



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE – *CAMPUS* FORTALEZA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

YURI PEREIRA BARBOSA

AVALIAÇÃO DA DUPLA FILTRAÇÃO EM LEITOS FILTRANTES DE AREIA E
ANTRACITO SEGUIDO DE CLORAÇÃO NA FORMAÇÃO DE
TRIHALOMETANOS EM ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO

FORTALEZA

2023

YURI PEREIRA BARBOSA

**AVALIAÇÃO DA DUPLA FILTRAÇÃO EM LEITOS FILTRANTES DE AREIA E
ANTRACITO SEGUIDO DE CLORAÇÃO NA FORMAÇÃO DE
TRIHALOMETANOS EM ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) Campus Fortaleza, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental. Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Francisco Maurício de Sá Barreto

Coorientador: Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo

FORTALEZA

2023



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
Av. 13 de maio, 2081 , - Bairro Benfica - CEP 60040-531 - Fortaleza - CE - www.ifce.edu.br

AVALIAÇÃO

Processo: 23256.005289/2023-51

Interessado: Yuri Pereira Barbosa

FOLHA DE APROVAÇÃO

YURI PEREIRA BARBOSA

“AVALIAÇÃO DA DUPLA FILTRAÇÃO EM LEITOS FILTRANTES DE AREIA E ANTRACITO SEGUIDO DE CLORAÇÃO NA FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS EM ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO”

*Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) - Campus Fortaleza, como requisito parcial para obtenção do
Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.
Área de concentração: Gestão e Saneamento Ambiental.*

Aprovada em: 03/05/2023

Prof. Dr. Francisco Maurício de Sá Barreto (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo (Coorientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Profa. Dra. Waleska Eloi Martins

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Documento assinado eletronicamente por **Waleska Martins Eloi, Professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 11/05/2023, às 16:13, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Mauricio de Sa Barreto, Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 11/05/2023, às 16:16, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANA BARBARA DE ARAÚJO NUNES, Usuário Externo**, em 12/05/2023, às 08:09, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rinaldo dos Santos Araujo, Diretor(a) de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação**, em 17/05/2023, às 16:56, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ifce.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **4844880** e o código CRC **6A524B1C**.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela possibilidade de existir.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, por me proporcionar um ensino público e de qualidade durante a pós-graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Maurício de Sá Barreto, por todo o acompanhamento e ensinamentos durante a pós-graduação.

Ao coorientador Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo, pela orientação durante a finalização desta dissertação.

À Profa. Dra. Waleska, pelo acompanhamento durante a escrita desta pesquisa.

À Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes, por aceitar compor a banca examinadora.

Ao engenheiro Mércio Pinheiro, por todo suporte e ensinamentos me dado enquanto estava realizando os testes na ETA piloto da CAGECE.

Aos técnicos de laboratório da ETA Gavião: Aldo Pereira, Amanda Gondim e Daniel Rodrigues por todo auxílio durante os testes necessários para esta pesquisa.

A todos os funcionários administrativos da ETA Gavião, por sempre me receberem tão bem, e em especial ao Erick Lima, por me acompanhar durante a operacionalização da ETA piloto.

À química Germana de Paiva Pessoa e a técnica de laboratório Andressa Yane Soares Alves, ambas da GECCOQ, por realizarem as análises cromatográficas de trihalometanos.

À minha família, por acreditarem em mim e sempre me instigarem a estudar.

“Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda.”

(Paulo Freire).

RESUMO

As Estações de tratamento de água (ETA) são idealizadas considerando a qualidade da água do manancial, a qual irá indicar a melhor tecnologia a ser utilizada para o tratamento visando a potabilidade da água. Em Fortaleza, Ceará, a ETA Gavião é a principal abastecedora da capital e região metropolitana e utiliza a tecnologia de tratamento filtração direta descendente, que apresenta limitações. Nesse contexto, a presente pesquisa objetivou avaliar o efeito da dupla filtração em diferentes leitos filtrantes e sob diferentes dosagens de cloro na formação de trihalometanos em água para abastecimento humano. A pesquisa foi realizada em duas carreiras de filtração, sendo a primeira realizada entre outubro e novembro de 2022 (estação seca) e a segunda carreira entre fevereiro e março de 2023 (estação chuvosa). A primeira carreira de filtração foi realizada com filtro ascendente de areia e outro descendente de areia; já a segunda carreira de filtração foi executada em filtro ascendente de areia e outro descendente de areia e antracito. As águas brutas e filtradas foram caracterizadas quanto aos parâmetros de: cor aparente, carbono orgânico total, pH, temperatura e turbidez. As águas brutas antes do tratamento na instalação piloto de dupla filtração eram adicionadas de coagulante, polímero catiônico e dióxido de cloro como pré-oxidante. As águas tratadas por dupla filtração nos diferentes meios filtrantes foram em sequência desinfetadas por cloração usando três concentrações distintas de cloro (5; 7,5 e 10 mg/L) em um tempo de contato de duas horas. A formação de trihalometanos após cloração foi determinada por cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons. Os resultados mostraram que a dupla filtração em ambos os leitos filtrantes foi capaz de manter a qualidade da água dentro dos padrões aceitáveis pela legislação brasileira. Em geral, para todos os parâmetros analisados e concentrações de trihalometanos, os menores valores foram encontrados após filtração no leito de areia e antracito durante o período chuvoso na área em estudo.

Palavras-chave: Subprodutos de desinfecção. Água potável. Matéria orgânica. Dupla Filtração.

ABSTRACT

The Water Treatment Stations (ETA) are designed considering the quality of the water from the source, which will indicate the best technology to be used for the treatment aiming at the potability of the water. In Fortaleza, Ceará, ETA Gavião is the main supplier of the capital and metropolitan region and uses the direct descending filtration treatment technology, which has limitations. In this context, the present research aimed to evaluate the effect of double filtration in different filter beds and under different chlorine dosages in the formation of total trihalomethanes in water for human consumption. The survey was carried out in two filtration careers, the first being carried out between October and November 2022 (dry season) and the second career between February and March 2023 (rainy season). The first filtration career was carried out with an ascending sand filter and a descending sand filter; the second filtration career was carried out in an ascending filter of sand and a descending one of sand and anthracite. The raw and filtered water were characterized according to the parameters of: apparent color, total organic carbon, pH, temperature and turbidity. Raw water before treatment in the double filtration pilot plant was added with coagulant, cationic polymer and chlorine dioxide as a pre-oxidant. The waters treated by double filtration in the different filter media were disinfected by chlorination in sequence using three different concentrations of chlorine (5; 7.5 and 10 mg/L) in a contact time of two hours. The formation of trihalomethanes after chlorination was determined by gas chromatography with an electron capture detector. The results showed that the double filtration in both filtering beds was able to maintain the water quality within acceptable standards by Brazilian legislation. In general, for all analyzed parameters and total trihalomethane concentrations, the lowest values were found after filtration in the sand and anthracite bed during the rainy season in the study area.

