso intenso dessa fonte não-renovável por meio de ações antrópicas influencia diretamente na qualidade da água disponível (ROCHA, 2019, p. 1).

A água por ter grande influência no viés econômico de um país, torna-se um recurso necessário para os processos produtivos em diversos segmentos, como na produção agropecuária que possui um elevado consumo, e no setor de geração de energia elétrica. No Brasil a água é responsável por mais de 65% da produção de energia elétrica (EPE, 2021).

No entanto, a distribuição desse recurso natural não é feita de forma equitativa no território nacional, pois há regiões que sofrem não somente com a falta de água, mas também com o baixo investimento no tratamento adequado da água para o consumo humano – água potável – acarretando problemas que afetam diretamente a saúde da população (SOARES, 2020, p.1).

A produção de água potável se inicia em Estações de Tratamento de Água (ETAs), onde esse processo segue um fluxo que acontece em cinco etapas: inicia-se pela captação de água bruta que pode ser em manancial superficial ou subterrâneo; em seguida é adicionado coagulante para promover a etapa de floculação; só então, ocorre a decantação dos flocos; a filtração e a cloração são as duas últimas etapas. Só então a água é conduzida para os reservatórios para ser distribuída à população (ZANCHETTA, 2021, p. 232-234).

De acordo com VERGÍNIA (2017, p. 13) o objetivo principal do tratamento da água consiste em torná-la própria para o consumo humano por meio da remoção das impurezas como resíduos orgânicos, sais dissolvidos, metais pesados, partículas em suspensão, microrganismos – bactérias, fungos, protozoários – e vírus através de procedimentos de físicos e químicos.

Segundo MARQUES (2016, p. 30-32) a eficácia da remoção das impurezas depende diretamente da qualidade da etapa de floculação, onde há a formação de coágulos por meio da união de partículas coloidais – diâmetro médio entre 1 e 1 000 nm – e de elementos

patógenos como os ocistos – estrutura presente no ciclo de reprodução de alguns parasitas – que possuem tamanho suficiente para serem retidos nos filtros de areia, entretanto apresentam resistência elevada quando submetidos à ação do cloro (GROTT, 2016, p. 690-692).

Há variados tipos de substâncias coagulantes como o sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$ e polímeros orgânicos, no entanto, o sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ tem sido o coagulante mais utilizado no tratamento de água, em razão da sua comprovada eficiência, custo-benefício e facilidade de aquisição (SOARES, 2020, p.1). O coagulante além de atuar na redução da turbidez, também atua na redução da cor da água, mesmo que de forma secundária.

A coagulação, que é acelerada pela neutralização das cargas de impurezas presente no meio, geralmente é iniciada por coagulantes insolúveis em água como os sulfatos que geram íons positivos que se unem as impurezas de cargas negativas de tamanho suficiente para decantar-se, por meio da ação da gravidade, MARQUES (2016, p. 33-36).

Em ETAs do tipo compacta, onde necessariamente ocorre a filtração direta, a neutralização das impurezas, gerando a formação de coágulos e flocos, ocorre dentro dos filtros. Por isso, em processos de filtração direta, costuma-se utilizar uma concentração menor de coagulante em relação à ETAs convencionais, para que não se forme coágulos e flocos após a filtração, visto que se ocorresse a coagulação após a filtração, os flocos formados durante a coagulação seriam quebrados ou separados durante o processo de filtração. Isso dificultaria a remoção eficiente das partículas suspensas e reduziria a eficácia do tratamento. Portanto, no processo de filtração direta, a coagulação é realizada antes da filtração para permitir a formação de flocos que possam ser removidos com maior eficiência pelos filtros (SABOGAL, 2007, p. 20-30).

Além da redução dos custos de implantação e operação desse método de tratamento há também a economia no investimento em coagulantes, já que o processo de filtração direta não necessita de grandes dosagens para tratar a água (SABOGAL, 2007, p. 20-30).

O tratamento químico assume grande importância no desempenho das unidades de filtração, sendo essencial estabelecer e definir condições ideais de coagulação que irão promover as melhores eficiências de remoção físico-química de impurezas presentes na água. Propondo-se contribuir para esse tema, o presente trabalho visa avaliar a influência do uso do coagulante sulfato de alumínio na qualidade do tratamento da água na ETA compacta com sistema de filtração direta, localizada no sertão alagoano, situada no distrito Piau, pertencente ao município de Piranhas e administrada pela Companhia de Abastecimento de Água e Saneamento de Alagoas (CASAL).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência do uso do coagulante Sulfato de Alumínio $Al_2(SO_4)_3$ no tratamento da água na ETA do tipo compacta no Distrito Piau, em Piranhas (AL), buscando melhorar sua operação, evitando desperdício de água e diminuindo a geração de resíduos.

2.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral fosse alcançado, foi necessário o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- Estimar a dosagem ótima de coagulante a ser adicionado no processo.
- Avaliar a variação dos parâmetros físico-químicos da água antes e depois da adição do coagulante sulfato de alumínio no tratamento de água nesta estação.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Problemática da água no semiárido

A água é um elemento indispensável para a vida humana, contudo, a degradação ambiental e a distribuição desigual na superfície terrestre ocasionam a escassez de água que afeta diretamente o homem. Estudos mostram que a água potável não é entregue a mais de um bilhão de pessoas do planeta Terra e que boa parte da água disponível no mundo não é própria para o consumo humano (SWYNGEDOUW, 2001).

A água é um líquido formado por moléculas de hidrogênio e oxigênio, mas não é encontrada no meio ambiente em sua forma pura, pois, junto a ela sempre ocorrerá a presença de outros elementos. Portanto, para que possa ser consumida pelo ser humano é necessário que seja feito o tratamento adequado para, então, ser distribuída (Sewell, 1978, p. 66).

O Brasil, possui em seu território cerca de 12% da água doce do mundo, apesar de ser uma significativa quantidade de água doce, não ocorre o abastecimento de forma equitativa em todo território nacional, uma vez que existe uma vasta região semiárida que abrange a maior parte da região nordeste, extrapolando-o para regiões polares de Minas Gerais e norte.

A água é um recurso natural com valor econômico, social, estratégico e indispensável para a vida. Há diversas formas de consumo desse recurso e todas elas precisam ser bem gerenciadas para que a demanda de água produzida e distribuída atenda de forma igualitária a todos. Na tabela 1 é expressa os principais de tipos de consumo da água para o uso humano.

Tabela 1 – Principais tipos de consumo de água.

CONSUMO	TIPOS
Consumo Doméstico	Consumo humano, cozimento dos alimentos, asseio corporal, lavagem de roupa, lavagem de utensílios domésticos, de roupas, limpeza da casa em geral, ajardinamentos.
Consumo Comercial	Restaurantes, bares, lojas, escritórios.
Consumo Industrial	Transformação de matéria prima.
Consumo na Recreação	Balneabilidade, recreação, práticas esportivas.
Consumo na Segurança	Combate a incêndios.

Fonte: Souza, 2007.

O nordeste em si possui uma oferta de água significativa para atender a sua população, porém essa água encontra-se distribuída de forma desigual, onde muitas das vezes encontra-se inadequada para o consumo humano, sendo necessário usar agentes químicos e tecnologias

sofisticadas para sua purificação. O abastecimento de água potável no nordeste tem aumentado nos últimos anos, mas ainda existe a necessidade de maior controle na distribuição e uso desse elemento, sabendo que a variação climática do nordeste é um fator que implica na gestão desse recurso (ANA, 2012, p. 114).

Desde a época do Brasil imperial, há aproximadamente 150 anos, constatava-se de forma consensual, principalmente depois da grande seca de 1877, que a necessidade de uma grande obra que pudesse ofertar água para o sertão era justa para a sobrevivência de seu povo, bem como para o sucesso da região. Por isso o Açude do Cedro – localizado a 6 Km da cidade de Quixadá - CE, umas das primeiras grandes obras de combate à seca iniciadas pelo ainda então Governo Imperial, foi construído.

Ainda nesta época do Brasil imperial nascem as ideias de transposição do rio São Francisco, já sendo vista, por alguns, como a única solução para a seca do nordeste. A obra vem se concretizando nas últimas décadas com possibilidade de atender mais açudes e conseqüentemente mais municípios dessa região. Segundo dados do projeto federal, a transposição leva água para 16 milhões de brasileiros em torno 560 municípios de quatro estados do nordeste.

Segundo dados obtidos no relatório de conjuntura da ANA (2021) o Semiárido Brasileiro abrange 1.135 municípios que comportam um total de 24 milhões de habitantes, cuja quantidade equivale a 12% da população nacional. Dessa forma, devido aos fatores naturais de irregularidade dos rios, a construção de açudes tem sido uma prática bastante utilizada ao longo das últimas décadas para garantir o abastecimento de água em períodos de estiagem. Esses desempenham um proeminente papel na gestão de recursos hídricos pela capacidade de estocar, reter água para uso diário e atender a diversos usos da água.

A bacia hidrográfica do rio São Francisco (BHSF), conta com um amplo território de aproximadamente 640 mil km², com extensão de 2.863 Km, contemplando a terceira maior barragem do Brasil que é a de Sobradinho com capacidade volumétrica de aportar 34 km³ de água. Essa bacia contempla seis estados brasileiros: Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, assim como o Distrito Federal, abrangendo um total de 505 municípios, onde cerca de 54% de área da bacia pertence ao território do semiárido.

A BSHF possui três reservatórios importantes para setor de energia elétrica do Brasil, assim como para controle de vazão, são eles: Três Marias, localizado em Minas Gerais, Sobradinho – maior lago de área superficial da América Latina –, Paulo Afonso e Itaparica, na Bahia e Xingó, localizado entre os estados de Alagoas e Sergipe (CBHSF, 2022).

3.2 Sistema de abastecimento de água

Segundo Tsutiya (2006, p. 1), o abastecimento de água está ligado ao crescimento sustentável e engloba perspectivas sociais, econômicas, políticas e ambientais da sociedade. Assim, é de suma importância que haja o cuidado ideal quanto a gestão dos recursos hídricos e os serviços a ele atrelado para garantir a qualidade de vida, da natureza e zelo pela saúde dos indivíduos.

Uma das principais prioridades das populações é o atendimento por sistema de abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas, pela importância para o atendimento às suas necessidades relacionadas à saúde e ao desenvolvimento industrial.

(TSUTIYA, 2006, p.1)

Nas últimas décadas do século XX, muitos investimentos visaram garantir água tratada para todos os indivíduos. Esse comportamento ganhou força principalmente nos países em desenvolvimento, devido à carência desse recurso. Assim, a criação do Plano Nacional do Saneamento (PLANASA), no Brasil, possibilitou a elevação em alto nível de população urbana atendida em todo o território (Tsutiya, 2006).

A Lei das Águas do Brasil, de nº 9.433/1997 foi a fundadora do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e da Política Nacional de Recursos Hídricos originando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Estes instrumentos orientam e asseguram que a gestão da qualidade da água seja feita para garantir que as próximas gerações tenham acesso a água potável e em quantidade suficiente para suprir as necessidades (BRASIL, 1997).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, 2022-2040, p. 133-160), enfatiza a importância do uso sustentável dos recursos hídricos e a necessidade de garantir a disponibilidade de água para todos os setores, incluindo a agricultura e a pecuária. Além disso, é destacada a importância da gestão integrada dos recursos hídricos, considerando as necessidades de todos os usuários e de toda a bacia hidrográfica.

O Decreto Nº 5.440/2005 é um instrumento normativo que conceitua o direito do indivíduo ao acesso à água potável, portanto, define o sistema de abastecimento como a reunião de obras civis, hidráulicas e de instalações, com o intuito de distribuir água tratada para a população de forma equitativa e com qualidade (Planalto, 2005).

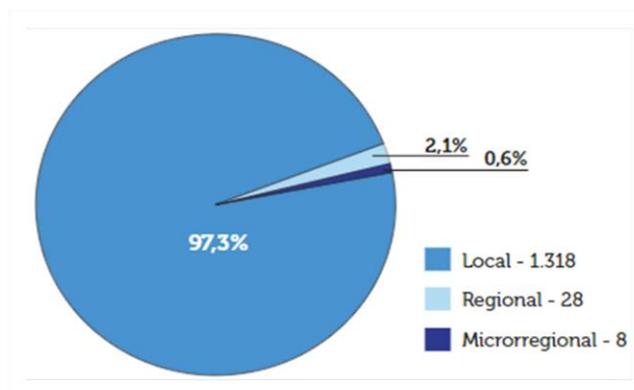
No que se refere ao abastecimento de água em áreas urbanas, há necessidade de estar sempre atento ao crescimento demográfico da cidade para que haja ampliação e manutenção de rede, de modo que as redes mais antigas sejam reforçadas ou substituídas para garantir que todos tenham acesso à água tratada e com qualidade (TSUTIYA, 2006). Quando esses aspectos não são levados em conta há prejuízos difíceis de recuperar, como as perdas de água e lucratividade para quem é responsável pela arrecadação nesse segmento, assim como o contato com outros meios podem gerar riscos à saúde humana.

O cuidado com o tratamento da água deve começar desde a captação, visto que é comum o descarte irregular de resíduos que afetam diretamente no tratamento e conseqüentemente na qualidade da água, para isso se faz necessário a análise constante dos parâmetros e controle da dosagem adequada para entregar água de qualidade à população (BRASIL, 2005).

É importante frisar que as alterações dos padrões físico-químicos e microbiológicos são prejudiciais à saúde do ser humano e geradores de doenças, assim, é de grande relevância o acompanhamento desses dados em todas as épocas do ano (BRASIL, 2005).

A monitoração das captações de água é de fundamental importância com o intuito de garantir que ela atenda aos padrões de potabilidade e seja segura para o consumo humano. A monitorização regular ajuda a identificar a presença de contaminantes, como bactérias, vírus, produtos químicos ou metais pesados, que possam representar riscos à saúde pública. Além de permitir o acompanhamento dos níveis de água e avaliar a disponibilidade a fim de garantir que a demanda atual e futura possa ser atendida de forma sustentável (BRASIL, 2005).

Segundo os dados obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021, p. 20.), figura 1, o Brasil apresenta 1.318 prestadores de serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário locais, 28 prestadores no âmbito regional e 8 microrregionais, somando em 1.354 de serviço no total. Com isso, 96,1% da população urbana e 98,6% da população total do Brasil teve acesso ao sistema de água e esgotamento sanitário e em esfera nacional no ano de 2020.

Figura 1 - Prestadores por abrangência dos serviços.

Fonte: SNIS, 2021.

3.3 Qualidade da água

A gestão hídrica está inteiramente associada com a questão de saneamento básico, visto que a água que é distribuída à população precisa ser gerida de forma que garanta a saúde pública e a preservação do meio ambiente, mas na maioria das vezes há o despejo de resíduos no corpo hídrico que afeta diretamente a água que é captada para consumo humano, dessa forma é necessária à visão estratégica e analítica da gestão hídrica para assegurar que este recurso não seja afetado (IBGE, 2021, p. 91).

A lei da Política Nacional de Saneamento Básico de n. 11.445 de 2007 – atualizada pela Lei n. 14.026, de 2020 – possui como um dos objetivos acabar com os problemas de coordenação e planejamento que há entre os âmbitos federais e os prestadores de serviços. Assim como, firmou o sentido amplo de saneamento e sua relação com a sustentabilidade, esta lei engloba diversos aspectos acerca do abastecimento de água, cuidado com resíduos sólidos, esgotamento sanitário e a necessidade da sociedade e as organizações para garantir o desenvolvimento sustentável e melhoria coletiva (IBGE, 2021, p. 92).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2000, p. 10), com o passar dos anos e o avanço populacional a água e o abastecimento público têm ganhado destaque nas mesas de debates, visto que a escassez desse elemento gera preocupação principalmente no quesito de quantidade e qualidade devido às problemáticas recorrentes nas captações e no tratamento adequado até que chegue até o consumidor final. Em 1992, após o reconhecimento dos órgãos responsáveis a Organização das Nações Unidas (ONU) recomendou durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento instituição em todo o mundo do dia Internacional da água para criar nas pessoas a consciência de preservar a qualidade da água.

Os indicadores de qualidade da água são determinados por diversos parâmetros, os quais apresentam características físicas, químicas e biológicas. Deste modo, é de suma importância que haja a análise qualitativa da água periodicamente por parte das concessionárias de água, para garantir que a água distribuída à população esteja apta para o consumo, conforme orienta a consolidação n° 888 GM/MS (2021).

Os parâmetros físicos compreendem a cor, temperatura, sabor, odor, turbidez, os sólidos e a condutividade elétrica. Enquanto os parâmetros químicos são formados pelo pH, alcalinidade, dureza, cloretos, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), e as matérias orgânicas presentes na água. Assim como os parâmetros biológicos englobam as algas e os coliformes – que são normalmente encontrados em fontes de águas superficiais como lagos, lagoas, rios e córregos.