Keywords: Disinfection by-products (DBPs). Potable water. Organic matter. Double filtration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	— Fluxograma típico da tecnologia de tratamento convencional.....	20
Figura 2	— Fluxograma típico da tecnologia de filtração direta.....	21
Figura 3	— Representação da filtração direta ascendente.....	22
Figura 4	— Representação da filtração direta descendente.....	23
Figura 5	— Representação da dupla filtração.....	24
Figura 6	— Fórmulas estruturais dos principais THMs.....	29
Figura 7	— Vista aérea da ETA em estudo no município de Pacatuba, Ceará.....	33
Figura 8	— ETA piloto utilizada na pesquisa com seus diferentes tipos de filtros.....	33
Figura 9	— ETA piloto utilizada na pesquisa com seus diferentes tipos de filtros.....	37
Figura 10	— Fluxograma da segunda etapa da pesquisa.....	38
Figura 11	— Comparação entre os valores médios dos parâmetros físico-químicos analisado para as águas brutas (AB1 e AB2) e tratadas por dupla filtração (AF1 e AF2)	54
Figura 12	— Comparação entre os valores médios de TTHM formados nas águas tratadas por dupla filtração e desinfecção com cloro.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Vantagens e desvantagens encontradas nas tecnologias de ciclo completo e filtração direta para tratamento de água.....	21
Quadro 2 — Principais agentes oxidantes utilizados no processo de oxidação e desinfecção e seus respectivos subprodutos formados ao reagirem com a matéria orgânica (MO).....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	—	Parâmetros analíticos da água a serem determinados nas etapas da pesquisa.....	34
Tabela 2	—	Características das substâncias adicionadas à água bruta para seu tratamento...	36
Tabela 3	—	Características físicas dos filtros pilotos utilizados na pesquisa.....	37
Tabela 4	—	Caracterização da água bruta usada na carreira de filtração 1.....	40
Tabela 5	—	Diferença mínima significativa encontrada para a comparação entre as médias da cor aparente da água bruta da carreira de filtração 1.....	42
Tabela 6	—	Diferença mínima significativa encontrada para a comparação entre as médias de pH da água bruta da carreira de filtração 1.....	43
Tabela 7	—	Diferença mínima significativa encontrada para a comparação entre as médias da temperatura da água bruta da carreira de filtração 1.....	44
Tabela 8	—	Diferença mínima significativa encontrada para a comparação entre as médias da turbidez da água bruta da carreira de filtração 1.....	46
Tabela 9	—	Caracterização da água filtrada após dupla filtração em filtro ascendente de areia (FAA) e filtro descendente de areia (FDA) na carreira de filtração 1.....	47
Tabela 10	—	Média dos parâmetros para caracterização da água após dupla filtração em filtro ascendente de areia (FAA) e filtro descendente de areia (FDA) da carreira de filtração 1.....	48
Tabela 11	—	Caraterização da água bruta da carreira de filtração 2.....	50
Tabela 12	—	Caracterização da água filtrada após dupla filtração em filtro ascendente de areia (FAA) e filtro descendente de areia e antracito (FDAAT) na carreira de filtração 2.....	51
Tabela 13	—	Média dos parâmetros para caracterização da água após dupla filtração em filtro ascendente de areia (FAA) e filtro descendente de antracito e areia (FDAAT) da carreira de filtração 2.....	52
Tabela 14	—	Diferença mínima significativa para os parâmetros AF1 e AF2 após tratamento das águas brutas da ETA usando diferentes sistemas de dupla filtração.....	55
Tabela 15	—	TTHM (mg/L) formados na água desinfetada da carreira de filtração 1 (AT1).....	57
Tabela 16	—	TTHM (mg/L) formados na água desinfetada da carreira de filtração 2 (AT2).....	58

Tabela 17 — Diferença mínima significativa entre os valores de TTHM para os tratamentos das águas brutas usadas nesta pesquisa.....	60
Tabela 18 — Concentração média THMs nas diferentes águas tratadas (AT) por dupla filtração e cloração.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB1	Água bruta usada na carreira de filtração 1
AB2	Água bruta usada na carreira de filtração 2
AF1	Água filtrada da carreira de filtração 1
AF2	Água filtrada da carreira de filtração 2
ANOVA	Análise de variância
AT1	Águas desinfetadas com cloro na carreira de filtração 1
AT2	Águas desinfetadas com cloro na carreira de filtração 2
CAG	Carvão ativado granular
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
COT	Carbono orgânico total
DF	Dupla filtração
DMS	Diferença mínima significativa
DQO	Demanda química de oxigênio
ETA	Estação de tratamento de água
FAA	Filtro ascendente de areia
FDA	Filtração direta ascendente
FDAAT	Filtro descendente de areia e antracito
FDD	Filtração direta descendente
MO	Matéria orgânica
PAC	Policloreto de alumínio
pH	Potencial hidrogeniônico
SHs	Substâncias húmicas
SPDF	Sistema piloto de dupla filtração
SPDs	Subprodutos da desinfecção
THMs	Trihalometanos
TTHM	Trihalometanos totais
uH	Unidade Hazen
uT	Unidade de turbidez
VMP	Valor máximo permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.1	Objetivos específicos.....	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1	Água: importância e tecnologias de tratamento.....	19
3.2	Filtração direta.....	21
3.2.1	<i>Filtração direta ascendente.....</i>	21
3.2.2	<i>Filtração direta descendente.....</i>	22
3.2.3	<i>Dupla filtração.....</i>	23
3.3	Eutrofização de águas.....	25
3.4	Matéria orgânica natural e a formação de subprodutos de desinfecção.....	26
3.5	Trihalometanos: formação, riscos e remoção.....	28
4	METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	31
4.1	Descrição do local de estudo.....	31
4.2	Descrição da ETA piloto.....	32
4.3	Primeira etapa: caracterização da água bruta da ETA.....	33
4.3.1	<i>Cor aparente.....</i>	33
4.3.2	<i>Carbono orgânico total.....</i>	34
4.3.3	<i>pH e temperatura.....</i>	34
4.3.4	<i>Turbidez.....</i>	34
4.4	Segunda etapa: tratamento da água bruta da ETA.....	34
4.5	Terceira etapa: aplicação de cloro nas águas tratadas no sistema de dupla filtração.....	37

4.6	Quarta etapa: avaliação dos trihalometanos formados após desinfecção.....	38
4.7	Tratamento estatístico dos dados.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1	Caracterização da água bruta (carreira de filtração 1).....	39
5.1.1	<i>Cor aparente da água bruta.....</i>	39
5.1.2	<i>Carbono orgânico total (COT) da água bruta.....</i>	41
5.1.3	<i>pH da água bruta.....</i>	42
5.1.4	<i>Temperatura da água bruta.....</i>	43
5.1.5	<i>Turbidez da água bruta.....</i>	44
5.2	Caracterização da água tratada por dupla filtração (sistema FAA + FDA).....	46
5.3	Caracterização da água bruta (carreira de filtração 2).....	48
5.4	Caracterização da água tratada por dupla filtração (sistema FAA + FDAAT).....	50
5.5	Avaliação da formação de trihalometanos.....	56
6	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida e por isso deve ser fornecida com boa qualidade, livre de patógenos e substâncias tóxicas, conforme previsto em legislações específicas para o abastecimento da população (SHIKLOMANOV, 2000). O alcance de padrões adequados conforme a legislação torna necessário a utilização de tecnologias de tratamento de água, as quais são utilizadas nas estações de tratamento de água (ETA) (MEDEIROS *et al.*, 2020).