As estações de tratamento são geridas pelas companhias de abastecimento, estas são responsáveis pela caracterização e controle da qualidade da água, garantindo que ela esteja segura para o consumo humano e atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria de n° 888, GM/MS de 2021, antes de entregá-la ao consumidor final.

Os parâmetros analisados no presente estudo serão: turbidez, cor aparente, pH e cloro, visto que são os parâmetros frequentemente acompanhados pela ETA escolhida por serem os fatores que mais influenciam no processo de coagulação e floculação. Deste modo, são essenciais para análise inicial da qualidade da água no processo de tratamento.

3.3.1 Turbidez

As partículas sólidas suspensas, como siltes, argilas, matéria orgânica e colóides dificultam a passagem da luz na água, cujo processo é denominado de turbidez. Vale salientar que quanto maior a quantidade de substâncias, maior é a turbidez incidente na amostra, assim como a quantidade de sólidos em suspensão impacta diretamente na desinfecção da água, visto que fazem uma barreira de proteção aos microrganismos atuantes (LIBÂNIO, 2010).

A turbidez é medida através do turbidímetro ou Nefelômetro, que consiste na comparação entre a intensidade de luz desviada pela amostra, com a intensidade de luz desviada por uma suspensão padrão de referência. Normalmente, o nível de turbidez no corpo hídrico tende a ser maior nas regiões afetadas por erosões, pois as chuvas encaminham a areia, silte, argila e outros componentes causadores de poluição que no geral influenciam a água captada. Desse modo, os elementos suspensos na água resultam em turbidez sendo minimizado através do processo de sedimentação.

Segundo o Ministério da Saúde (2021) a turbidez natural das águas pode estar na faixa de 3 a 500 unidades, contudo a turbidez deve ser inferior a 5,0 uT para que a água tratada esteja apta a ser distribuída os consumidores.

3.3.2 Cor

A água com presença de cor é um indicativo da existência de elementos orgânicos, como os taninos, ácidos húmicos, fúlvicos ou mineral dissolvidos em água. A cor se dá através da incidência da luz nas substâncias microscópicas que há na água e refletem o aspecto e tonalidade das matérias orgânicas (SUAVE, 2021, p.6-15).

O parâmetro cor gera uma aparência desagradável devido a poluição visual, mas, comumente só este fator não causa riscos à saúde humana, no entanto a cor pode ser um indicativo do grau de poluição que essa água está exposta.

Águas de coloração elevadas apresentam concentrações maiores de sólidos dissolvidos e possui maior incidência de cor. Desse modo, a cor aparente é derivada da adição de turbidez na cor verdadeira, devido a reflexão das partículas suspensas por meio da luz que modificam a coloração real da água.

É um dos parâmetros físicos analisados nas estações de tratamento de água, pois é de grande importância que essa propriedade se encaixe no padrão estabelecido pela portaria de nº 888 de 2021 do GM/MS para cor aparente que determina o valor máximo permitido (VMP) de 15 Unidade de Cor (uC) como padrão de aceitação para consumo humano, e garantia de satisfação do consumidor, evitando que este procure outros meios de abastecimento que não sejam seguros (BRASIL, 2014, p.53).

3.3.3 pH

Segundo Libânio (2010) o pH é um parâmetro de grande importância no tratamento da água para consumo humano, visto que desde o processo de coagulação até a desinfecção, é necessário o monitoramento deste, para que o sistema trate de forma eficaz. Assim, também é de extrema relevância que haja o acompanhamento deste parâmetro após o tratamento, na rede de distribuição a fim de preservar contra os desgastes e quaisquer outras alterações nas tubulações e no próprio líquido. A Consolidação nº 888 de 2021 do GM/MS recomenda o pH para água distribuída entre 6,5 a 9,0.

3.3.4 Cloro

O cloro é um parâmetro de qualidade da água utilizado para avaliar o teor de cloro residual livre na água de distribuição. O cloro é frequentemente adicionado durante o tratamento da água como um agente desinfetante para eliminar microrganismos patogênicos e garantir a segurança microbiológica da água (PIEREZAN, 2009, p. 1).

A Portaria de Consolidação nº 888, do Ministério da Saúde do Brasil, de 4 de maio de 2021, estabelece os padrões de potabilidade da água para consumo humano no país. No que diz respeito ao parâmetro cloro, a portaria estabelece os seguintes limites para a água de distribuição: Água de consumo humano tratada em sistemas de abastecimento de água tratada: O valor mínimo do cloro residual livre deve ser de 0,2 miligramas por litro (mg/L) em qualquer ponto da rede de distribuição. Além disso, o valor máximo permitido é de 5,0 mg/L. Água de consumo humano produzida no local de consumo: Quando a água é produzida no local de consumo, como em sistemas individuais de tratamento de água, o valor mínimo do cloro residual livre também deve ser de 0,2 mg/L. No entanto, o valor máximo permitido é de 2,0 mg/L.

É importante destacar que esses são os valores estabelecidos pela legislação brasileira e podem variar em outros países. Esses limites têm o objetivo de garantir a eficácia da desinfecção e a segurança microbiológica da água para consumo humano. É fundamental que as empresas de abastecimento de água monitorem regularmente o teor de cloro residual livre para garantir que os valores estejam dentro dos limites estabelecidos pela legislação e, assim, assegurar a qualidade da água fornecida aos consumidores.

3.4 Tratamento de água

O tratamento da água se dá pela retirada das substâncias orgânicas e inorgânicas suspensas que podem ser elementos causadores de doenças no ser humano. Com isso, se faz necessário seguir procedimentos compostos por algumas fases e seguir os protocolos para garantir a potabilidade da água de forma eficiente (ASSIS, 2018, p.23).

A escolha do tipo de estação de tratamento de água a ser utilizada depende de muitos fatores, tais como, a região, a qualidade da água bruta e os tipos de substâncias mais comuns encontradas nela, assim como os tipos de detritos com alto teor de matéria orgânica que são depositados nesse corpo hídrico, tudo isso influencia também diretamente no custo do tratamento.

A consolidação nº 888 GM/MS (2021) exige que toda água com a finalidade de consumo para o ser humano advinda de mananciais superficiais precisa ser tratada utilizando

o sistema de filtração e distribuída por sistema canalizado (BRASIL, 2014, p.132).

3.5 Coagulação

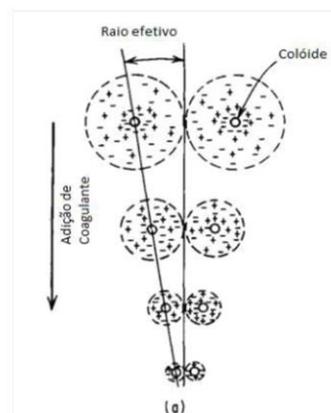
A coagulação é uma das fases mais importantes no tratamento de água, quando não feita de forma adequada implica nas etapas posteriores, assim como na qualidade final do processo. Essa etapa sofre influência de vários fatores, tais como, o tipo e quantidade do coagulante, sólidos suspensos totais (SST), gradiente de velocidade e o tempo de mistura.

O uso de produtos químicos como os sais de alumínio, sais de ferro e os cloretos, atuam de forma eficaz na coagulação da água, mas são necessário testes para saber o tempo de mistura rápida e os gradientes ideais para cada caso, com o intuito de facilitar o processo de decantação e filtração dos sólidos. Um ensaio bastante utilizado para encontrar a dosagem ótima de coagulante a ser utilizado no tratamento é o teste de jarros (Jar test), que simula um floculador em proporção menor e permite a recriação em escala reduzida da atuação do coagulante na água (Lopes *et al.*, 2017, p. 14).

Conforme destacam os autores acima, é necessário que haja o controle e cuidado em todas as etapas do tratamento, visto que quando as condições de coagulação em ETAs não são feitas em um padrão ótimo há alteração nas propriedades do procedimento, acarretando a qualidade da água.

Os sólidos suspensos habitualmente são carregados negativamente, o que faz com que as partículas fiquem em repulsão, contudo, no processo de coagulação quando se insere um coagulante, que possui características de carregamento positivo, atua como um neutralizante e age diretamente na agregação das partículas suspensas na água, junto com a agitação constante e intensa formando grupos e facilitando o tratamento.

Figura 2 - Processo inicial de coagulação após a inserção de coagulante.



Fonte: Adaptado de Kemmer, 1988.

A figura 2 mostra o comportamento das partículas após a adição do coagulante, seguido do período de floculação, nesta fase há uma agitação mecânica mais lenta – importante para não destruir os flocos já criados, este processo auxilia na aglutinação das partículas suspensas aos flocos já formados, com as cargas neutralizadas há a aproximação dos sólidos, promovendo a formação de coágulos.

3.6 Sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ é usado como coagulante no tratamento de água e tem como função agregar as partículas suspensas que se unem originando os grandes e densos flocos. O sulfato de alumínio hidratado $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ é comercializado como um coagulante pertencente ao grupo dos sais metálicos composto por alumínio, sendo este considerado um coagulante diretor, (FRANCO, 2009).

Este produto químico possui ótimo desempenho na remoção da turbidez e de microrganismos da água, assim como no quesito econômico. Segundo Medeiros (2015, p.43) o sulfato de alumínio é bastante utilizado no tratamento de água por apresentar bons resultados referente à eficiência, facilidade de manuseio e baixo custo. Pelo fato das substâncias sólidas originarem a turbidez causando repulsão dos colóides, por serem carregados negativamente, a aplicação de sais que agreguem esses colóides se faz necessária.

O uso do sulfato de alumínio como coagulante é uma boa opção para os casos em que a água passa por variadas temperaturas, visto que esse produto se adapta melhor as mudanças que esta pode estar submetida e ser mais constante no processo de tratamento, o que o torna mais eficiente que o hidroxiclreto de alumínio, referente a esse aspecto (GASOLA *et al.*, 2015, p. 18).

O sulfato de alumínio costuma ser bastante eficiente na remoção de metais e de matéria orgânica dissolvida em águas mais alcalinas. Desse modo, em comparação com o Cloreto de polialumínio (PAC) no viés econômico, o sulfato é normalmente escolhido como coagulante devido ao baixo custo. Assim como no quesito de estocagem, visto que o PAC necessita de mais cuidados na forma de armazenar, devido natureza ser mais corrosiva e em contato com o ar, ter as propriedades alteradas facilmente, diferente do sulfato de alumínio (SANTOS, 2020, p.117-118).

3.7 Filtração direta

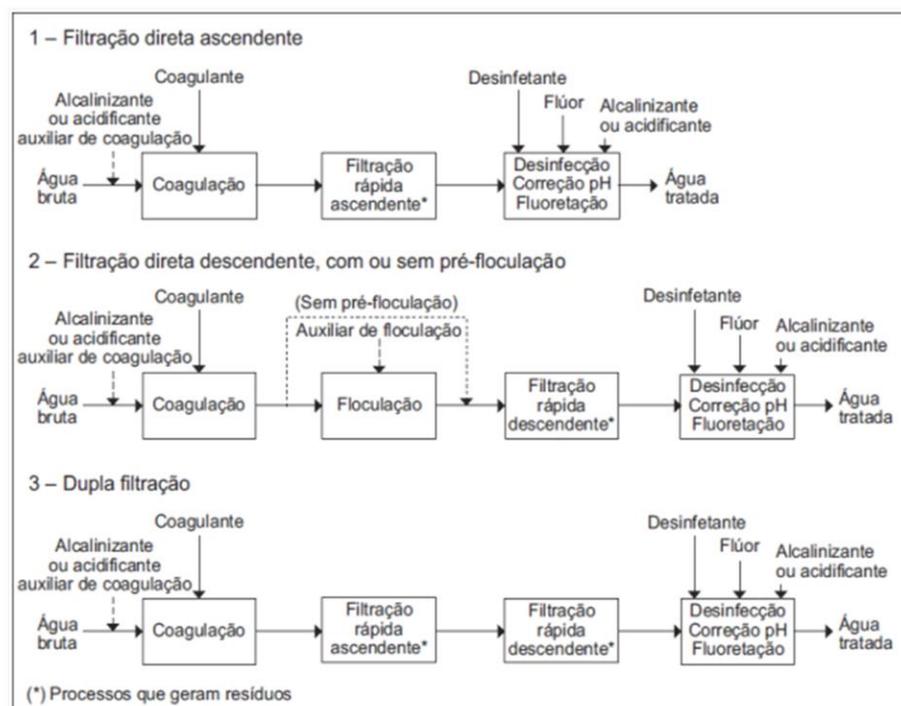
Segundo Di Bernardo *et al.* (2003, p. 6-14) o sistema de filtração direta é um dos mais usados para tratamento de água para abastecimento público e vem sendo utilizada desde o século XX no Brasil e tem apresentado um bom desempenho, principalmente por ser uma tecnologia de baixo custo e de boa funcionalidade.

A região nordeste possui diversas captações em açudes, estas dispõem de água bruta normalmente de boa qualidade, facilitando na escolha do tipo de tratamento a ser utilizado e favorecendo o emprego da filtração direta (DI BERNARDO, 2003. p. 11).

O tratamento da água através da filtração direta se dá pela etapa de mistura rápida na câmara de carga, coagulação e filtração, não sendo necessário o uso de altas dosagens de coagulantes e nem dispor de pontos para decantação, pois os filtros após a coagulação e floculação já fazem a filtração que dispensa o uso de decantadores. Cleasby e Logsdon (1999) reiteram a respeito das vantagens da utilização da filtração direta, visto que esse sistema compacto facilita na operação e manutenção, por ser uma tecnologia de menor custo para implantação comparada a estrutura convencional, além de gerar um volume menor de lodo.

O uso da filtração direta no tratamento de águas para abastecimento público tem três formas de ser feito como mostra a Figura 4.

Figura 3 - Fluxogramas esquemáticos dos sistemas de filtração direta.



Fonte: Di Bernardo *et al.*, 2003.

No entanto, vale salientar que esse tipo de tratamento não apresenta bom desempenho em relação a águas com grande quantidade de cor e turbidez, por isso deve-se se atentar se a escolha da filtração direta é viável para o tratamento, analisando as condições químicas da água bruta captada e dos resultados que a água tratada precisa atender segundo definido em projeto e orientados pela portaria de nº 888, GM/MS de 2021, de qualidade da água.

A geração de lodo é reduzida em um percentual de 70%, do mesmo modo que a construção da estação de tratamento de água de dupla filtração ocupa metade do espaço que uma ETA convencional (KAWAMURA, 1991).

3.8 Filtração ascendente

A filtração direta ascendente (FDA) é uma tecnologia composta por filtros ascendentes – onde o fluxo da água se dá no sentido de baixo para cima –, normalmente esses filtros são constituídos por uma camada de pedregulho seguido por uma camada de areia e posteriormente um fundo falso.

Para Di Bernardo *et al.* (2005), a filtração direta ascendente é vantajosa por permitir que a filtração aconteça no sentido decrescente das partículas, diminuindo assim a perda de carga na etapa de filtração, contudo, se faz necessário mais carreiras de filtros. Além disso, esses filtros conseguem reter a maior parte da sujeira até a altura total da parte filtrante. Na etapa de coagulação que acontece ainda nesse tipo de filtro não se utiliza de grandes dosagens de produtos químicos como ocorrer nas ETAs de ciclo completo, o que impacta positivamente na economia.

A área de ocupação de estações de filtração direta é bem menor em comparação com as convencionais, devido a não necessidade de pontos para a etapa de decantação. O baixo custo na implantação desse tipo de ETA é comprovado ainda pela geração de lodo que é em menor volume, assim como na redução de consumo elétrico. Tais fatores implicam no baixo custo para implantar e operar esse tipo de sistema de tratamento de água.

A filtração direta ascendente garante que alguns tipos de águas impróprias para o consumo sejam tratadas, contudo, mesmo o sistema de filtração sendo eficiente na remoção das impurezas, em alguns casos, somente a filtração ascendente não é suficiente, necessitando de um tratamento posterior para garantir a qualidade da água, deste modo é adicionado ao sistema a filtração descendente, originando a dupla filtração (Di Bernardo *et al.* 2005).

3.9 Filtração direta descendente

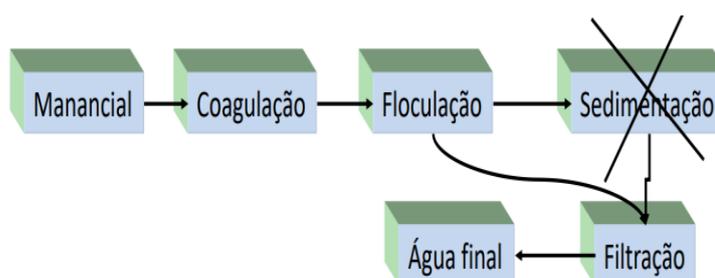
A filtração direta descendente (FDD) é um sistema de tratamento de água que não precisa das etapas de flotação e decantação, e pode ser utilizado como complemento do tratamento usando filtros ascendentes. Na filtração descendente a coagulação é feita por meio da neutralização de cargas, dispensando o uso de decantadores e alguns casos também dispensa o uso de floculadores (Di Bernardo *et al.* 2005).