Inúmeras são as tecnologias de tratamento de água presentes no Brasil, as quais se destacam o tratamento convencional e a filtração direta (GONDIM, 2018). No tratamento convencional a água bruta captada passa por diversos processos até chegar na etapa da desinfecção; já na filtração direta, não existe a etapa da sedimentação, onde a água coagulada passa direto para os filtros (DI BERNARDO, 2003).

A filtração direta pode ser realizada de três maneiras, são elas: ascendente (FDA), descendente (FDD) e dupla filtração (DF) (PESTANA *et al.*, 2019). Na FDA, a água passa pelo filtro indo de baixo para cima, no sentido ascendente; na FDD, a água passa pelo filtro de cima para baixo, no fluxo descendente; já na DF, existe a união da FDA e FDD, onde a água passa primeiro pelo filtro ascendente e posteriormente no filtro descendente (DI BERNARDO, 2003). Destaca-se que, das três filtrações diretas, a DF é a que possui maior eficiência para remover sólidos, algas e substâncias precursoras da oxidação da matéria orgânica (AL-GHOUTI *et al.*, 2019).

Na ETA Gavião, principal estação responsável pelo abastecimento do município de Fortaleza e sua região metropolitana, a tecnologia de tratamento utilizada é a FDD devido às características da água presente no açude abastecedor, onde é captada a água bruta. No entanto, devido as alterações ambientais no local, estudos vêm sendo realizados para modificar o tipo de tratamento. De acordo com levantamento realizado pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará – COGERH, o estágio atual referente à qualidade da água do açude Gavião não é adequado, uma vez que a água bruta utilizada pela ETA se encontra eutrofizada, apresentando grande quantidade de matéria orgânica natural (MON) e nutrientes (CEARÁ, 2023).

A MON, representada principalmente por ácidos húmicos e fúlvicos, é precursora na formação de subprodutos da desinfecção (SPDs). Dentre os SPDs formados, tem-se os trihalometanos (THMs), subprodutos com capacidade de gerar câncer nos seres humanos, que são formados a partir da reação entre a MON com o cloro (Cl_2) que é adicionado durante o

processo de desinfecção no tratamento da água. Apesar disso, o Cl_2 é o agente desinfetante mais utilizado no mundo devido sua eficácia em controlar microrganismos patogênicos e ser mais econômico (PINTO; BALTAZAR, 2020).

Diante da problemática apresentada, é imprescindível que a MON seja removida para que haja a atenuação da formação de THMs presentes no recurso a ser distribuído à população. Na ETA em estudo é utilizada a pré-oxidação, que consiste em aplicar dióxido de cloro (ClO_2) na água após a adição do coagulante. Contudo, o ClO_2 não consegue remover toda a MON presente. Assim, ao chegar na etapa da desinfecção, a MON remanescente das etapas anteriores reage com o Cl_2 adicionado e forma os THMs (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUARTE, 2020).

Dessa maneira, devido às consequências relacionadas com a presença de THMs na água, a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021, determina que a concentração máxima desses compostos deve ser de 0,1 mg/L. Para fornecer água à população com níveis aceitos de THMs, pode ser realizado de três métodos distintos: utilizar desinfetantes sem cloro livre, remover a MON antes da desinfecção ou remover os THMs formados após a desinfecção (JIMÉNEZ-ANTILLÓN *et al.*, 2022). Dentre os apresentados, a remoção da MON é a mais viável, sendo que além da pré-oxidação, a filtração também é responsável por removê-la. A DF, por exemplo, é uma das maneiras de realizar a remoção da MON presente e de substâncias precursoras da formação de SPDs (AL-GHOUTI *et al.*, 2019).

O desejo de trabalhar com o tratamento de água envolvendo os THMs nesta pesquisa veio devido à uma visita à ETA Gavião, onde foi apresentado o tema e os desafios a serem alcançados com a mudança da tecnologia de tratamento atualmente utilizada na ETA. Nessa perspectiva, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito da dupla filtração em diferentes leitos filtrantes e sob diferentes dosagens de cloro na formação de trihalometanos em água para abastecimento humano.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da dupla filtração em diferentes leitos filtrantes e sob diferentes dosagens de cloro na formação de trihalometanos em água para abastecimento humano.

2.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar a água bruta da ETA Gavião quanto aos parâmetros de cor aparente, carbono orgânico total, pH, temperatura e turbidez;
- b) Tratar a água bruta da ETA em sistema piloto de dupla filtração usando filtros contendo areia como material filtrante e outro contendo areia e antracito (carvão);
- c) Avaliar qualidade da água tratada após passagem nos meios filtrantes selecionados,
- d) Investigar a formação de trihalometanos (THMs) após aplicação de diferentes dosagens de cloro na água tratada em sistema piloto de dupla filtração.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Água: importância e tecnologias de tratamento

A água forma 70% do Planeta e é um dos compostos mais abundantes (FREITAS, 2017; REBOUÇAS, 2002). Além disso, sabe-se que este recurso é indispensável não somente para a sobrevivência, mas também para o desenvolvimento da humanidade (SHIKLOMANOV, 2000).

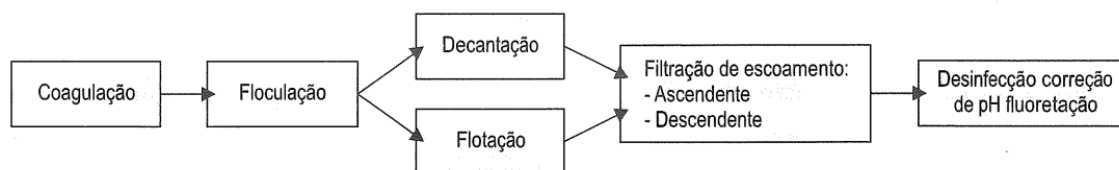
A maior parte da superfície terrestre é formada por água, seja doce ou salgada. No entanto, somente a doce é própria para consumo e corresponde a 1% do total de água no planeta (VICTORINO, 2007). Da água doce disponível no planeta, cerca de 29% é subterrânea e somente 0,26% é de fácil acesso, presente em lagos e reservatórios (SHIKLOMANOV, 2000). Contudo, a água que é consumível tem se tornado escassa; dentre os motivos, destacam-se as mudanças do clima, o aumento populacional do planeta e acelerado crescimento econômico (VÖRÖSMARTY *et al.*, 2000).

Em julho de 2010, a Organização das Nações Unidas (ONU) declarou em assembleia realizada que a água potável é um direito que deve ser assegurado para o desenvolvimento humano (POHLMANN *et al.*, 2015). A fim de oferecer água com qualidade, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) atuam no tratamento da água bruta visando torná-la própria para o consumo humano (MEDEIROS *et al.*, 2020; LIBÂNIO, 2010). No Brasil, as ETAs devem seguir um padrão de potabilidade que se encontra na Portaria GM_MS nº 888, de 04 de maio de 2021, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

De acordo com Di Bernardo (2003), o tratamento de água de abastecimento pode ser definido como o conjunto de etapas que buscam adequar a água bruta captada quanto aos padrões físico-químicos e biológicos, a fim de fornecer o efluente sem riscos à saúde humana. Libânio (2010) complementa que no tratamento de água de abastecimento o objetivo é remover partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias possivelmente prejudiciais à saúde humana.