A filtração descendente é indicada para o tratamento de água com baixa turbidez e cor elevada e no processo de dupla filtração é antecedida pela filtração direta ascendente. Nos filtros descendentes o fluxo da água é de cima para baixo e o leito filtrante é composto por grãos mais finos inicialmente e posteriormente passa pelos grãos maiores localizados no fundo do filtro, garantindo a eficiência da filtração e a potabilidade da água (CIRNE, 2019, p 6-7).

3.10 Eta compacta – Sistema de dupla filtração

O sistema de dupla filtração é considerado uma tecnologia não convencional, pois os sistemas convencionais incluem a coagulação, floculação, decantação e filtração, enquanto o sistema não convencional possui os filtros como únicas unidades responsáveis por reter os materiais em suspensão presentes na água, não necessitando de tanque para decantação (figura 4).

Figura 4 - Esquema de tratamento por dupla filtração.

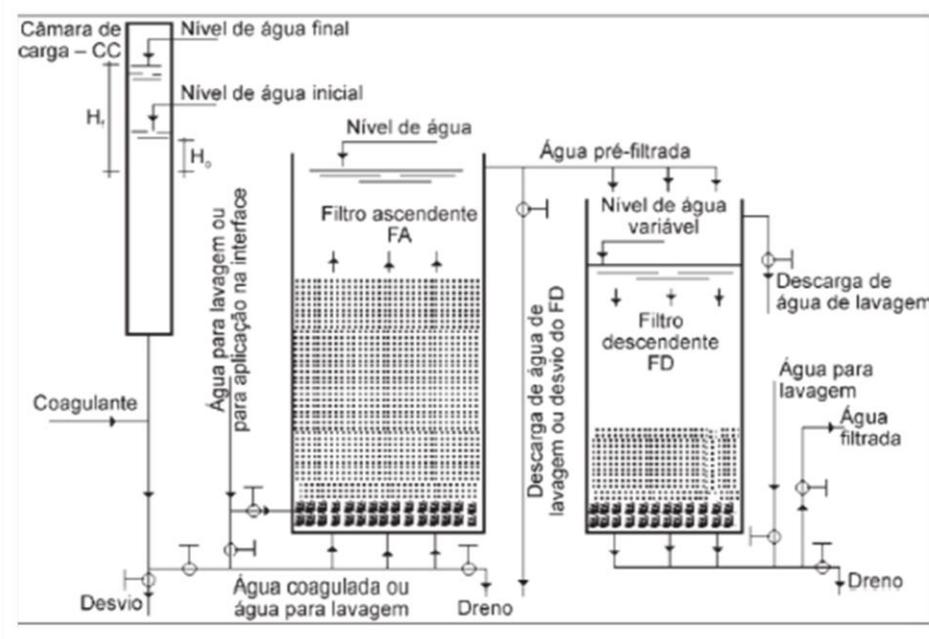


Fonte: Etchepare, 2022.

Na dupla filtração, a água bruta passa por duas etapas de filtração consecutivas. A primeira etapa é chamada de filtração rápida ou filtração grosseira, onde a água passa por um filtro de areia ou outro meio filtrante com poros maiores. Nessa etapa, as partículas maiores são retidas no filtro. Em seguida, a água passa por uma segunda etapa chamada de filtração lenta ou filtração fina, onde passa por um filtro com poros menores, geralmente feito de areia fina, carvão ativado ou membranas. Essa segunda etapa remove partículas menores e impurezas residuais que podem ter passado pela primeira etapa de filtração (MELO, 2019, p. 10-11).

A dupla filtração é adotada para aumentar a eficiência na remoção de partículas suspensas e melhorar a qualidade da água tratada. Ao ter duas etapas de filtração, é possível remover uma gama mais ampla de partículas e impurezas, proporcionando uma água mais limpa e de melhor qualidade (OLIVEIRA, 2019, p. 7-10).

Figura 5 - Esquema de uma instalação de dupla filtração.



Fonte: Di Bernardo *et al.*, 2003.

A dupla filtração compreende filtros ascendentes e descendentes, ambos são compostos por areia grossa e pedregulho, esse processo é caracterizado pelo uso da filtração direta ascendente como pré-tratamento para a filtração descendente. Inicialmente a água bruta recebe a adição de floculante/coagulante na câmara de carga piezométrica e passa pelos processos de floculação e coagulação dentro do filtro ascendente, após isso é submetida através do leito granulométrico a filtração ascendente (CIRNE, 2019, p 6-7).

A tecnologia de dupla filtração utilizando filtro ascendente com pedregulho e areia grossa é estudada há algumas décadas levando em conta diversos aspectos diferentes, como as condições variadas da água e os níveis de turbidez, a fim de compreender seus limites de funcionalidade no tratamento da água (DI BERNARDO *et al.* 2005).

No sistema de dupla filtração a água é pré-filtrada pelo filtro ascendente (FA) e é direcionada por meio de canais que em sua maioria são situados acima do nível que há a camada de pedregulhos para o filtro descendente de areia (FDA), após essa etapa a água já filtrada é tratada com cloro, flúor e outros produtos químicos que sejam necessários. No entanto, referente à lavagem desses filtros deve se ter alguns cuidados e manejos, como a utilização da água final

vinda do reservatório por meio de bombeamento, para se manter a qualidade do tratamento (DI BERNARDO *et al.*, 2003, p. 6-14).

O processo de dupla filtração garante bons resultados no tratamento da água bruta advinda de mananciais de boa qualidade, visto que a escolha da tecnologia de tratamento depende basicamente da qualidade da água bruta e da qualidade desejada para o efluente final, portanto, utilizando o sistema de filtração ascendente e descendente aliado aos parâmetros operacionais empregados – a composição dos leitos filtrantes, o tipo de coagulante e a taxa de filtração utilizada, uma vez que estes fatores precisam satisfazer as condições químicas da água bruta captada é possível obter um tratamento eficiente do efluente.

A dupla filtração atua de forma eficiente no processo de tratamento da água bruta, além de reduzir o consumo de produtos químicos e na desinfecção final, pois normalmente utiliza menor dosagem de cloro, decorrente da remoção efetiva das impurezas presentes na água bruta e influenciam diretamente na redução da geração de lodo (DI BERNARDO *et al.*, 2003, p. 6-14). Na figura 5 é apresentada a estrutura de implantação de um sistema de dupla filtração composto por filtro ascendente e descendente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a qualidade da água com e sem o uso de coagulante foi escolhida a Estação de Tratamento de Água (ETA), localizada no distrito Piau, pertencente ao município de Piranhas – AL, visto que essa ETA trabalha com capacidade das menores da região, atua com uma vazão de 125.000 m³/h, possui laboratório com equipamentos novos e em pleno funcionamento, dispõe de sistema automatizado, garantindo assim, a melhor aplicação e viabilidade para a pesquisa. Para o estudo foi necessária a divisão de etapas, levando em consideração o controle e a qualidade da água bruta captada.

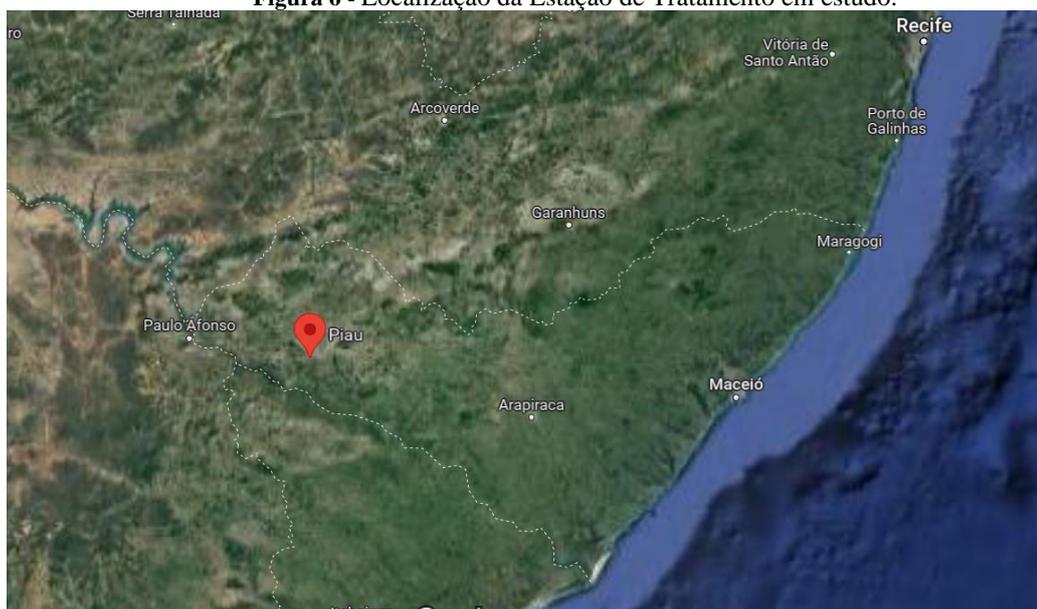
A primeira etapa foi desenvolvida em campo, onde foram executadas as coletas de água (bruta, tratada e de lavagem dos filtros) sem adição de coagulante durante dez dias, assim como foram coletadas mais 10 amostras nos mesmos pontos, a partir do décimo primeiro dia, após incluir o coagulante sulfato de alumínio no processo de tratamento da água, este método foi imprescindível para a segunda etapa do estudo, que consistia em desenvolver os testes de turbidez, pH, cor e cloro – são os parâmetros que mais interferem no processo de coagulação e floculação –. Os testes foram executados no laboratório de química da própria estação de tratamento pela autora com o auxílio dos operadores plantonistas que coletavam as amostras quando esta não conseguia estar na ETA.

Estas fases foram de extrema importância para garantir a precisão e significância das amostragens e em seguimento produzir ensaios com resultados seguros.

4.1 Área de estudo

A área de estudo se refere à Estação de Tratamento de Água do Distrito Piau (Figura 5), localizada no município alagoano de Piranhas, com aproximadamente 6.567 habitantes. A ETA é uma obra do Governo Federal em conjunto com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), e é operada pela Companhia de Saneamento de Alagoas (Casal) da unidade do Sertão, sendo projetada para tratar uma vazão de 144,00 m³/h. A ETA em questão é do tipo compacta de dupla filtração, ou seja, usa a filtração direta ascendente como tratamento inicial antes que se utilize a filtração descendente.

As fontes de abastecimento de água disponíveis para abastecer o distrito de Piau e comunidades vizinhas são limitadas, devido estarem situados no semiárido brasileiro, mas precisamente no sertão alagoano, onde a temperatura é elevada e o regime pluvial é bastante irregular, com isso, o rio São Francisco se torna a única alternativa de abastecimento hídrico da região.

Figura 6 - Localização da Estação de Tratamento em estudo.

Fonte: Google Maps, 2023.

Estudos feitos pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) visando a redução dos problemas de seca das áreas do semiárido nordestino, resultaram na proposta de construção do Canal do Sertão, com a finalidade de atender o sertão e o agreste alagoano com vazão de 32 L/s e 250 Km de extensão. (DHF Consultoria e Engenharia, 2019, p. 32).

A ETA em estudo foi projetada para captar água do trecho III do canal do sertão (Figura 7) que está situado entre Inhapi e Piranhas, tornando esse canal a melhor opção de fornecimento de água bruta para Piau e região e acabar com o sistema de rodízio de abastecimento nesta área. Para a eficiência do sistema de captação de água bruta foi adotada uma solução flexível que pode funcionar por recalque ou sinfonamento, a depender da necessidade.

Foi instalado na calha do canal um sifão DN 250 que está conectado a captação por recalque, assim como um conjunto de bombas submersíveis, quadro de comando em abrigo nas proximidades do canal, e com altura manométrica apenas para vencer a saída da calha do canal e fazer a escorva do sifão sobre o dique, após isso a água segue via gravidade até a ETA.

Figura 7 - Localização da captação da Estação de Tratamento de água do Piau.



Fonte: Adaptado Google Earth, 2023.

A figura 8 mostra o canal onde é feita a captação da água bruta que segue para a estação de tratamento e posteriormente distribuída para o abastecimento da população do distrito de Piau e região.

Figura 8 - Captação da ETA do Piau.



Fonte: Autora, 2022.

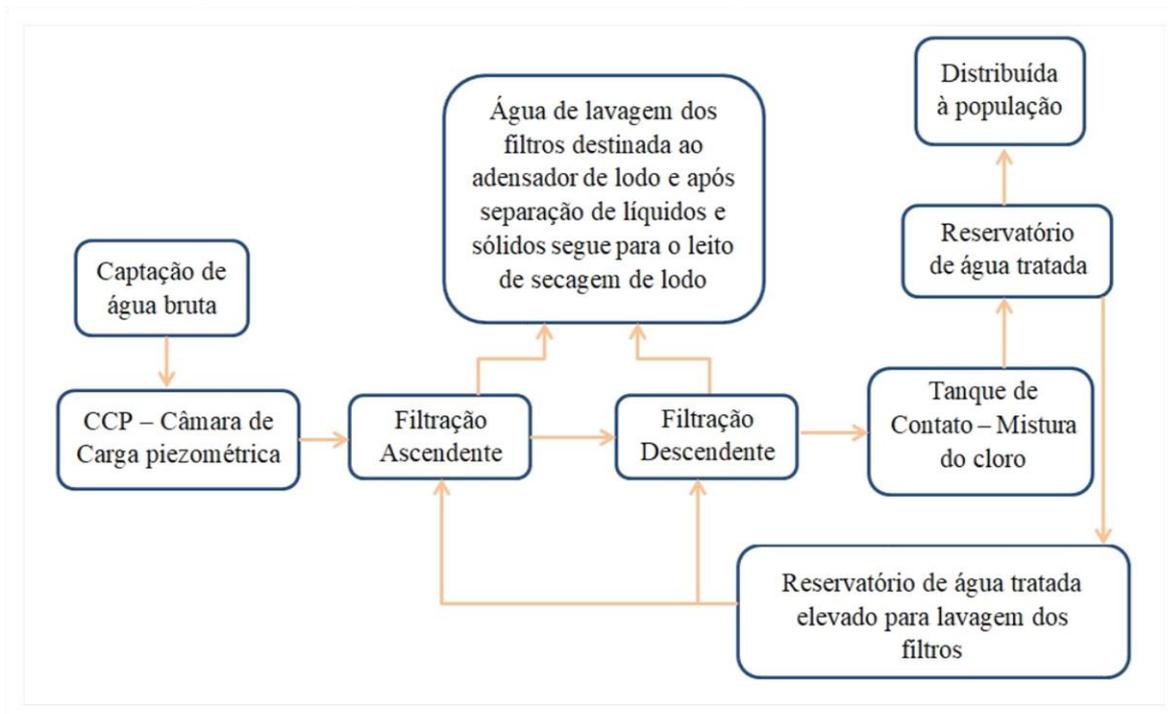
Além de contar com bombeamento da captação sifonado por gravidade, também possui o sistema de controle automatizado, reaproveitamento da água de lavagem, assim como conta

com a produção de energia limpa, ou seja, é composta por sistema energético fotovoltaico, responsável pelo fornecimento de energia para toda a estação.

4.2 Funcionamento da ETA

O sistema de abastecimento atuante na ETA em questão é composto por diversas etapas, desse modo, a criação de um fluxograma (Figura 10) explicativo de cada unidade mostra a sequência das etapas de tratamento de água dessa estação.

Figura 9 - Fluxograma das etapas de tratamento de água da estação em estudo.



Fonte: Autora, 2023.

O tratamento de água da referida ETA ocorre com a captação da água bruta independente e provinda do Canal do Sertão alagoano que é enviada à estação através da utilização de um conduto forçado do tipo sifão DN 250 que encaminha a água por meio da gravidade.

Ao chegar à estação a água bruta vai para a Câmara de Carga Piezométrica (CCP) onde é feita a estabilização da pressão antes que siga para o processo de filtração. Ao adentrar nos filtros a água floculada e coagulada é distribuída de forma homogênea para o fundo e dá início ao trajeto em fluxo ascendente que possui o leito composto por areia e pedregulhos, esse percurso garante que partículas sólidas coaguladas já fiquem retidas e a parte filtrada seguirá para os filtros em fluxo descendente que também possuem leitos de areia e pedregulhos em granulometria menor, este por sua vez, promove a filtração de forma mais lenta.

Esses tipos de filtros possuem atuação importante no processo de tratamento devido à composição das camadas e a movimentação hidráulica causada pelo contato do leito de areia e os poros dos pedregulhos que conseqüentemente gera uma camada de lodo que funciona como catalisador e inibe a passagem dos sólidos formados pela coagulação.

Com o processo de filtração concluído a água é direcionada para os tanques de contato onde é feita a desinfecção final, onde recebe a dosagem de cloro ativo e segue para os tanques de armazenamento. Esse processo resulta na água tratada que já é encaminhada para os reservatórios, os elevados armazenam água para limpeza dos filtros e os reservatórios apoiados fornecem água à população.