De acordo com a disposição e quantidade de etapas, o tratamento de água pode ser dividido em convencional/ciclo completo ou não-convencional. No tratamento convencional, existe os processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, além de poder ser acrescentadas outras etapas (Figura 1); já no tratamento não-convencional, os processos citados anteriormente não estão presentes em sua totalidade (BRASIL, 2017).

Figura 1 — Fluxograma típico da tecnologia de tratamento convencional



Fonte: Libânio (2010).

Muitas são as tecnologias de tratamento da água, sendo a qualidade da água bruta o principal fator que vai definir qual será utilizada, além da qualidade desejada para o efluente (SAMPAIO, 2014; DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

No Brasil, as principais tecnologias presentes nas ETAs são o tratamento convencional e a filtração direta, uma vez que se apresentam como formas mais econômicas devido à qualidade das águas brasileiras (GONDIM, 2018). O Quadro 1 apresenta, portanto, as vantagens e desvantagens relacionadas a essas tecnologias.

Quadro 1 — Vantagens e desvantagens encontradas nas tecnologias de ciclo completo e filtração direta para tratamento de água

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Ciclo completo	• Aplicável em ampla faixa de qualidade de água bruta; • Flexibilidade; • Confiabilidade; • Facilidade operacional	• Elevado custo de implantação; • Maior consumo de coagulante; • Maior produção de lodo.
Filtração Direta	• Economia de 20% no custo de implantação; • 70% de redução no consumo de coagulante; • 70% de redução na produção de lodo.	• Aplicação limitada; • Menor carreira de filtração; • Suscetível a mudanças bruscas de qualidade do efluente; • Menor flexibilidade; • Pequena faixa de dosagem de coagulante.

Fonte: Barbalho (2020).

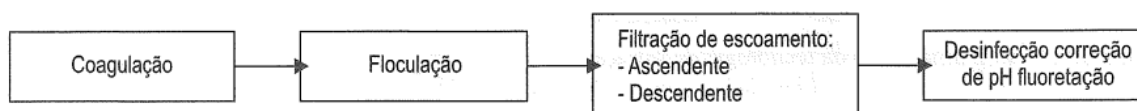
3.2 Filtração Direta

A filtração é uma das etapas do tratamento da água, e consiste em passar a água em material poroso visando remover partículas e microrganismos ali presentes (KOUL *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2018). Muitos materiais podem ser utilizados como meio filtrante, sendo a areia, brita e o carvão ativado os que mais se destacam (AL-GHOUTI *et al.*, 2019). Nas ETAs, a filtração é a principal responsável por remover partículas que influenciam na cor e turbidez, clarificando a água (LIBÂNIO, 2010).

Entre as diversas tecnologias de tratamento de água, tem-se a filtração direta que, diferente do tratamento convencional, não possui a etapa de decantação ou flotação, indo à água da etapa de coagulação direto para o meio filtrante, podendo ou não existir a floculação (DANTAS; VOLTAN, 2017). Conforme o fluxo da água e a disposição dos materiais no leito filtrante, existem três formas de filtração direta: ascendente, descendente e dupla filtração (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020).

O surgimento da filtração direta se deu principalmente pela ineficácia do tratamento convencional em não conseguir tratar de maneira eficiente águas com turbidez e cor verdadeira baixas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020). A Figura 2 demonstra um fluxograma com as etapas da filtração direta (LIBÂNIO, 2010).

Figura 2 – Fluxograma típico da tecnologia de filtração direta



Fonte: Libânio (2010).

3.2.1 Filtração direta ascendente

A filtração direta ascendente (FDA) é uma tecnologia bem utilizada para tratar água com baixa turbidez, cor e concentração de fitoplâncton (LIMA; CAPELO-NETO, 2015). De acordo com Di Bernardo (2003), a FDA se caracteriza por fazer com que a água siga de baixo para cima, em sentido ascendente (Figura 3).

Figura 3 — Representação da filtração direta ascendente



Fonte: Scalize e Bezerra (2020).

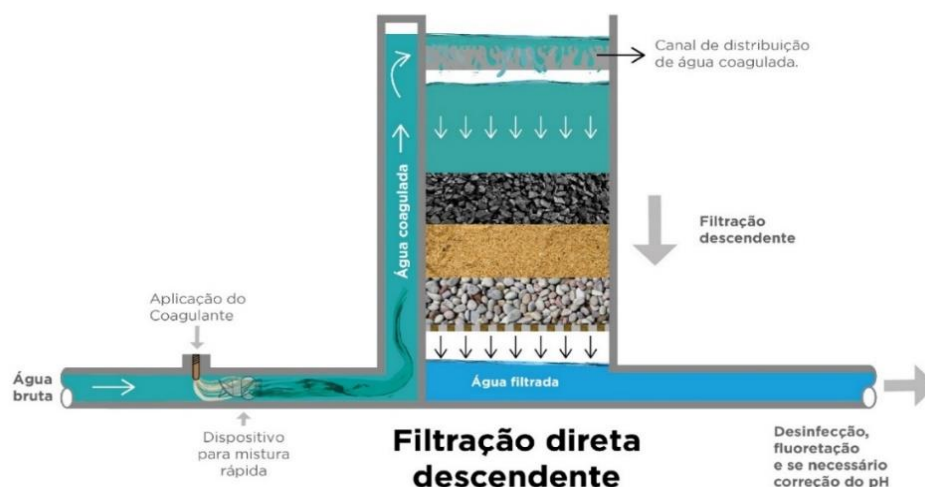
Nos filtros da FDA, a composição do leito filtrante é de areia, possuindo uma única camada, além da camada suporte. A principal vantagem relacionada a essa tecnologia de tratamento é que o custo é menor se comparado com outras tecnologias. No entanto, a caixa de filtração necessita de mais material pois existe um aumento da altura neste caso e, assim, necessita de maior carga de lavagem pois o leito filtrante é mais espesso (CAVALCANTE, 2020). Apesar de ser bastante utilizada, a FDA apresenta limitações com relação ao seu uso, sendo necessária lavagens rotineiras dos filtros, além de subprodutos da desinfecção terem maior facilidade de se formarem a partir desta tecnologia (LIMA; CAPELO-NETO, 2015).

3.2.2 Filtração direta descendente

Segundo Di Bernardo (2003), na filtração direta descendente (FDD), os grãos menores ficam no topo do filtro e a água segue deles para os grãos maiores (Figura 4). Os filtros descendentes podem ser simples ou de dupla camada, sendo que os de camada simples foram utilizados primeiro no Brasil (LIBÂNIO, 2010). No entanto, como não existe meio suporte anterior à filtração, algumas vezes são utilizados filtros de duas ou três camadas, a fim de otimizar a filtração e melhorar a qualidade da água (DI BERNARDO, 2003).

O leito filtrante dos filtros descendentes podem ser diversos, porém, a maioria é composta de antracito, areia e/ou granada, pois esses materiais conseguem reter maior quantidade de materiais suspensos. Além disso, a camada filtrante é estratificada, com os grãos maiores na parte de baixo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020).