A lavagem dos filtros é uma etapa de grande importância no processo de tratamento da água, os filtros são lavados semanalmente e como são três unidades de filtros ascendentes e três descendentes, as lavagens são distribuídas em três dias consecutivos (Tabela 4), ou seja, é feita a lavagem de uma linha por vez e nessa ETA ocorre em três dias consecutivos na semana, utilizando o Sulfato de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) que auxilia na decantação dos resíduos gerados no processo de purificação da água.

Tabela 2 – Rotina de lavagem dos filtros da Estação de tratamento de água.

Lavagem dos filtros	
Dia 01	Filtros ascendentes e descendentes da carreira 01
Dia 02	Filtros ascendentes e descendentes da carreira 02
Dia 03	Filtros ascendentes e descendentes da carreira 03

Fonte: Autora, 2022.

O processo de lavagem dos filtros se dá através da gravidade advinda do reservatório elevado que está a 14 metros de coluna d'água. Nessa etapa é utilizado o sulfato de alumínio para inibir a formação de crostas nos filtros e remoção dos sedimentos formados durante o processo de filtração, assim como auxilia na clarificação da água. Essas lavagens duram de 6 a 10 minutos e é suficiente para que o filtro prossiga com seu funcionamento normal.

A lavagem completa é feita quando a perda de carga diferencial chega a seu nível máximo, são intercaladas com as descargas intermediárias de fundo, estas postergam a lavagem completa dos filtros e fazem o trabalho de recuperar parcialmente a carga hidráulica.

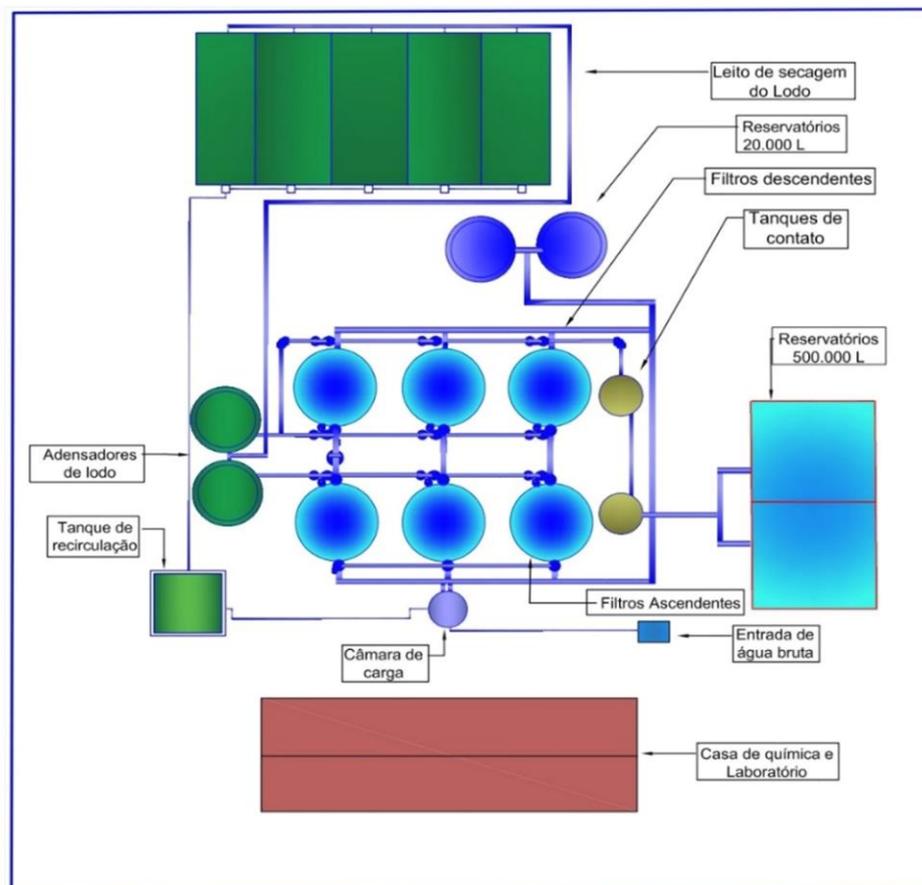
Após a lavagem dos filtros o efluente proveniente deste método segue para o tanque adensador de lodo, descansa por 6 horas e logo depois é adensado, e a parte mais líquida desse processo é mandada para a recirculação e retorna para a câmara de carga onde é novamente

utilizada gerar prejuízos ambientais e evitando desperdício, no entanto, a parte sólida, o lodo é expelido para o leito de secagem a céu aberto para que seja feita a infiltração e evaporação naturalmente, de acordo com a temperatura ambiente.

4.3 Equipamentos e componentes do sistema

Os componentes do sistema são dispostos em um único espaço, de forma compacta, formando um conjunto de elementos de fácil acesso, além dos citados acima, há também a sala de química e o laboratório da unidade (Figura 9).

Figura 10 - Planta baixa da ETA.



Fonte: Autora, 2023.

A Estação de tratamento de água dessa organização é composta pelos equipamentos e setores expostos na tabela 2, nesta, consta as especificações e quantidade referente a cada um, tais dados foram fornecidos pelo projeto de ETA de posse da CASAL.

Tabela 3 – Composição da Estação de Tratamento de água em estudo.

QUANTIDADE	COMPONENTE	DIMENSÕES
01	Câmara de carga piezométrica	Diâmetro: 1,00 m Altura: 6,70 m
03	Filtros modelos ascendente com leito filtrante de areia (CFA)	Diâmetro: 3,00 m Altura: 3,20 m
03	Filtros modelos descendente com leito filtrante de areia (CFD)	Diâmetro: 3,00 m Altura: 3,20 m
02	Tanques de contato e desinfecção	Diâmetro: 2,00 m Altura: 2,60 m
02	Reservatórios elevados (REL)	Volume: 20.000 L
02	Reservatórios apoiados (RAP)	Volume: 500.000 L
02	Tanques Adensador de Lodo (TAL)	Diâmetro: 3,00 m Altura: 3,20 m
05	Câmaras de Leito de Secagem de lodo (LSL)	Largura: 3,00 m Comprimento: 8,05 m

Fonte: Adaptado do Livro Memorial de Cálculo da ETA, 2023.

Os dados de projeto básico do sistema de abastecimento de água da ETA em estudo, fornecidos pelo acervo da CASAL, explana alguns dos parâmetros que esse sistema de tratamento de água deve atender em sua forma eficiente de atuação. A tabela 3 exibe os limites definidos em projeto para cada parâmetro.

Tabela 4 – Parâmetros de projeto que a ETA deve atender.

Parâmetros limites	
Amônia	< 1,2 mg/l
Cloretos	< 250 mg/l
Cloro Residual Livre	0,2 – 2,0 mg/l
Cor Aparente	< 15,0 mg/l
Dureza Total	< 500,0 mg/l
Ferro Total	< 0,3 mg/l
Nitrato	< 10,0 mg/l
Nitrito	< 1,0 mg/l
Sódio	< 200 mg/l
Sólidos Totais Dissolvidos	< 1000,0 mg/l
Sulfato	< 250 mg/l
Turbidez	<5,0 NTU
PH	6-8

Fonte: Adaptado do Livro Memorial de Cálculo da ETA, 2022.

4.4 Composição dos Filtros Ascendentes e descendentes

Os filtros ascendentes e descendentes possuem leito formado com areia de seixos rolados e quartzo, respectivamente e foram projetados segundo a NBR 12216/92 (Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público).

Os filtros ascendentes utilizam pedregulhos enquanto os descendentes possuem o meio filtrante composto por areia. As dimensões da camada de pedregulho foram projetadas para garantir o bom funcionamento da filtração direta ascendente em pedregulho e meio suporte no filtro descendente.

4.4.1 Turbidímetro

Para as análises de turbidez das amostras foi utilizado o turbidímetro da marca PoliControl AP 2000 (Figura 13), através do método nefelométrico, de propriedade da empresa. Inicialmente foi feita a calibração do equipamento seguindo as instruções do seu manual.

Figura 11 – Turbidímetro PoliControl utilizado nos ensaios para medir a turbidez das amostras.



Fonte: Autora, 2022.

O teste de turbidez foi feito na água bruta, na água tratada e na água pós-lavagem dos filtros. Para realizar a caracterização da água bruta, as amostras coletadas foram retiradas em um béquer de vidro da torneira localizada próxima à câmara de carga dentro da estação de tratamento, a água tratada foi coletada da torneira de saída no reservatório apoiado (RAP), assim

como, a coleta da água de lavagem dos filtros foi retirada das torneiras inseridas após cada uma das três carreiras de filtros.

Dessa forma, as amostras de água foram inseridas na cubeta que acompanha o turbidímetro e em seguida no equipamento, assim foi possível fazer a leitura e obter o resultado para cada amostra colocada.

4.4.2 Cor

Para a determinação do parâmetro cor, foi utilizado um aparelho Aquacolor colorímetro da marca PoliControl (Figura 14). Após a calibração, a amostra foi introduzida na cubeta do equipamento e realizou-se a leitura.

Figura 12 – Colorímetro PoliControl utilizado nos ensaios para medir a cor das amostras.



Fonte: Autora, 2022.

4.4.3 Cloro

Para a realização das análises de cloro residual livre, foi utilizado um kit de testes da marca POLILAB (Figura 15), seguindo o procedimento padrão descrito no manual de instruções. O procedimento se baseia na metodologia DPD, onde o cloro livre oxida o indicador DPD (N,Ndietil-p-fenilenediamina) para formar um composto rosa, na qual a intensidade da cor é proporcional à concentração de cloro na amostra. Antes de iniciar os testes foi feita a calibração utilizando soluções com concentração conhecida de cloro.

Figura 13 - Kit de testes Polilab utilizado nos ensaios para medir o teor de cloro nas amostras.



Fonte: Autora, 2022.

4.4.4 pH

Para a leitura do parâmetro pH, o pHmetro portátil da marca BEL (Figura 16), foi calibrado com solução tampão pH 7, conforme recomendado pelo manual do fabricante. Retirou-se o eletrodo do tampão e lavou-se com água destilada. Em seguida mergulhou-se o eletrodo na amostra e verificou-se o valor do pH após estabilização no leitor.

Figura 14 – pHmetro portátil Bel utilizado nos ensaios para medir o pH das amostras.



Fonte: Autora, 2022.

4.5 Ensaio e procedimentos

O presente estudo foi iniciado através do ensaio utilizando o equipamento Jar Test com a finalidade de encontrar a dosagem ótima de coagulante a ser aplicada no processo de tratamento e confirmar se a utilizada em escala real é eficiente. Com o valor da dosagem ideal de coagulante encontrado são feitos os testes em escala real, na própria ETA em estudo e no sistema de tratamento atuante.

A análise dos parâmetros estudados foi feita durante 20 dias consecutivos em cada tipo de água (bruta, tratada e pós-lavagem dos filtros), a primeira fase teve duração de dez dias e consistiu no acompanhamento da turbidez, pH, cor e cloro (utilizando métodos nefelométricos, pHmetro, colorímetro e clorímetro) da água sem adição de coagulante, e a partir do décimo primeiro dia foram refeitos os mesmos testes na água utilizando o coagulante sulfato de alumínio logo na entrada da câmara de carga.

Todos os dias eram coletadas 3 amostras em horário padronizado, sempre as 8:00, 12:00 e 15:00 horas e realizadas as análises. Todos os procedimentos foram feitos pela autora juntamente com os operadores disponibilizados pela CASAL. Essa esquematização rendeu o número de 60 amostras.

As análises foram realizadas no laboratório operacional da estação de tratamento em estudo, pertencente a CASAL, localizado no distrito de Piau.

4.5.1 Jar Test

O Jar test é um equipamento de laboratório usado em ensaios para determinar o percentual de floculante utilizado na etapa de floculação, processo empregado nas ETAs com a finalidade de aglutinar as partículas finas presentes na água, originando partículas maiores, para facilitar a sedimentação dos sólidos e reduzir a turbidez da água.

No processo de coagulação e floculação é preciso que haja o Tempo de Mistura Rápida (TMR) que atua na disseminação do coagulante em todo o líquido, originando a coagulação, que acontece de forma rápida, com agitação intensa e em tempo reduzido. Assim como, há o Tempo de Mistura Lenta (TML), que já atua na floculação e conta com menos agitação e um tempo maior de mistura, com o objetivo de aumentar o tamanho dos flocos criados na etapa de coagulação, já que esse fator beneficia na etapa de sedimentação.

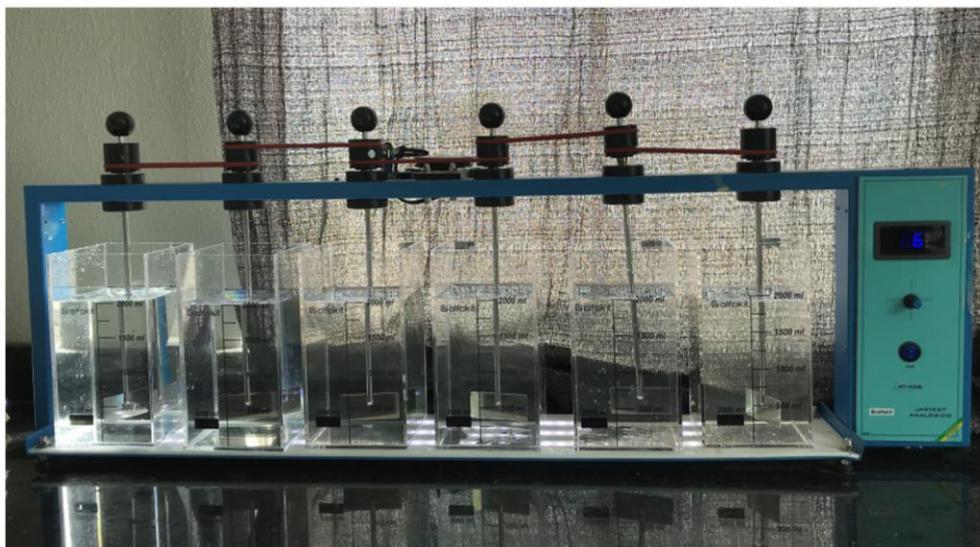
Por alterar fisicamente e quimicamente o aspecto das partículas presentes na água, a coagulação é comprovada por meio dos ensaios de turbidez e cor. A floculação é a etapa posterior e consiste na clarificação e junção das partículas coaguladas, para que esse processo

ocorra de forma ideal, a agitação precisa ser lenta para que não leve ao afastamento dos flocos.

4.5.2 Ensaios de coagulação-floculação e sedimentação

Este procedimento foi adotado com o objetivo primordial de determinar a melhor dosagem de sulfato de alumínio [$Al_2(SO_4)_3$] para o controle da cor e turbidez da água. O equipamento utilizado da marca Alphakit (Figura 11), e é composto de seis jarros com capacidade de dois litros cada, contendo pás ou agitadores em seu interior que são acionados através de mecanismos magnéticos, e que servem para aperfeiçoar a mistura dentro de cada jarro.

Figura 15 – Equipamento Jar test utilizado no ensaio.



Fonte: Autora, 2022.

Neste método foi seguida a norma que trata sobre os projetos de tratamento de água para abastecimento (NBR1 2216), esta define que o gradiente de velocidade da coagulação precisa estar compreendido entre 10 s^{-1} e 700 s^{-1} e o da floculação deve estar entre 10 s^{-1} e 70 s^{-1} .

As pesagens foram realizadas com o auxílio da balança eletrônica analítica MG214Ai da BEL Engineering, com capacidade máxima para 220g (Figura 12).

Figura 16 – Balança usada nos ensaios.



Fonte: Autora, 2022.

O procedimento se inicia com a coleta da água bruta de entrada e feita a medição de Turbidez e pH, logo após a higienização, os seis jarros que compõe o equipamento foram preenchidos até o volume máximo, com 2 litros da água.

Em seguida o equipamento é ligado em rotação de (20 rpm) durante 60 segundos para que as partículas suspensas na água bruta não decantem até que se acrescente o coagulante. Após esse tempo a velocidade do equipamento foi alterada para (120 rpm) por 2 minutos e com o auxílio de uma pipeta foi acrescentado o sulfato de alumínio – para a aplicação foi retirada uma amostra de 50 ml de água tratada e misturada com 3ml do sulfato de alumínio líquido, resultando em uma concentração de 60 ml/L. Essa mistura foi adicionada na água bruta a temperatura ambiente, variando a quantidade de coagulante para cada jarro, como mostrado na tabela 5.

Tabela 5 – Quantidade de Sulfato de Alumínio.

Becker	Quantidade de $[Al_2(SO_4)_3]$ (mL)
1	0,0
2	0,5
3	1,0
4	2,0
5	3,0
6	5,0

Fonte: Autora, 2022.

Com o processo de mistura rápida concluído, a velocidade do equipamento é novamente alterada para (30 rpm) por 10 minutos, dando início ao processo de mistura lenta. Finalizada essa etapa, interrompeu-se a agitação e o sistema foi deixado em repouso durante 20 minutos para que ocorresse a sedimentação dos sólidos.