Figura 4 — Representação da filtração direta descendente



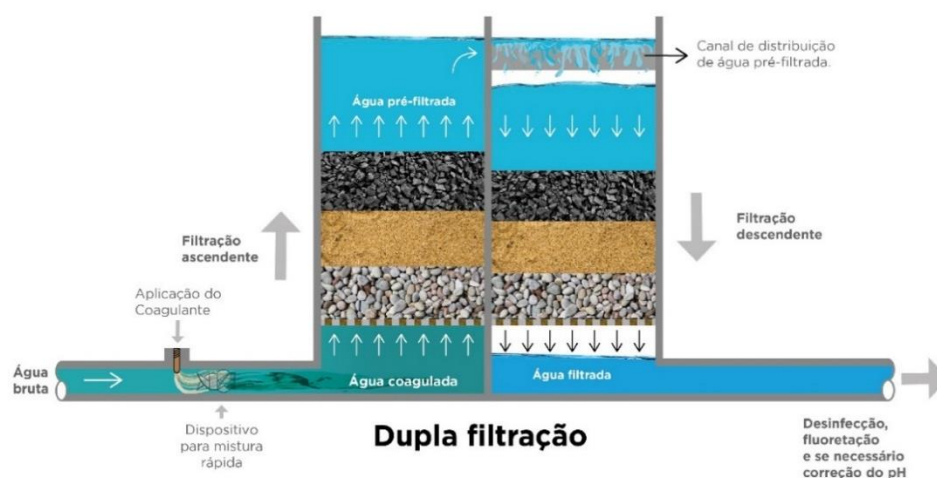
Fonte: Scalize e Bezerra (2020).

Conforme Richter (2009), a FDD é recomendada para mananciais com turbidez baixa. Portanto, este tipo de filtração é limitado, pois abrange uma faixa de atuação pequena. No entanto, de acordo com Lima (2019), a FDD apresenta como principais vantagens a segurança sanitária da água filtrada e maior taxa de filtração.

3.2.3 Dupla filtração

Com o objetivo de atenuar as desvantagens da FDA e FDD, a dupla filtração (DF) foi configurada como um tipo de filtração direta. Segundo Di Bernardo (2003) e Sabogal Paz (2007), a DF une dois tipos de filtração em um único sistema, onde a água passa primeiro pelo filtro ascendente e segue para o descendente (Figura 5).

Figura 5 — Representação da dupla filtração



Fonte: Scalize e Bezerra (2020).

Mesmo que apresente maiores custos para ser implantada e mantida, a DF é uma tecnologia mais eficiente que as anteriormente apresentadas, uma vez que tem maior capacidade de remover sólidos, algas e substâncias precursoras da oxidação da matéria orgânica presentes na água, além de ser possível utilizar taxas de filtração mais elevadas (CAVALCANTE, 2020; AL-GHOUTI *et al.*, 2019). A DF, devido suas características, é capaz de obter resultados mais satisfatórios quanto ao tratamento de águas com turbidez elevada, na ordem de 150 uT, bem como águas com 150 mg/L de sólidos suspensos e 100 uH de cor verdadeira (ALCANTARA, 2010).

Torres-Lozada *et al.* (2018) investigaram a DF com utilização de carvão ativado granular (CAG) e areia para remoção de matéria orgânica e turbidez. Segundo os autores a utilização do carvão como meio filtrante é uma alternativa viável e eficaz para o fornecimento de água potável, pois os resultados obtidos mostraram que o CAG foi capaz de remover maior quantidade de matéria orgânica dissolvida; enquanto o filtro composto de areia foi capaz de reduzir a turbidez com maior eficiência.

Lima e Capelo-Neto (2015) ao utilizarem dupla filtração modificada para realizar o tratamento de água eutrofizada observaram que a cor aparente reduziu em 50% se comparada com o valor inicial da água bruta. Além disso, os autores relatam uma redução de turbidez de 60%, demonstrando eficiência da DF quanto aos parâmetros analisados.

Machado e Sens (2012), ao realizarem tratamento da água de uma lagoa de Florianópolis-SC com DF obtiveram também resultados satisfatórios quanto à remoção de cor aparente, com cor aparente final na ordem de aproximadamente 5 uH.

Paula (2003), ao utilizar DF composta de filtro ascendente com areia grossa e descendente com areia fina obtiveram um efluente final com valores de turbidez menor que 1 uT, bem abaixo do valor permitido pela legislação brasileira, demonstrando então eficiência da tecnologia para o tratamento de água.

3.3 Eutrofização de águas

Dentre os principais problemas que impactam a qualidade dos corpos hídricos, tem-se o processo de eutrofização. A eutrofização é o fenômeno que ocorre quando a água recebe muitos nutrientes e consequentemente existe a reprodução exagerada de algas e plantas aquáticas (ARAÚJO; LIMA-NETO; BECKER, 2016) uma vez que está relacionada com o aumento da produtividade primária no ecossistema (MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2010).

De acordo com Araújo, Lima-Neto e Becker (2016), os principais nutrientes despejados nos corpos hídricos causadores desse processo são o nitrogênio (N) e o fósforo (P). Esses nutrientes, por sua vez, têm origem principalmente do descarte de esgotos domésticos e industriais (SILVA, 2022; BRASIL, 2014).

Conforme Heffer e Prud'Homme (2016), a quantidade de N aumentou em cerca de nove vezes desde 1970, pois a demanda da população por alimento requer maior uso de fertilizantes com este nutriente. Já em relação ao P, houve aumento a partir da década de 70, no entanto não chegou ser tão abrupto quanto a taxa de N (SUTTON *et al.*, 2013).

Dependendo da origem, a eutrofização pode ser natural ou artificial. Na eutrofização natural, os nutrientes chegam até a água por meio da chuva e águas superficiais; na eutrofização artificial, também podendo ser chamada de antrópica, o principal responsável pelo aumento de nutrientes em determinado corpo hídrico é o ser humano (AMARAL, 2020).

Silva (2022) relata que a eutrofização é um problema para o abastecimento de água potável, uma vez que a mesma é capaz de aumentar a quantidade de matéria orgânica presente no meio aquático, além de reduzir o oxigênio dissolvido na água e aumentar a turbidez.

Diante dessa problemática, no Estado do Ceará, a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) monitora 157 açudes e classifica-os quanto seus graus de trofia, que podem ser: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico ou hipereutrófico. Dentre os açudes avaliados em fevereiro de 2023, cerca de 66,9% se encontravam nos estados eutrófico e hipereutrófico, Em novembro de 2022, o açude Gavião encontrava-se no nível eutrófico, assim como em janeiro de 2023, com número alto de cianobactérias (CEARÁ, 2023), isto significa que existe

elevada concentração de matéria orgânica e nutrientes, sendo prejudicial quanto ao seu uso (LAMPARELLI, 2004).

Entre as técnicas utilizadas para o combate eutrofização, destaca-se o tratamento convencional da água seguida de adsorção em carvão ativado, conforme indicado por Guerra *et al.* (2015). Segundo estes autores, o tratamento convencional não é eficaz para remover cianobactérias e suas toxinas, sendo necessária adição de etapas posteriores, tal como a adsorção.