Em seguida, foi possível visualizar como cada amostra se comportou após o ensaio e realizada novamente a medição de pH e Turbidez da água para então encontrar a dosagem ótima de coagulante a ser utilizada nesse sistema.

5. RESULTADOS

5.1 Jar Test

Na primeira etapa do estudo, usando o Jar test foi possível simular em laboratório como ocorre o tratamento da água e então descobrir a dosagem ótima. Para isso, antes de iniciar, foi feita a caracterização da amostra de água bruta, considerando os parâmetros de turbidez, pH e cor, visto que são os componentes que mais interferem no processo de coagulação e floculação. A tabela 6 mostra os valores obtidos na medição desses parâmetros na água bruta.

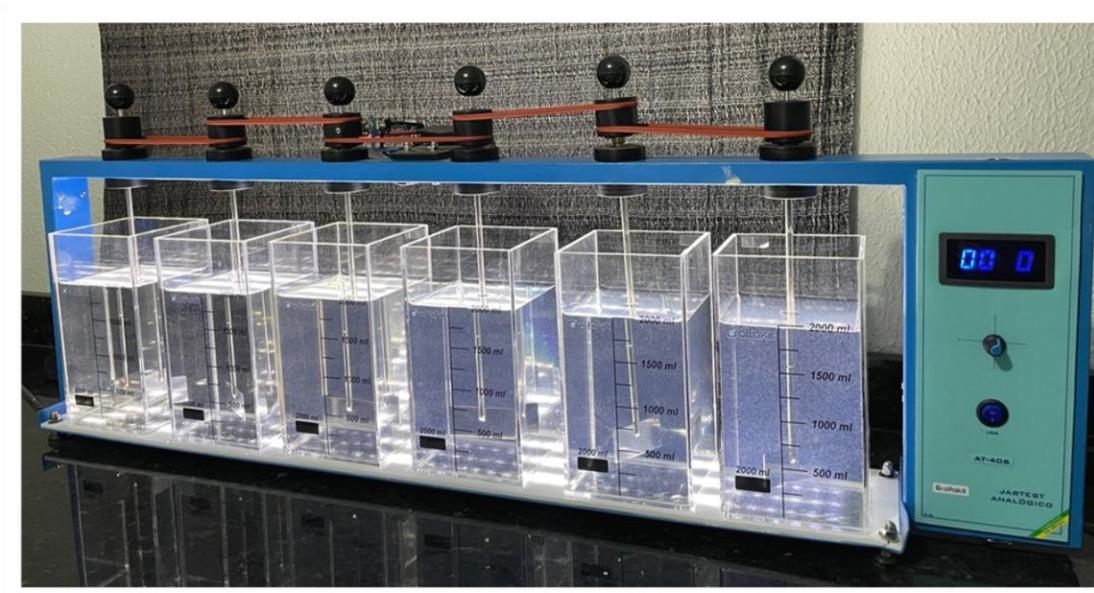
Tabela 6 – Turbidez e pH da amostra de água bruta para ensaio no Jar Test.

AMOSTRA	TURBIDEZ (uT)	pH	COR (uC)
Única	3,02	7,01	8,7

Fonte: Autora, 2022.

Ao final do procedimento usando o teste de jarros é possível observar através da figura 17, o comportamento das amostras após 10 minutos do encerramento do ensaio, esse período compreende a fase de sedimentação dos sólidos. É observável que os valores dos parâmetros da água bruta utilizada no estudo já se enquadram dentro dos limites exigidos pela portaria federal GM/MS Nº 888 de 2021, favorecendo o processo de tratamento da água.

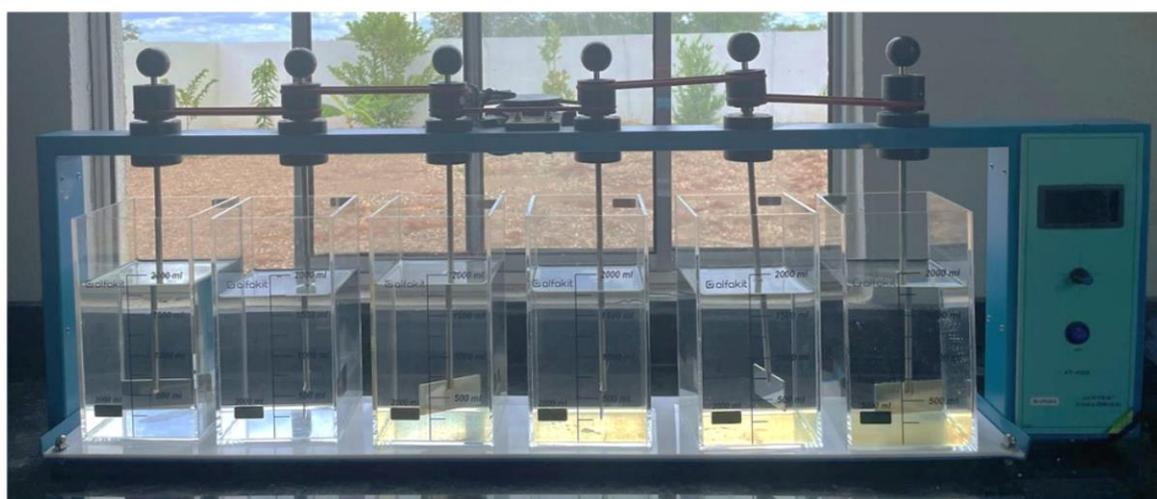
Figura 17 – Amostras após o Jar Test e com 10 minutos de sedimentação.



Fonte: Autora, 2022.

A Figura 18 exibe o final do período da sedimentação dos sólidos usando o coagulante sulfato de alumínio, quando atingiram os 20 minutos, conforme descrito na metodologia e apresenta as partículas sólidas decantadas no fundo do recipiente, que em algumas das amostras atribuiu mais cor a água do que quando esta estava em fase bruta, é o caso das amostras 4, 5 e 6. Assim como, nas amostras 1, 2 e 3 houve redução desse parâmetro resultando na clarificação da água.

Figura 18 – Estágio final de sedimentação dos sólidos após ensaio no Jar Test.



Fonte: Autora, 2022.

Na fase de conclusão do teste, os parâmetros foram novamente medidos para fazer o

comparativo dos dados e auxiliar na definição da dosagem ótima de coagulante para o sistema, como está exposto na Tabela 7.

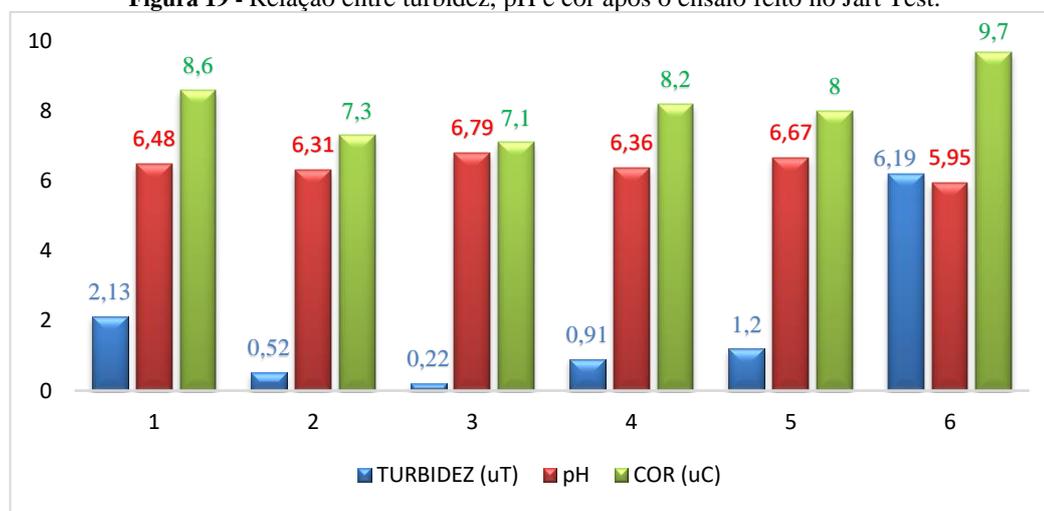
Tabela 7 – Turbidez e pH das amostras após o ensaio no Jar Test.

AMOSTRA	TURBIDEZ (uT)	pH	COR (uC)
1	2,13	6,48	8,6
2	0,52	6,31	7,3
3	0,22	6,79	7,1
4	0,91	6,36	8,2
5	1,20	6,67	8,0
6	6,19	5,95	9,7

Fonte: Autora, 2022.

A figura 19 reproduz graficamente os resultados expostos na Tabela 7, de modo que facilita a análise real do que ocorre com os parâmetros de turbidez, pH e cor estudados nessa primeira etapa.

Figura 19 - Relação entre turbidez, pH e cor após o ensaio feito no Jar Test.



Fonte: Autora, 2022.

Ao observar os resultados da turbidez é possível notar que apenas a amostra 6 possui valor maior que 5 NTU (Nefelometric Turbidity Unit) e está fora do padrão para distribuição, enquanto as outras 5 amostras apresentam valores de turbidez dentro do padrão. A amostra 3 é a que evidencia menor valor de turbidez, destacando-se como a melhor escolha.

No que se refere ao pH, as 5 primeiras amostras encontram-se compreendidas dentro do limite (6-8) definido em projeto pela própria estação de tratamento, assim como, estão na faixa recomendada de pH na água distribuída, definida pela Portaria Federal GM/MS N° 888 de 2021, que é de 6 a 9,0, enquanto a amostra 6 possui valor para pH abaixo do recomendado.

Deste modo, considerando que o pH indicado como ótimo de floculação é próximo a 6,8, observa-se que a amostra 3 é a que mais se aproxima desse padrão.

Em relação à cor aparente, que indica a presença de partículas dissolvidas na água, as 6 amostras analisadas atendem ao que é recomendado pela Portaria Federal GM/MS Nº 888 de 2021, estão abaixo de 15 uH e a amostra com o menor valor para cor aparente segue sendo a de número 3.

5.2 Ensaios em escala real utilizando a dosagem ótima

Diante dos resultados obtidos através das análises no período em estudo, serão apresentadas tabelas e imagens, que permitirão uma avaliação clara e objetiva para cada parâmetro analisado no processo de tratamento da água bruta, até a sua distribuição. Através do comparativo entre os valores obtidos nas análises diárias do tratamento com os valores recomendados pela portaria de nº 888, GM/MS de 2021 de padrão de qualidade da água.

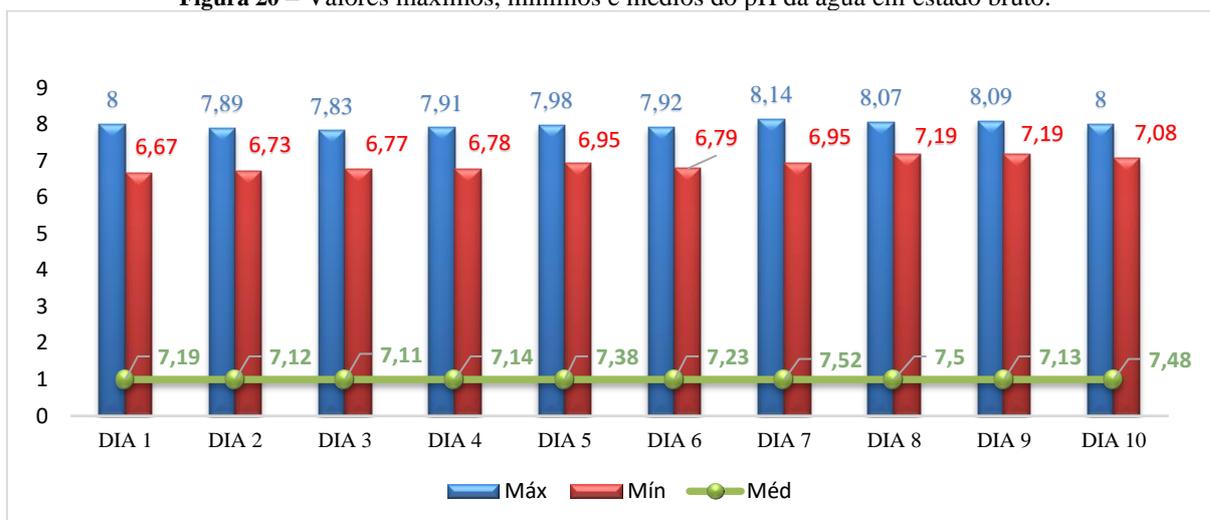
A dosagem de coagulante ideal para o sistema de tratamento em escala real definida pelo ensaio realizado com o jar test foi de 30 l de $Al_2(SO_4)_3$ diluídos em 500l de água bruta, formando uma solução que logo foi injetada na câmara de carga para um volume de 25.000 l de água que é tratada diariamente na ETA.

Nessa fase do estudo foram extraídos os valores máximos, mínimos e médios referentes à análise da água bruta de entrada, da saída das três carreiras de filtros e da água de saída para distribuição, sem e com sulfato de alumínio. A seguir serão comparados e comentados os resultados das duas análises feitas.

5.2.1 pH

Em relação ao pH das amostras de água bruta analisadas durante os 10 dias em que o sistema funcionou sem o coagulante foram analisados segundo as orientações fornecidas pela portaria GM/MS Nº 888 de 2021, esta define que o pH precisa ser de 6 a 9,0 para estar apto a ser distribuído, assim como estabelece o pH inferior a 6 como ácido, e que valores entre 6 e 7 representam uma água neutra. Logo, pH acima de 7 é classificado como alcalino.

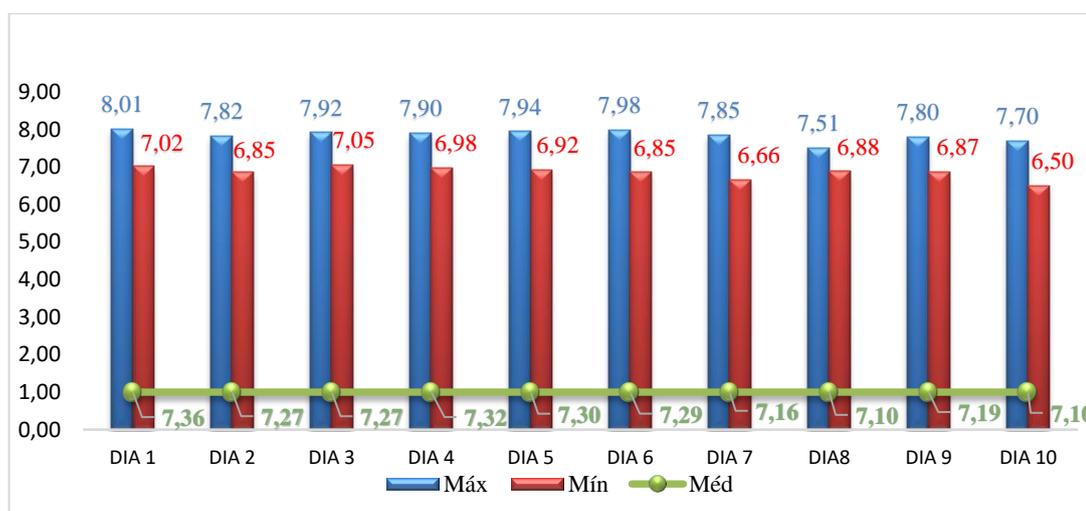
Com base nessas características, analisando as médias dispostas na figura 20, todas as amostras estão em conformidade com a legislação estando dentro do limite exigido. É possível observar que as médias estão acima de 7 e são classificadas como alcalinas.

Figura 20 – Valores máximos, mínimos e médios do pH da água em estado bruto.

Fonte: Autora, 2022.

A figura 21 mostra os valores máximos, médios e mínimos do pH com a adição do sulfato de alumínio. E com base no mesmo padrão de análise, seguindo o que orienta a portaria GM/MS N° 888 de 2021, para esse caso observa-se uma padronização nos valores do pH, o que influi diretamente nas médias, sendo todas classificadas como alcalinas e satisfazendo os limites definidos de potabilidade.

Desse modo, com as médias de pH dos dez dias em que foi feita a análise da água utilizando o coagulante sulfato de alumínio (figura 21), nota-se que a maioria das amostras também podem ser consideradas moderadamente alcalinas, com o maior valor de média igual a 7,36 e o menor sendo 7,10.

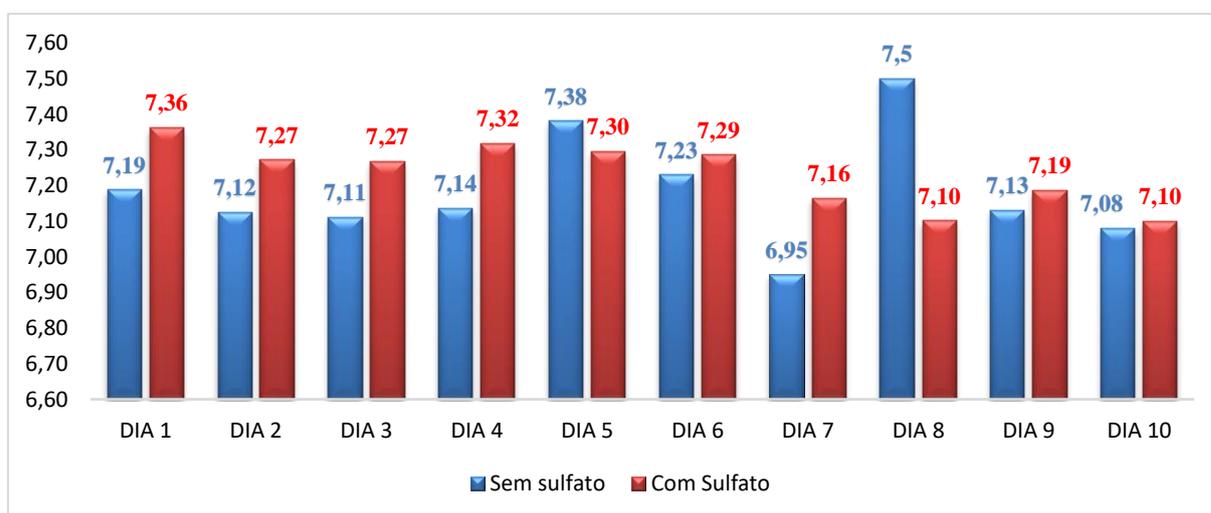
Figura 21 – Valores máximos, mínimos e médios do pH da água com adição de sulfato de alumínio.

Fonte: Autora, 2022.

No geral é possível observar que em relação ao pH das amostras de água analisadas, a maior parte das amostragens médias podem ser consideradas com pH levemente alcalino como mostra a figura 22, já que o maior valor médio de pH colhido nos testes sem o uso do sulfato de alumínio foi 7,5. O menor valor médio refere-se ao 7º dia de estudo desse parâmetro na água bruta e foi 6,95, resultando em um pH ainda classificado como neutro.

Com base nessas características, analisando as médias dispostas na figura 22, todas as amostras estão em conformidade com a legislação estando dentro do limite exigido. É possível observar que apenas uma média está abaixo de 7, referente ao dia 7, classificada como neutra e demais médias estão acima de 7 e são classificadas como alcalinas.

Figura 22 – Média dos valores do pH para água sem e com adição de sulfato de alumínio.



Fonte: Autora, 2022.

5.2.2 Turbidez

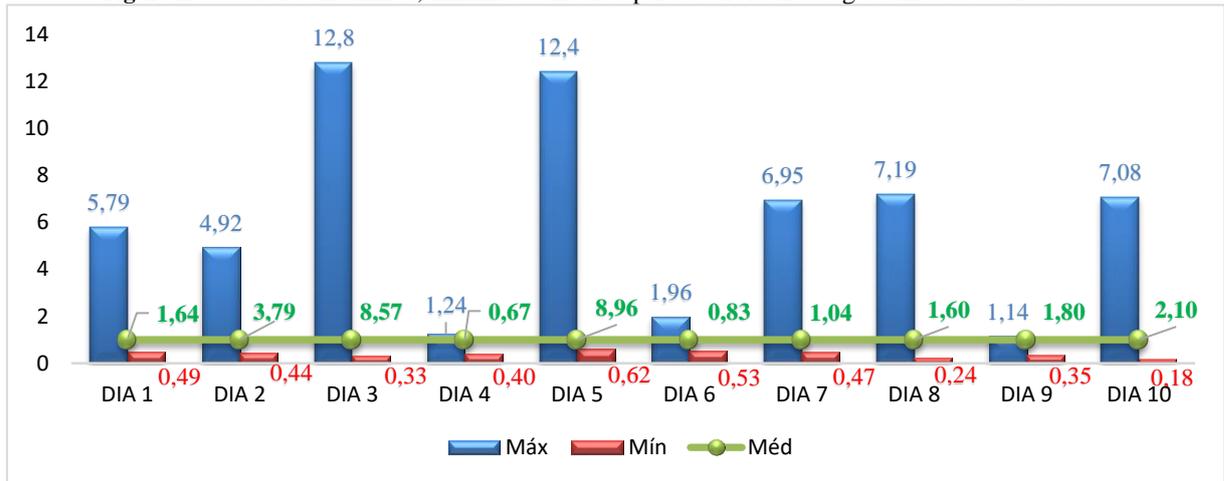
Para análise da turbidez foi seguido o mesmo processo anterior. Durante os 10 primeiros dias foi feito o acompanhamento diário desse parâmetro seguindo o que orienta a portaria de nº 888, GM/MS de 2021, esta determina o valor máximo de 5,0 uT (unidade Jackson ou nefelométrica de turbidez) para água de abastecimento. A figura 23 expõe os valores máximos, médios e mínimos obtidos através dos testes feitos em escala real sem a utilização de coagulante no tratamento.

Em relação aos valores máximos apresentados na figura 23 nota-se que apenas os dias 2, 4, 6 e 9 apresentaram uma média com valores abaixo de 5,0 uT, os demais estão em desacordo com a legislação. Os valores mínimos estão bem abaixo do recomendado e satisfazem o que orienta a portaria de nº 888, GM/MS de 2021. Com isso, a média geral entre máximos e

mínimos para cada dia do estudo resultou em valores dentro dos VMP, ou seja, estão dentro do padrão de potabilidade permitido para o consumo humano, mesmo sem adição de coagulante.

O fato da água analisada estar sem adição de produtos químicos e ainda assim satisfazer as condições propostas pela portaria de nº 888, GM/MS de 2021, responsável se dá pela qualidade da água bruta advinda do rio São Francisco.

Figura 23 – Valores máximos, mínimos e médios para a turbidez da água em estado bruto.

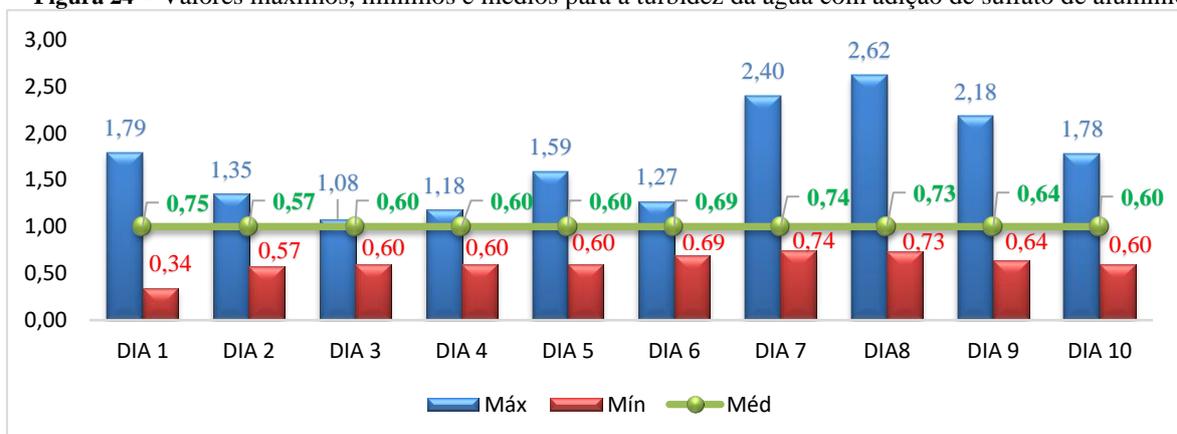


Fonte: Autora, 2022.

Nos outros dez dias de ensaios foi incluído o coagulante sulfato de alumínio no tratamento e a figura 24 mostra os resultados obtidos a partir desse experimento. Para este caso os valores de turbidez ficaram dentro do recomendado pela portaria de nº 888, GM/MS de 2021.

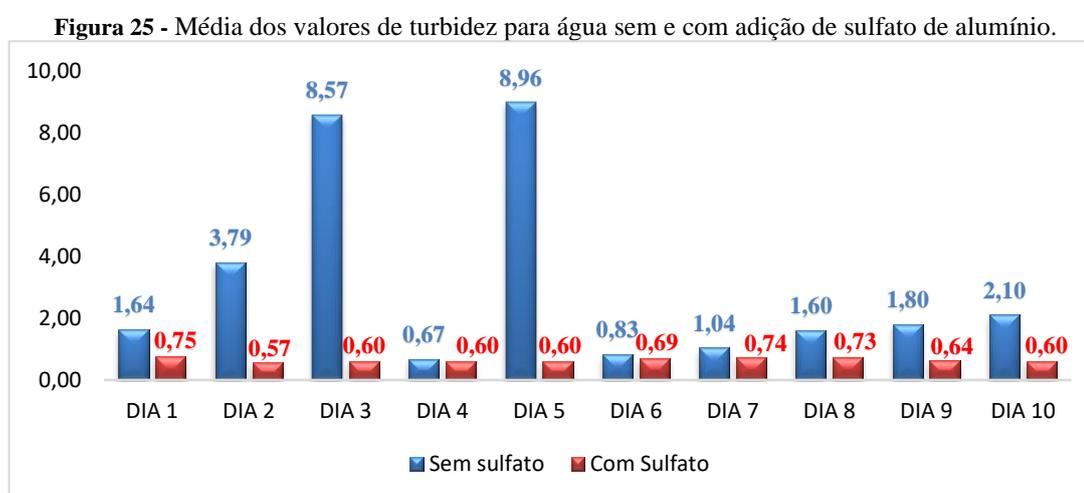
E em comparação as análises feitas nos dez dias anteriores, nota-se uma diferença considerável em relação aos valores máximos, enquanto os mínimos aumentaram moderadamente, não chegando nem a 1,0 uT. E as médias apresentadas são menores que as do primeiro ensaio sem a adição do sulfato, satisfazendo as condições de VMP.

Figura 24 – Valores máximos, mínimos e médios para a turbidez da água com adição de sulfato de alumínio.



Fonte: Autora, 2022.

Ao observar a figura 25, percebe-se que a turbidez diminuiu significativamente com o uso do sulfato de alumínio, pois as médias para a água bruta ultrapassaram o valor máximo permitido, chegando a 8,96 uT no dia 5, enquanto na água com a utilização do sulfato de alumínio no tratamento houve uma redução de aproximadamente 93% de sua turbidez, decaindo para 0,73 uT o maior valor para a média, logo, pode-se notar que o sistema implantado para o tratamento de água para o abastecimento público cumpre com o que a legislação descreve, visto que o VMP na portaria de nº 888, GM/MS de 2021, para o parâmetro de turbidez, não admite valores acima de 5 uT.



Fonte: Autora, 2022.

Com isso, pode-se observar que algumas amostras da água bruta estiveram muito acima do recomendado, mesmo não tendo ocorrência de chuvas e nenhuma intercorrência na captação da água. Este fato, afirma a importância do acompanhamento contínuo desses parâmetros para assegurar a qualidade da água que será distribuída a população.

5.2.3 Turbidez após os filtros

Ao analisar a figura 26 nota-se um comparativo da turbidez após a saída dos filtros sem e com a adição de sulfato de alumínio no tratamento. Dessa forma, é possível observar que há variação dos valores e uma redução do parâmetro quando a água é submetida a filtração usando o coagulante.

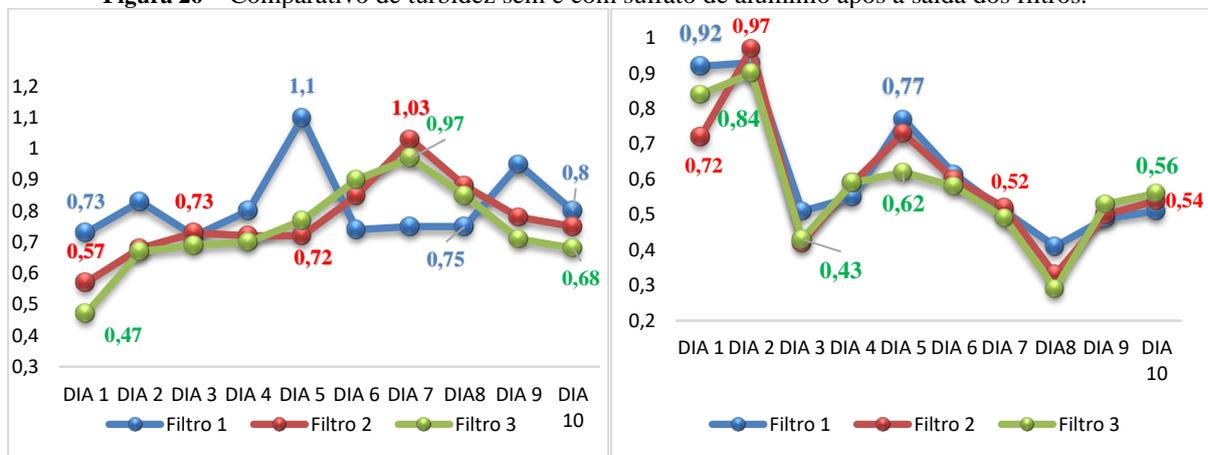
Após o processo de filtração da água bruta sem adição de coagulante o maior valor para turbidez foi de 1,1 uT, referente ao filtro 1 no 5º dia de análise, enquanto no teste feito com a adição de sulfato o maior valor desse parâmetro para o mesmo filtro foi de 0,92 uT no 1º dia

de ensaio, resultando numa redução de aproximadamente 16% da remoção de turbidez.

No caso do filtro 2, o comportamento também é semelhante, visto que o maior valor da água bruta foi de 1,03 uT, no 7º dia de análise e no teste feito com a adição de sulfato o maior valor da turbidez para o mesmo filtro foi de 0,97 uT no 2º dia, apresentando redução de aproximadamente 5,9% da turbidez presente na água.

O filtro 3 seguiu o mesmo padrão dos outros 2 filtros, onde a turbidez máxima foi no 7º dia de análise, com 0,97 uT e após a inserção do sulfato esse parâmetro atingiu 0,84 uT de máxima turbidez no 1º dia de ensaio, reduzindo aproximadamente 13,4% da turbidez presente na água.

Figura 26 – Comparativo de turbidez sem e com sulfato de alumínio após a saída dos filtros.

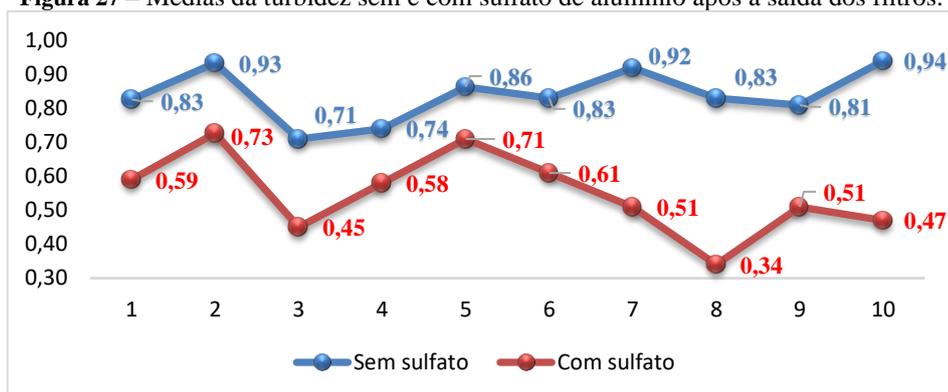


Fonte: Autora, 2023.

As médias gerais de todos os filtros foram calculadas para o período em que a água foi analisada sem sulfato de alumínio, assim como, quando adicionado o coagulante. Deste modo, a figura 27 apresenta de forma gráfica o comparativo entre tais médias de turbidez após a saída dos filtros.

Esta análise visual permite a constatação do aumento significativo na eficiência da remoção de turbidez para a água com uso de sulfato de alumínio. É preciso salientar que os resultados podem conter erros influenciados pelo tipo de medição adotada e até a variação da precipitação pluvial natural.

Figura 27 – Médias da turbidez sem e com sulfato de alumínio após a saída dos filtros.



Fonte: Autora, 2022.

O uso do sulfato influenciou diretamente no processo de remoção da turbidez da água estudada, contudo pode-se observar que a água bruta se encontra dentro dos limites determinados pela legislação e após a adição do sulfato, tais resultados só melhoraram.

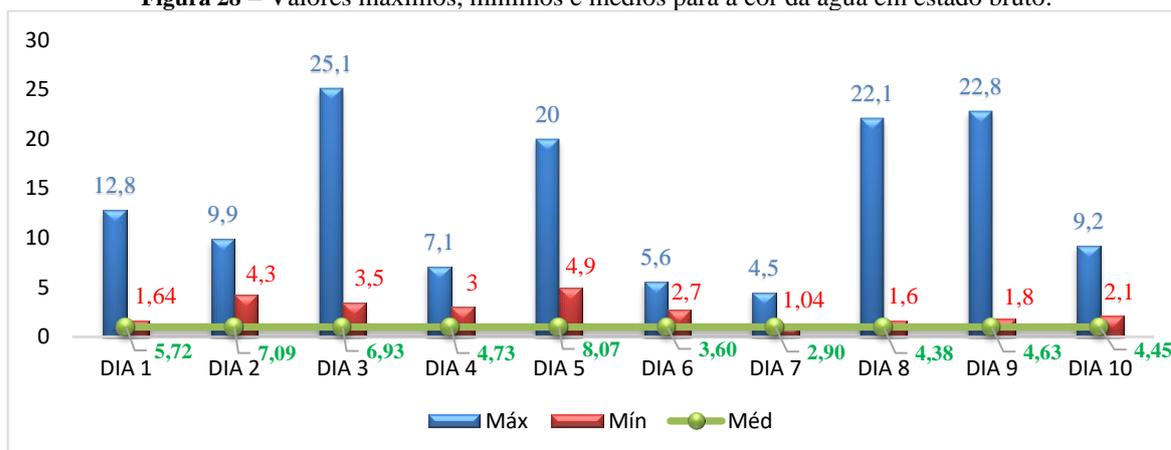
Este fato confirma que o sulfato de alumínio quando aliado a filtração direta atua de forma eficiente no tratamento dessa água bruta que já possui boas características físicas e químicas, o que facilita o processo de potabilidade.