Abdala-Neto (2012) em estudos de tratamento de água eutrofizada investigou a substituição da pré-oxidação da água com cloro e dióxido de cloro por eletro-oxidação associada a fotocatalise heterogênea. Os resultados mostraram que houve maior remoção de demanda química de oxigênio (DQO) e clorofila-a quando utilizado o fotoreator, correspondente a eficiências médias de 65,5% e 98,97%, respectivamente.

Benetti *et al.* (2018) estudaram a dupla filtração para o tratamento de água eutrofizada na região Norte brasileira utilizando uma instalação piloto composta de unidades de pré-cloração e carvão ativado pulverizado como adsorvente do efluente filtrado. Os resultados mostraram que houve uma redução na quantidade de carbono orgânico total (COT) até um valor de 2,0 mg/L e uma remoção de cianobactérias maior que 99%.

3.4 Matéria orgânica natural e a formação de subprodutos de desinfecção

A matéria orgânica natural (MON) consiste na mistura de diversos compostos orgânicos denominados de substâncias húmicas (SHs) e não-húmicas (PFLEGER; CASSOL; MAFRA, 2017). A parte húmica é composta de ácidos húmicos e fúlvicos e apresentam elevada massa molecular, além de serem hidrofóbicas (MATILAINEN *et al.*, 2011); enquanto a parte não-húmica apresenta baixa massa molecular e é representada por carboidratos, proteínas e ácidos orgânicos (DHEIN; DICK; BENDER, 2020).

As SHs possuem maior relevância quanto aos processos de potabilização da água (PENG *et al.*, 2022). Essas substâncias são advindas da decomposição de plantas e animais e possuem composição diversificada (PRIMO; MENEZES; SILVA, 2011; TANGERINO; DI BERNARDO, 2005). De acordo com a solubilidade em ambiente aquoso, as SHs podem ser de três tipos: humina (insolúvel em todas as faixas de pH), ácidos húmicos (solúveis em pH alcalino) ou ácidos fúlvicos (solúveis em qualquer faixa de pH) (WNUK *et al.*, 2020; SANTOS; PAES, 2016; RAUEN *et al.*, 2002; ZECH *et al.*, 1997).

A presença de MON na água apresenta algumas problemáticas relacionadas, tais como: rejeição do efluente pois altera sua cor, odor e sabor; maior produção de lodo, pois necessita-se de dosagens altas de coagulantes e desinfetantes; aumento na quantidade de metais pesados na água; e maior probabilidade de formação de subprodutos da desinfecção (SPDs) (REIS-NETO *et al.*, 2020; JACANGELO *et al.*, 1995). Contextualmente, por esses motivos, para o fornecimento de um recurso potável, a MON deve ser removida, o que suscita um monitoramento contínuo dos parâmetros ambientais nos corpos hídricos (CORDEIRO; SILVA, 2018).

Muitas são as técnicas estudadas para remover a MON contida na água, sendo a coagulação, floculação, sedimentação e filtração as mais utilizadas. Apesar de necessária, a coagulação e floculação não são capazes de remover toda a MON, responsáveis somente por retirar a parte hidrofóbica presente no corpo d'água. Desta forma, torna-se imprescindível a realização de outros processos que removam a parte hidrofílica remanescente, por exemplo: filtração em areia (JACANGELO *et al.*, 1995).

Em concordância com o que foi dito, os autores van der Hoek, Hofman e Graveland (1999) analisaram a influência do carvão biológico ativado na remoção de MON e micropoluentes em uma ETA em Amsterdã e observaram uma eficaz remoção da MON, sem a necessidade de reativações do carbono, diminuindo assim os custos operacionais do tratamento. Segundo os autores, a filtração utilizando carvão biológico ativado também se mostrou eficiente como pré-tratamento para sistemas de osmose reversa.

Reis-Neto *et al.* (2020) avaliaram a utilização de carvão ativado pulverizado de origem vegetal como adsorvente para remoção de MON em uma ETA de ciclo completo. Analisando o tempo de contato, a dosagem e o tipo de carvão utilizado os autores observaram que dentre os materiais testados, o carvão de origem madeira foi mais eficiente, removendo até 91% da MON na dosagem 30 mg/L e tempo de contato de 25 minutos.

A presença de MON é um fator que potencializa a formação de substâncias secundárias que podem afetar a saúde dos consumidores (WUNSCH; CAPRIOTI; ANDREOLA, 2013), pois a água filtrada, ao passar pelo processo de desinfecção, promove a reação entre a MON remanescente e os agentes desinfetantes e forma os chamados subprodutos da desinfecção (SPDs) (JACANGELO *et al.*, 1995). Tecnicamente a remoção de SPDs é um desafio para o funcionamento e maior eficiência das ETAs (ZHOU *et al.*, 2016). Alguns SPDs comumente formados são os ácidos haloacéticos e os trihalometanos, que estão relacionados principalmente para a saúde humana na indução de câncer (GENISOGLU; ERGI-KAYTMAZ; SOFUOGLU, 2019; USEPA, 1999; 2002).

Uma das etapas encontradas nas ETAs é a pré-oxidação da água bruta, que consiste em uma alternativa para remover MON e consequentemente atenuar a formação de SPDs (DANTAS *et al.*, 2011). Para esse processo são utilizados agentes oxidantes, sendo os principais o cloro, o dióxido de cloro e o permanganato de potássio (FERREIRA-FILHO, 2021).

Os principais agentes oxidantes utilizados, bem como seus respectivos subprodutos formados estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 — Principais agentes oxidantes utilizados no processo de oxidação e desinfecção e seus respectivos subprodutos formados ao reagirem com a matéria orgânica (MON)

Agente oxidante	Subproduto formado
Cloro	Trihalometanos, ácidos haloacéticos
Cloraminas	Nitritos, nitratos
Ozônio	Bromato
Dióxido de Cloro	Cloritos, cloratos

Fonte: adaptado de Barros (2018).

3.5 Trihalometanos: formação, riscos e remoção

A desinfecção da água é uma etapa de extrema importância nas ETAs, pois através dela são eliminados agentes patogênicos. Dentre os desinfetantes existentes, o cloro é o mais utilizado (EVLAMPIDOU *et al.*, 2020). No entanto, como consequência da desinfecção, tem-se a formação de substâncias secundárias que apresentam riscos à saúde humana (GENISOGLU; ERGI-KAYTMAZ; SOFUOGLU, 2019; HEBERT *et al.*, 2010).

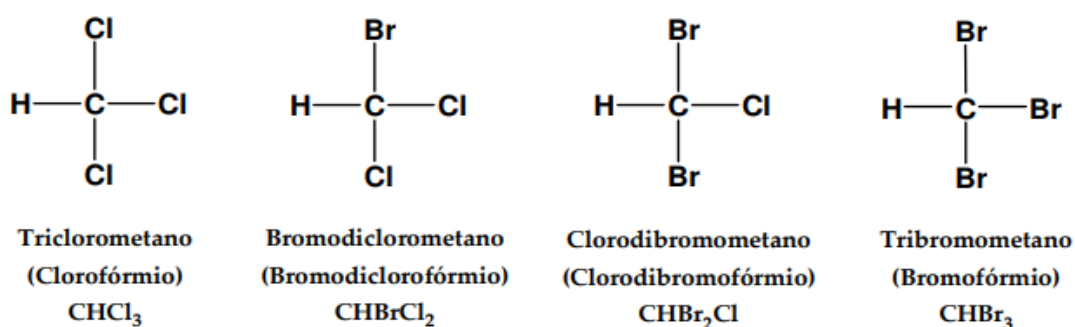
Os trihalometanos (THMs) formados pela reação do cloro residual com a MON presente no meio, são os SPDs mais prevalentes na água. A principal via de formação de THMs em águas decorre da reação do cloro com substâncias húmicas e com materiais de algas (EVLAMPIDOU *et al.*, 2020; MUTTAMARA *et al.*, 1995).

Os THMs são compostos estáveis, que não se oxidam facilmente, além de não serem inflamáveis e não serem combustíveis (ZARPELON; RODRIGUES, 2019). Na molécula dos

THMs existe um carbono central com quatro ligantes: um hidrogênio e os outros três são substituídos por halogêneos, que podem ser bromo, cloro, flúor ou iodo (RODRIGUES, 2014).

Os THMs fazem parte de um vasto grupo de compostos químicos, no entanto, os mais comumente encontrados são o clorofórmio, o diclorobromofórmio, o dibromoclorofórmio e o bromofórmio (Figura 6) (SALIH; AL-AZZAWI, 2016).

Figura 6 — Fórmulas estruturais dos principais THMs



Fonte: Santos (2010).

Entre os THMs, o mais prevalente na água é o clorofórmio, seguido do bromodiclorometano (ALVARENGA, 2010). A soma das quatro espécies, dispostos na Figura 7, é conhecida como trihalometanos totais (TTHM) (EVLAMPIDOU *et al.*, 2020).

Muitos fatores influenciam na formação desses subprodutos, incluindo a presença da clorofila-a, proveniente de algas presentes nos corpos hídricos. Assim, a formação de THMs é proporcional à biomassa algal (HOEHN *et al.*, 1980; ALVARENGA, 2010). Além disso, o potencial de formação de THMs na água também é influenciada pela quantidade de MON, dosagem de cloro utilizada, tempo de contato com cloro, temperatura e pH (PAIXÃO *et al.*, 2014; BECKER, 2010). Destaca-se que, enquanto houver precursores dos THMs na água, bem como cloro livre, existirá a formação dessas substâncias (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUARTE, 2020).

Albuquerque *et al.* (2021) ao estudarem a formação de TTHM em um município do estado do Ceará verificaram que a mesma é proporcional à concentração de COT. Os resultados mostraram que os valores de TTHM foram maiores quanto mais distantes da saída da ETA e a quantidade de cloro ao longo da rede de distribuição diminuiu, devido ao consumo do cloro livre na formação dos subprodutos.

Pesquisas também relacionam a formação de TTHM na água com as variações sazonais climáticas. Sriboonnak *et al.* (2021) observaram que a concentração de MON na água bruta durante a estação chuvosa foi menor e, portanto, foram formados menos TTHM se comparados

com a estação seca. Segundo os autores, o pH do meio é determinante para a formação das espécies, destacando-se que há maior formação de TTHM para pH superiores a 8.

Lorenzini (2021) observou maior formação de TTHM durante o verão no período de 2014 a 2020 no estado do Rio Grande do Sul, demonstrando influência desse fator na formação de SPDs.

Em relação a toxicidade dos THMs na água, sabe-se que esses compostos trazem consequências negativas à saúde humana. Dentre diversos estudos realizados acerca da influência do consumo de THMs, concluiu-se que eles podem resultar em quadros oncológicos nos seres humanos, além de apresentarem efeitos mutagênicos e provavelmente causarem problemas de infertilidade (PINTO; BALTAZAR, 2020). De acordo com estes autores, os THMs chegam até o ser humano por via oral, por meio da ingestão da água, e também pela absorção através da pele ou até mesmo por inalação.

Devido aos riscos mencionados, países de todo o planeta possuem padrões de qualidade da água quanto aos valores permitidos de TTHM na água de abastecimento público. No Brasil, a Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021, estabelece que o valor de TTHM na água deve ser no máximo 0,1 mg/L (BRASIL, 2021).

O tratamento de água visando a não formação ou remoção de TTHM, em geral pode seguir três métodos: 1) utilização de desinfetantes sem cloro livre; 2) remoção de MO antes da desinfecção e 3) remoção de TTHM após a sua formação (JIMÉNEZ-ANTILLÓN *et al.*, 2022). Dentre as principais técnicas utilizadas na remoção de TTHM, destacam-se a filtração e a adsorção em carvão ativado.

Segundo Cocenza (2014), a adsorção em carvão ativado, pulverizado ou em pó, é atualmente a técnica mais utilizada na remoção dos subprodutos da desinfecção, o que inclui os TTHM.

Noredinvand, Takdastan e Yengejeh (2015) avaliaram a influência de filtros duplos e filtros convencionais para remover COT em água e relataram que o filtro duplo contendo antracito, um tipo de carvão, reduziu o COT em até 65%, removendo assim a MON presente e diminuindo o potencial de formação de TTHM.

Delbazi *et al.* (2011) usando filtros simples de areia e filtros duplos de areia e antracito e outro de areia e leca (argila) e concluíram que o filtro de areia e antracito removeu maior quantidade de MON e turbidez, se comparados aos outros filtros testados.

Duarte (2011) ao realizar o tratamento de água com cianobactérias avaliou a remoção de TTHM através de dupla filtração com adsorção em carvão ativado e obteve resultados satisfatórios. Segundo sua pesquisa, a associação de tratamentos com filtros de carvão ativado

granular e em pó apresentaram eficiência no controle de turbidez, cor e TTHM, com efluentes abaixo do valor de 0,1 mg/L.

4 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada nas dependências da ETA Gavião, utilizando-se instalação piloto de dupla filtração de tratamento de água pertencente à mesma. O trabalho foi dividido em duas carreiras de filtração. Cada carreira de filtração ocorreu em quatro etapas, a saber, primeira etapa: caracterização da água bruta do manancial (açude Gavião) de abastecimento; segunda etapa: tratamento da água bruta do açude em sistema piloto de dupla filtração com diferentes leitos filtrantes; terceira etapa: aplicação de três dosagens distintas de cloro nas águas filtradas no sistema piloto de dupla filtração e quarta etapa: quantificação dos THMs formados após duas horas de contato com as diferentes dosagens de cloro.

4.1 Descrição do local de estudo

A ETA Gavião (Figura 7) está localizada no município de Pacatuba-CE ($3^{\circ}59'03''\text{S}$; $38^{\circ}37'13''\text{W}$) na região metropolitana de Fortaleza (RMF), e foi construída em 1981, sendo responsável atualmente pelo abastecimento da cidade de Fortaleza e sua região metropolitana (RMF). O principal acesso ao local se dá por meio da BR-116 ou do 4º anel viário da RMF (CEARÁ, 2018).

Inicialmente, a tecnologia adotada na ETA era o tratamento convencional e tinha capacidade de tratamento de $3,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. No entanto, em 1995, mudou-se a tecnologia, que passou a ser do tipo filtração direta descendente, com a presença total de 16 filtros e capacidade de tratamento de até $10,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Porém, em função da crise hídrica enfrentada no estado do Ceará, a ETA possui uma vazão atual de $7,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (CEARÁ, 2018).