5.2.4 Cor aparente

A cor aparente é um parâmetro físico exigido pela Portaria de nº 888, GM/MS de 2021, para águas destinadas ao consumo humano, esta define o VMP de 15 uC como padrão de aptidão para ser distribuída. O objetivo dessa consolidação é garantir o abastecimento de água potável aliado a segurança sanitária dos indivíduos, visando que estes não precisem procurar outros meios de abastecimento que não sejam seguros (BRASIL, 2014, p.53).

A coloração da água é ligeiramente associada com a turbidez e indicativo da presença de impurezas. Águas com cor acima de 15 uC tendem a ser detectadas facilmente a olho nu, assim como, os valores de cor da água bruta inferiores a 5 uC usualmente dispensam coagulação química, enquanto os valores superiores a 25 uC usualmente requerem a coagulação química seguida por filtração (CHINVELSKI, 2018. p.18).

Figura 28 – Valores máximos, mínimos e médios para a cor da água em estado bruto.

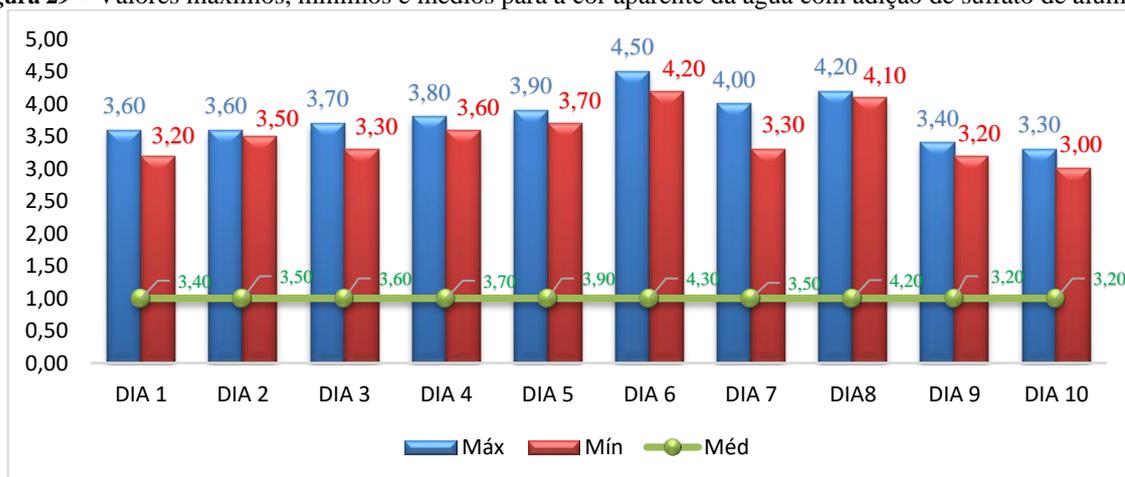


Fonte: Autora, 2022.

Na figura 28 é possível observar o comportamento do parâmetro cor na água bruta sem adição de coagulante, neste caso nota-se uma oscilação significativa entre os valores máximos e mínimos para cada dia. Em relação aos máximos, os dias 3, 5, 8 e 9 estão em desconformidade com a portaria de nº 888, GM/MS de 2021, quando ultrapassam o valor de 15 uC recomendado. Enquanto os valores mínimos atendem a esse requisito e estão bem abaixo do limite.

Com base nessas evidências, analisando as médias desse ensaio para água bruta, todas satisfazem a orientação da portaria de nº 888, GM/MS de 2021, resultando no maior valor médio de cor aparente igual a 8,07 correspondente ao 5º dia do ensaio, satisfazendo as condições normativas.

Figura 29 – Valores máximos, mínimos e médios para a cor aparente da água com adição de sulfato de alumínio.



Fonte: Autora, 2022.

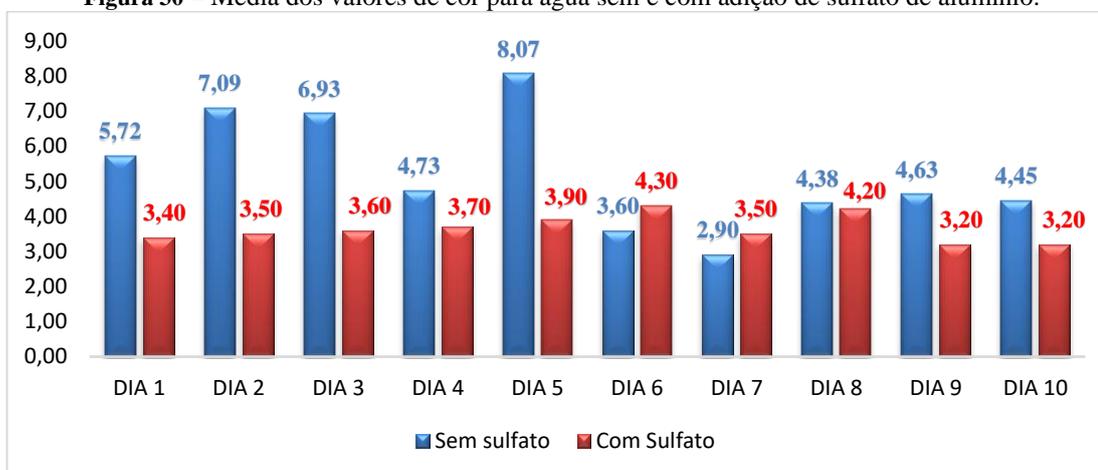
A figura 29 apresenta os valores de cor obtidos no ensaio realizado com a adição do coagulante sulfato de alumínio no processo de tratamento. Os resultados expostos satisfazem as condições descritas na portaria de nº 888, GM/MS de 2021, compreendidos até 15 uC e está

dentro do valor máximo permitido.

Em comparação com os testes feitos com a água bruta, é possível observar que houve uma redução significativa nos valores máximos, mínimos e médios. Enquanto o maior valor encontrado para cor da água bruta foi 25,1 referente ao 3º dia (figura 28), o valor máximo para o teste de cor feito com adição de sulfato foi de 4,50 referente ao 6º dia (figura 29).

Os resultados exprimem um percentual de aproximadamente 82% de redução do parâmetro cor utilizando o sulfato de alumínio referente aos valores máximos em comparação com os testes iniciais, realizados sem coagulante.

Figura 30 – Média dos valores de cor para água sem e com adição de sulfato de alumínio.



Fonte: Autora, 2022.

A figura 30 mostra o comparativo entre as médias de cor obtidas durante os ensaios. Em tom de azul estão os valores para os testes iniciais, realizados em água bruta, enquanto os valores em vermelho se referem aos testes feitos com a adição de sulfato. A disposição das informações na figura permite analisar graficamente o comportamento do parâmetro durante o estudo.

Ao observar os dados expostos percebe-se que a cor da água quando utilizado o sulfato de alumínio foi reduzida em torno de 30% em relação as médias, comparando com o teste inicial sem adição do coagulante.

É possível observar que o uso do sulfato atuou de forma eficaz na redução da cor aparente, fato que comprova que a dosagem aplicada no estudo foi eficiente, visto que a função do sulfato de alumínio é agregar as partículas coloidais suspensas na água para facilitar o processo de coagulação-floculação e conseqüentemente essa aglutinação diminui a cor e turbidez da água.

Nesta condição, nota-se que o sistema implantado e a dosagem adotada são qualificados para tratar a água que será disponibilizada ao abastecimento público, cumprindo com o que

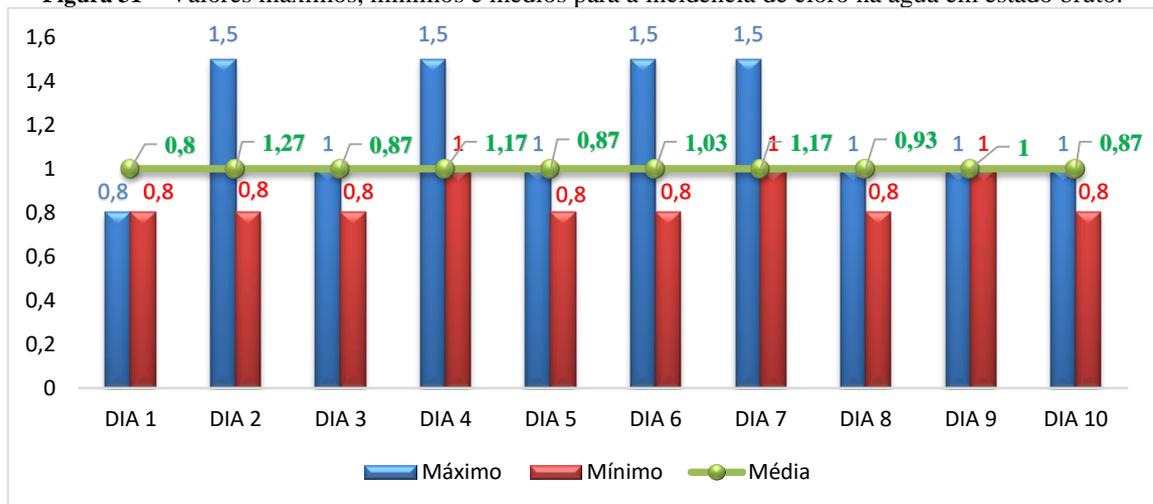
orienta a legislação, visto que essas médias apresentadas estão de acordo com o VMP para o parâmetro cor, não sendo superior a 15 uC.

5.2.5 Cloro

Essa etapa compreende o processo de desinfecção, nessa fase a água já está potável, contudo, é necessário utilizar a cloração para evitar problemas de infecções, eliminar germes prejudiciais à saúde e todos os micro-organismos patógenos e garantir a qualidade da água que será entregue ao consumidor. O processo de cloração da referida ETA utiliza pastilhas de cloro no tratamento.

O Art. 32 da portaria de nº 888, GM/MS de 2021, define a obrigação de manter com no mínimo 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição, assim como nos pontos de consumo. Esses limites adotados pelo Ministério da Saúde têm o objetivo de garantir que a população não estará exposta a riscos (BRASIL, 2021, p. 12).

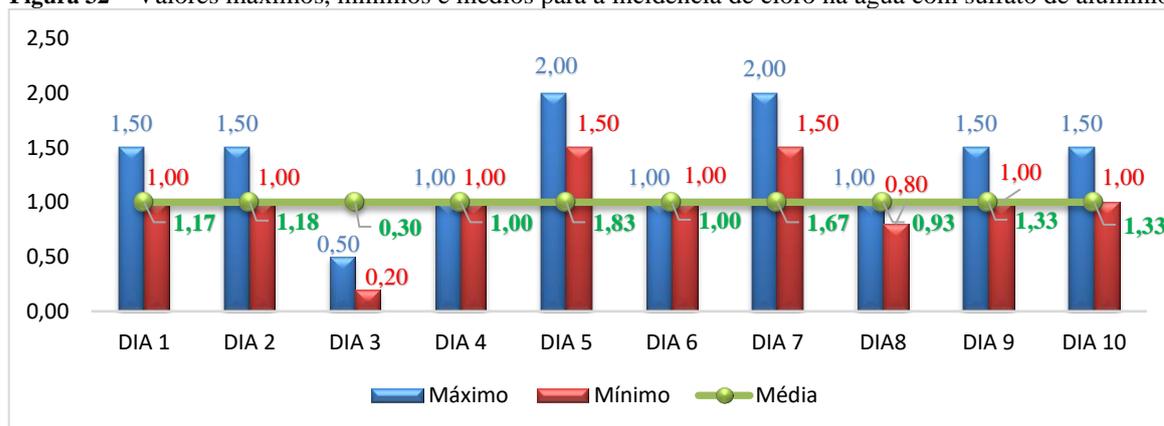
Figura 31 – Valores máximos, mínimos e médios para a incidência de cloro na água em estado bruto.



Fonte: Autora, 2022.

A figura 31 mostra o teor de cloro total obtido no ensaio inicial sem a utilização do sulfato de alumínio. Os valores apresentados estão compreendidos dentro dos limites exigidos pela portaria de nº 888, GM/MS de 2021, estando acima de 0,2 mg/L de e abaixo de 2 mg/L.

Esse parâmetro foi medido na saída do reservatório de distribuição e as médias apresentadas indicam uma quantidade considerável de cloro total.

Figura 32 – Valores máximos, mínimos e médios para a incidência de cloro na água com sulfato de alumínio.

Fonte: Autora, 2022.

Na figura 32 estão expostos os valores mínimos e máximos para o cloro total coletado na saída do reservatório que distribui água à população. Com isso é possível verificar que os valores estão compreendidos dentro dos limites da portaria de nº 888, GM/MS de 2021.

Contudo, nessa fase, utilizando o sulfato de alumínio os valores obtidos foram maiores que no ensaio inicial onde não se utilizava o mesmo, esse fator pode ser considerado que o uso deste coagulante implicou diretamente na redução da quantidade de cloro aplicada ao sistema de tratamento, e como resultado, há economia no uso de cloro e consequentemente nos custos com esse produto.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) afirma que a utilização de cloro no tratamento de água tem alta relevância, desde que aplicado em volumes seguros para que não cause problema a saúde dos consumidores. A figura 32 mostra as médias de cloro total, que estão dentro do VMP assim como os máximos e mínimos, onde o valor máximo atingido chegou a 2,0 mg/L atendendo ao que orienta a legislação.

É de suma importância que sejam feitas análises constantes do cloro, tanto nas unidades de tratamento, quanto em pontos específicos da distribuição, visando evitar concentrações abaixo do que estabelece a portaria de nº 888, GM/MS de 2021, devido as alterações que a água pode sofrer ao logo da rede, resultando na redução de desinfecção residual.

Os resultados no geral satisfizeram os valores recomendados pela portaria nº 888 GM/MS de 2021 e confirmaram que o sistema atuante na estação de tratamento em estudo atua dentro dos limites da legislação e garante que chegue as torneiras do consumidor final água potável e de qualidade.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões do presente trabalho e as recomendações para a continuidade dos trabalhos seguindo a mesma área de estudo.

6.1 Conclusões

Os resultados obtidos através desse estudo permitiram avaliar a qualidade da água bruta captada no canal do sertão, assim como acompanhar o comportamento dos parâmetros físico-químicos da água antes e depois da inserção do coagulante de alumínio no tratamento. Deste modo, na primeira etapa foi possível constatar que o ensaio utilizando o jar test foi de grande importância para definir a dosagem ótima de coagulante a ser adotado no sistema de tratamento da ETA.

As características da água bruta analisada na amostra inicial coletada se mantem dentro do padrão de potabilidade determinado pela Portaria nº888 MG/MS de 2021, onde os valores para pH, cor e turbidez estão abaixo do limite determinado pela legislação. Tais dados mostram que a qualidade da água captada é de boa procedência. Após a adição do coagulante foi possível observar variações nos valores para cada jarro referente aos parâmetros analisados.

A concentração de sulfato de alumínio empregada em cada jarro resultou na remoção da turbidez e redução da cor para todas as amostras, exceto a do jarro 6, nesse caso tanto a turbidez quanto a cor obtiveram valores maiores do que o medido em água bruta, onde a turbidez ultrapassou o padrão de potabilidade, estando acima de 5 NTU. Contudo, o parâmetro cor ficou abaixo de 15uH e o pH foi reduzido em todas as 6 amostras. Apesar de algumas amostras apresentarem valores mais elevados do que os da água bruta, todos estão dentro do que orienta a portaria de nº 888, GM/MS de 2021.

Conclui-se que dentre as amostras analisadas, os melhores resultados para pH, turbidez e cor estão no jarro 3, com concentração de 1 ml de sulfato para 2 litros de água. Essa amostra resultou em um pH ótimo igual a 6,79, turbidez equivalente a 0,22 NTU, sendo esse < 5 NTU e cor aparente igual a 7,1, todos dentro do padrão de potabilidade estabelecido pela legislação.

Para uma análise mais assertiva o Anexo A foi consultado, trata-se de um laudo de análise de água que é gerado mensalmente pela Casal. Esse documento serviu de base para comparar com os parâmetros medidos e fornecer outros que não foram analisados nesse trabalho, o laudo só confirmou que os testes feitos neste estudo estão com dados semelhantes aos que normalmente são obtidos nas coletas mensais da estação. Com isso, é possível observar que o tratamento da referida ETA em seu funcionamento normal já satisfaz os padrões de potabilidade exigidos pela legislação e os parâmetros com valores excessivos são justificados

por influência da precipitação pluvial ou fatores externos, como as paradas da captação para manutenção ou limpeza dos filtros.

O objetivo da segunda parte do estudo foi verificar se a dosagem ótima de coagulante definida a partir do ensaio realizado com o jar test atuaria de forma eficiente em escala real no sistema de tratamento por filtração direta e fazer o comparativo dos parâmetros de cor, turbidez e pH entre a água bruta e após adicionar a dosagem ótima de coagulante. A partir dos resultados encontrados, foi possível verificar que a água bruta captada possui valores em sua maioria, aceitáveis dentro dos limites da potabilidade, fato que foi crucial para a escolha da filtração direta como sistema de tratamento na fase inicial de projeto para implantação da ETA. Os testes feitos com a adição de sulfato de alumínio geraram bons resultados, reduzindo os parâmetros e confirmando que este é um coagulante com boa eficiência de remoção de turbidez, cor elevada e estabilização do pH para esse sistema de tratamento de água, e assim, capaz de atender às exigências legislativas definidas pela portaria n° 888 GM/MS de 2021.

O percentual de estabilização do parâmetro pH foi em torno de 1,87%, enquanto a turbidez foi reduzida em aproximadamente 91,62% e a cor aparente em média 82% referente a água com adição do sulfato de alumínio.

Com relação a eficácia da filtração direta, foi possível observar que o sulfato atuou de forma satisfatória na remoção das impurezas, de modo que a água obtida pós filtração trouxe resultados melhores do que os provenientes da água filtrada sem adição do coagulante, dessa forma, foi possível concluir que o uso do coagulante facilitou o processo de potabilização da água, auxiliando na eficiência da filtração direta e reduzindo a turbidez da água.

A turbidez após a filtração foi analisada para verificar a atuação dos filtros frente a esse processo de tratamento. Com isso, os dados apresentados na figura 27 mostram que a filtração feita pelo filtro 1 reduziu cerca de 16,4% da turbidez, o filtro 2 reduziu em torno de 5,85% e o filtro 3 conseguiu reduzir 13,4%. Desse modo, no geral, o conjunto de filtros com a adição de sulfato de alumínio conseguiu reduzir cerca de 11, 83% da turbidez que a água apresentava antes de ter o coagulante. Vale salientar que outros fatores influenciam esse resultado, tais como, a lavagem regular dos filtros, intercorrência na qualidade da água captada. Contudo, para esse estudo, as lavagens ocorreram regularmente e não houve variação na água bruta.

O processo de desinfecção necessita de estudos mais aprofundados para se concluir algo específico sobre essa fase, mas no geral, voltado a temática do trabalho, a desinfecção da água utilizando o cloro em pastilha, sem alteração de quantidade, permite observar que o coagulante sulfato de alumínio tornou a remoção das substâncias suspensas na água mais fáceis de serem removidas na filtração e conseqüentemente otimizou as etapas posteriores, como é o caso da

desinfecção que trouxe como resultado um aumento do teor do cloro na água em torno de 25% referente ao residual de cloro sem utilização do sulfato de alumínio.

Portanto, verificou-se que o uso do sulfato de alumínio pode ser continuado nesse sistema, visto que garante a eficiência do tratamento, pois a dosagem ideal empregada consegue remover as partículas suspensas e coloidais, assim como comparado a outros produtos químicos, este é de fácil acesso no mercado e relativamente barato, além da aplicação simplificada na água, podendo ser diluído em água antes ou aplicado diretamente no ponto de captação. Vale salientar que é um produto seguro no tratamento de água por não ser tóxico, considerado estável com pouca ou nenhuma formação de subprodutos prejudiciais à saúde humana e não contribui para a dureza da água.

Pode-se concluir que a adição de sulfato de alumínio é uma alternativa eficaz e viável para a otimização do processo de tratamento de água em estações de tratamento de água desse modelo e com as características dessa água captada.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

Em função da indisponibilidade de algumas informações e de tempo para concluir a dissertação, recomenda-se para trabalhos futuros estudar a viabilidade econômica, realizando a análise da redução de custos que a CASAL tem ao utilizar o sulfato de alumínio no processo de tratamento de água.

REFERÊNCIAS

- ANA. **A Questão da Água no Nordeste**. Brasília, DF: CGEE, 2012. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/669/4/A%20quest%C3%A3o%20da%20%C3%A1gua%20no%20Nordeste.pdf>. Brasília, 2012. Acesso em 30 de mar. de 2023.
- ASSIS, Lorena Mariane de. **Potabilidade da água de abastecimento público de Formiga – MG**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil. UNIFOR – MG. Formiga, 2018, p. 23. Acesso em 08 de mai. de 2023.
- BRASIL, 1997. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989**.
- BRASIL, 2005. Decreto Nº 5.440/2005, de 4 de maio de 2005. **Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano**. PLANALTO, 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5440.htm. Acesso em 06 de abr. de 2023.
- BRASIL, 2014. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA. p. 53-132.
- BRASIL, 2017. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Declaração Universal dos Direitos da Água. Porto Seguro: MMA/SRH, 2000 (Histoire de L'eau, George Ifrah, Paris, 1992).
- CASTRO, Carlos Ferreira de Abreu; SCARIOT, Aldicir. **Escassez de água cria nova injustiça: a exclusão hídrica**. 2008. p.1.
- CBHSF. **A bacia**. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acesso em 04 de abr. de 2023.
- CIRNE. José Raniery Rodrigues, *et al.* **Tecnologia de dupla filtração para o tratamento de água eutrofizada: Revisão**. Editora Realize. CONAPESC, 2019. p. 6-7.
- CHINVELSKI, Felipe Tiago Wisniewski. **Avaliação do processo de coagulação/floculação para tratamento de água potável de manancial superficial**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade Federal da Fronteira Sul – Cerro Largo, 2018. p. 18.
- CLEASBY, J. L.; LOGSDON, G. S. **Granular bed and precoat filtration**. In: AWWA (Ed.). Water quality & treatment. A handbook of community water supplies. 5 ed. New York: McGraw-Hill, 1999.
- DHF Consultoria e Engenharia. **Produto 3 – Projeto básico do sistema de abastecimento de água do distrito do Piau e comunidades circunvizinhas**. Volume 1. Maceió, 2019. p 72-96.
- DI BERNARDO, L. *et al.* **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**.

PROSAB. São Carlos: Rima, 2003, p. 6-14.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Rima, 2005.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2021**: Ano base 2020 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2021. p.16.

ETCHEPARE, Ramiro, G. **Material de apoio de aula – Filtração**. Disponível em: https://ufprvirtual.ufpr.br/pluginfile.php/552271/mod_resource/content/1/Aula%20de%20Filtracao%20A7%20C3%A3o.pdf. Acesso em 23 de abril de 2023.

GASOLA, D. L., MARQUEZI, S. L., AZZOLINI, J. C. **Comparação entre o uso do sulfato de alumínio e do hidroxiclreto de alumínio no tratamento de água para geração de vapor**. Unoesc & Ciência - ACET Joaçaba, v. 6, n. 1, p. 7-18, jan./jun. 2015, p. 18.

GROTT. Suelen Cristina *et al.* **Deteção de cistos de Giardia spp. e oocistos de Cryptosporidium spp. na água bruta das estações de tratamento no município de Blumenau, SC, Brasil**. 2016. DOI <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1853>. p. (690-692). Acesso em 30 de mar. de 2023.

IBGE. Abastecimento de água e esgotamento sanitário. **Atlas do Saneamento**. Coordenação de Geografia e Coordenação de Recursos Naturais e Meio Ambiente. - 3. ed. - Rio de Janeiro, 2021, p. 91-92.

KAWAMURA, S. (1991) *Integrated Design of Water Treatment Facilities*, John Wyley, 658p.

KNEVITZ, Luciano Acunha. **Avaliação da eficiência de remoção de turbidez de um sistema de clarificação**. Trabalho de diplomação em engenharia química, 30 p. UFRGS. Porto Alegre, 2017. p. 5. Acesso em 07 de mai. de 2023.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Campinas: Átomo, 2010.

LOPES, Hitalo Tobias Lobo, HUGO; Leitão de Azevedo, SANTOS; Mateus Lima dos. **Funcionamento e operação da ETA DIMIC e seus impactos na geração de resíduos**, 2017, 71 p. Monografia (Graduação em engenharia ambiental e sanitária) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2017. Acesso em 03 de mai. de 2023.

MARQUES. Rodrigo de Oliveira. **Cinética de floculação de água bruta com baixa turbidez utilizando sais de alumínio e ferro como coagulante**. 2016. Dissertação de mestrado - Universidade de São Paulo. p. (30-36). Acesso em 30 de mar. de 2023.

MEDEIROS, Patrícia. **Avaliação do agente coagulante na remoção de cor e turbidez da água bruta na ETA morro dos quadros, Palhoça, SC**. UNISUL. Palhoça, 2015. p.43.

MELO, Livia Duarte Ventura. **Avaliação estatística de desempenho de estações de tratamento de água, em função da tecnologia, do porte e do tipo de manancial**. 2019. Universidade Federal de Minas Gerais. Acesso em 30 de mar. de 2023. (p.10-11).

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**. *Sau de.gov.br*. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt088_8_07_05_2021.html. Acesso em: 6 mai. 2023.

OLIVEIRA, Louyse Dayane Silva de. **Desempenho de sistema de dupla filtração para clarificação de água**. 2019. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Acesso em 30 de mar. de 2023. (p.7-10).

PNRH. Plano Nacional de Recursos Hídricos. **Plano de Ação: Estratégia para a implementação do PNRH 2022-2040**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/plano-nacional-de-recursos-hidricos-1>. Acesso em: 6 mai. 2023.

ROCHA. Paulo Sérgio Gonçalves. **Análise da influência da turbidez em resultados de amostra de água subterrânea**. CETESB. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2020/11/Paulo-Sergio-Goncalves-Rocha-TCC-T2.pdf>. Acesso em 30 de mar. de 2023.

SABOGAL. PAZ, L. P. (2007). **Modelo Conceitual de seleção de tecnologias de tratamento de água para abastecimento de comunidades de pequeno porte**. 364p. [Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo. São Carlos], p. (20-30).

SANTOS LEMOS, K.; QUINTINO DE AGUIAR FILHO, S.; CAVALLINI, G. S. **Avaliação comparativa entre os coagulantes sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo de viabilidade econômica**. *DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, [S. l.]*, v. 7, n. 1, p. 117–118, 2020. DOI: 10.20873/uftv7-7824. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/7824>. Acesso em: 10 maio. 2023.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Ministério do Desenvolvimento Regional Secretaria Nacional de Saneamento -SNS Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 2 mai. 2023.

SOARES, Ana Luísa Tavares. **Avaliação da viabilidade técnica de utilização de Policloreto de Alumínio em comparação ao Sulfato de Alumínio em uma ETA no Rio Grande do Sul**. UFRGS. Porto Alegre – RS, 2020. Acesso em 20 mar. 2023. p. 1.

SOUZA, Warterler Alves de. **Tratamento de água**. 1. Ed. Natal-RN: CEFET, 2007.

PIEREZAN, Marcel Lanteri. **Monitoramento contínuo do residual do cloro em sistemas de distribuição de água para abastecimento**. 2009. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande. Acesso em 30 de mar. de 2023. p.1.

SUAVE, Eliã Asafe Mello. **Características de agregados resultantes de floculação com tanino comercial em água sintética com cor aparente elevada**. 2021. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.473>. p. (6-15)

VERGÍNIA. Fernanda Devaliere. **Monitoramento da estação de tratamento de água do município de Ibituba-SC**. 2017. Trabalho de conclusão de curso. Universidade do Sul de

Santa Catarina. Acesso em 30 de mar. de 2023.

ZANCHETTA, Thiago Carvalho *et al.* **Estações de Tratamento de Água: Indicadores de Sustentabilidade.** 2021. XVII Fórum Ambiental. PUC, Campinas, São Paulo. Acesso em 30 de mar. de 2023. (p. 232-234)

ANEXOS

ANEXO A – Laudo de análise da qualidade da água.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS					
Rua Ver. José Raimundo dos Santos, S/N - Benedito Bentes - CEP: 57084-440 - Fones: 3315-4330/4331					
GERÊNCIA DE CONTROLE DA QUALIDADE DO PRODUTO				GEQPRO	
SUPERVISÃO DE LABORATÓRIO DE ÁGUA				SUPLAG	
LAUDO DE ANÁLISE DE ÁGUA			Amostra Físico-química Nº:	599/2022	
			Amostra Bacteriológica Nº:	NR	
INTERESSADO:	COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS - CASAL				
Endereço do Interessado:	Rua Barão de Atalaia, 200 - Poço - Maceió - AL				
BAIRRO/CIDADE	Inhapi/AL				
LOCAL DA COLETA: água bruta					
Data da Coleta: 20/06/2022			Entrada no Laboratório: 21/06/2022		
Coletor: João Paulo					
Análise:		FÍSICO-QUÍMICAS			
Nº	Parâmetros:	Método:	VMP/VR/UN ¹ :	Resultado:	Conclusão:
1	pH	Potenciometria	6,0 a 9,0	7,74	Satisfatório
2	Cor Verdadeira	Colorimetria	75 UC	24,0	Satisfatório
3	Turbidez	Turbidimetria	100 NTU	2,01	Satisfatório
4	Condutância Específica	Conduvimetria	µhms/cm	120,0	Sem Referência
5	Acidez	Titulometria	mg/L CaCO ₃	6,0	Sem Referência
6	Alcalinidade OH ⁻	Titulometria	mg/L CaCO ₃	0,0	Sem Referência
7	Alcalinidade CO ₃ ²⁻	Titulometria	mg/L CaCO ₃	0,0	Sem Referência
8	Alcalinidade HCO ₃ ⁻	Titulometria	mg/L CaCO ₃	44,0	Sem Referência
9	Dureza Total	Titulometria	500mg/L CaCO ₃	40,0	Satisfatório
10	Dureza (carbonatos)	Titulometria	mg/L CaCO ₃	40,0	Sem Referência
11	Dureza (n/carbonatos)	Titulometria	mg/L CaCO ₃	0,0	Sem Referência
12	Cálcio	Titulometria	mg/L CaCO ₃	30,0	Sem Referência
13	Magnésio	Titulometria	mg/L CaCO ₃	10,0	Sem Referência
14	Cloretos	Titulometria	250mg/L Cl ⁻	18,0	Satisfatório
15	Sílica	Cromatografia de Íons/ Espectrofotometria	mg/L SiO ₂	8,5	Sem Referência
16	Sulfato	Cromatografia de Íons/ Espectrofotometria	250mg/L SO ₄ ²⁻	2,7	Satisfatório
17	Amônia	Cromatografia de Íons/ Espectrofotometria	mg/L NH ₃	0,08	Sem Referência
18	Nitrato	Cromatografia de Íons/ Espectrofotometria	10 mg/L N	0,00	Satisfatório
19	Nitrito	Cromatografia de Íons/ Espectrofotometria	1 mg/L N	0,01	Satisfatório
20	Ferro Total	Cromatografia de Íons/ Espectrofotometria	0,3 mg/L Fe	0,0	Satisfatório
21	Sódio	Cromatografia de Íons/ Espectrofotometria	mg/L Na ⁺	7,0	Sem Referência
22	Potássio	Cromatografia de Íons/Fotometria de Chama	mg/L K ⁺	4,0	Sem Referência
23	Sólidos Totais	Evaporação-Pesagem	500mg/L	118,0	Satisfatório
Análise:		MICROBIOLÓGICA			
Nº	Parâmetros				
24	Coliformes Totais	Tubos Múltiplos/Substrato Enzimático	-	NR	Sem Referência
25	Escherichia coli	Tubos Múltiplos/Substrato Enzimático	1000NMP/100ml	NR	Sem Dados
Referência Normativa:	Resolução CONAMA 357/05, águas doces classe 2.				
CONCLUSÃO:	A amostra está em conformidade com a Resolução para os parâmetros analisados.				
NOTAS:	1 - VMP: Valor Máximo Permitido; VR: Valor de Referência; UN: Unidade				
	3 - São de responsabilidade do requerente o plano amostral, os dados da coleta, e a coleta.				
	4 - Este laudo não pode ser utilizado em publicidade, propaganda ou fins comerciais				
	5 - NR: Não Realizado				
Chefia (GEQPRO):		Chefia (SUPLAG):		DATA:	
 Alfredo Brecho Monteiro Eng ^o Químico CRO 17.3.001.73 CREA 0213041022 ¹ GEQPRO/SI.11 ¹		 Cida Iayane de Azevedo CRQ: 17.4.007.55 Téc. Industrial Química SUPLAG/GEQPRO		23/06/2022	