Os processos utilizados no tratamento de água da ETA são os seguintes: captação da água bruta, coagulação, pré-oxidação, fluoretação, filtração descendente e desinfecção. Atualmente, o coagulante utilizado é o policloreto de alumínio, $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$, (PAC 23%, Reluz Nordeste Ltda) com acréscimo de polímero Polydadmac (Cloreto de polidialildimetilamônio 39%, SNF do Brasil Ltda); além disso, a fim de reduzir a formação de THMs na água tratada, iniciou-se em 2005 a etapa da pré-oxidação da água bruta, que utiliza o dióxido de cloro (ClO_2) fornecido pela Sabará Químicos e Ingredientes como desinfetante e oxidante (CEARÁ, 2018).

Figura 7 — Vista aérea da ETA em estudo no município de Pacatuba, Ceará



Fonte: Companhia de Água e Esgoto do Ceará (2018).

4.2 Descrição da ETA piloto

A unidade piloto, pertencente à ETA Gavião, (Figura 8) consiste em um equipamento em escala menor e que simula as etapas presentes na ETA em estudo. A unidade piloto possui tubulação para a captação da água bruta, além de bombas dosadoras e buretas para a adição e controle dos produtos químicos utilizados nas etapas de coagulação e pré-oxidação. Além disso, possui filtros compostos de fibra de vidro transparente, com diâmetro interno de 150 mm e altura de 3 metros. O protótipo ainda possui reservatório para adição de cloro (etapa de desinfecção), com controle de dosagem através de bomba e bureta.

Figura 8 — ETA piloto utilizada na pesquisa com seus diferentes tipos de filtros



Fonte: elaborada pelo autor.

4.3 Primeira etapa: caracterização da água bruta da ETA

A primeira etapa possui cerca de 2 horas de duração e consiste em realizar a coleta da água bruta da ETA Gavião a cada 30 minutos e caracterizá-la de acordo com parâmetros de: cor aparente, carbono orgânico total (COT), pH, temperatura e turbidez. O COT foi determinado somente uma vez, após 1,5 horas do início do experimento. Vale destacar que os parâmetros selecionados para essa pesquisa estão relacionados à formação de subprodutos de desinfecção em águas de abastecimento (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUARTE, 2020). A caracterização foi realizada nas dependências da própria ETA, com o aparato técnico do laboratório local.

Os métodos utilizados para a determinação de cada parâmetro estão apresentados a seguir, os quais seguem as recomendações do *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2017), bem como os valores máximos permitidos (VMP) estabelecidos pela Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 (BRASIL, 2021) (Tabela 1).

Tabela 1 — Parâmetros analíticos da água a serem determinados nas etapas da pesquisa

Parâmetro	Método	VMP	Referência
Cor aparente	Comparação visual	15 uH	APHA 2120 B
COT (mg/L)	Combustão	-	APHA 5310 B
pH	Potenciometria	6 a 9,5	APHA 4500-H*B
Temperatura (°C)	-	-	APHA 2550
Turbidez	Nefelometria	5 uT	APHA 2130 B

Fonte: elaborada pelo autor.

4.3.1 Cor aparente

A cor aparente é um parâmetro físico e analisá-la é imprescindível, pois é possível visualizar a dissolução de matéria orgânica presente na água (MICHELAN *et al.*, 2019). Além disso, este parâmetro pode indicar a presença de metais, substâncias húmicas e plânctons (SAMPAIO, 2014). Nesta pesquisa, o método utilizado para sua análise foi o da comparação visual, o qual consistiu em coletar as amostras em tubo de Nessler e comparar com os padrões expostos sob luz branca (APHA, 2012).

4.3.2 Carbono Orgânico Total

A matéria orgânica (MO) presente em água pode ser analisada através do carbono orgânico total (COT), por meio da oxidação da alíquota coletada via combustão (ARNESEN *et al.*, 2018). Por sua vez, o COT pode ser definido como a soma do carbono dissolvido e particulado presente na amostra, bem como toda a totalidade da MO presente no meio (BENEDETTI, 2012). A metodologia utilizada neste projeto para analisá-lo foi a oxidação catalítica por combustão em alta temperatura, que consistiu em injetar a amostra em uma câmara aquecida com catalisador oxidativo, onde o carbono orgânico foi oxidado a CO₂ e assim foi medido usando um analisador no infravermelho (APHA, 2017). O analisador de carbono orgânico foi da marca Shimadzu, modelo TOC-L.

4.3.3 pH e temperatura

O pH representa a quantidade de íons de hidrogênio presente na água e é determinado a partir da utilização de um potenciômetro (FUNASA, 2013). Para a realização da análise foi usado um potenciômetro Hach, modelo PH31. Antes da análise da amostra, o equipamento foi calibrado com soluções tampão de pH 4 e 7 e posteriormente o eletrodo foi inserido na amostra a ser testada. A temperatura foi medida por sonda após estabilização do equipamento.

4.3.5 Turbidez

A turbidez pode ser definida como a capacidade que um feixe de luz tem em atravessar a água, sendo que esta capacidade é influenciada pela presença de sólidos em suspensão que estejam presentes na amostra, tais como areia e argila (HASANAH *et al.*, 2020). As amostras de água coletadas durante a pesquisa foram analisadas imediatamente através do método nefelométrico (APHA, 2017) utilizando um turbidímetro de bancada Hach, modelo 2100Q.

4.4 Segunda etapa: tratamento da água bruta da ETA

Esta etapa consistiu em tratar a água bruta do açude Gavião em sistema piloto de dupla filtração e durou cerca de 2 horas. A água bruta foi encaminhada do açude para a instalação piloto através de tubos de PVC com 60 mm de diâmetro externo e extensão de 100 m. A vazão da água bruta para entrada afluenta no sistema piloto foi de 218,5 (m³ h⁻¹). Ainda no tubo de

canalização, a água bruta recebeu a adição do coagulante policloreto de alumínio (PAC), do polímero auxiliar de coagulação (Polydadmac) e do pré-oxidante (ClO_2), por meio de bombas dosadoras. As características das substâncias adicionadas à água estão descritas na Tabela 2. Como a ETA piloto representa um protótipo, as condições ótimas de coagulação e oxidação e a taxa de filtração utilizadas foram similares às de outra ETA localizada no estado do Ceará (ETA Oeste), onde também se utiliza a tecnologia de dupla filtração.

Tabela 2 — Características das substâncias adicionadas à água bruta para seu tratamento

	Coagulante (PAC)	Auxiliar (Polydadmac)	Pré-oxidante (ClO_2)
Densidade (g mL^{-1})	1,34	1,04	1,00
Concentração (% v/v)	0,5	0,1	0,0175
Dosagem (mg L^{-1})	39,2	2,8	1,0
Vazão (L h^{-1})	1,278	0,588	1,249
Vazão (mL min^{-1})	21,3	9,8	20,8
Volume da solução (mL)	12	6	6000
Volume do solvente (mL)	6000	6000	-
Autonomia da solução (h)	4,7	10,2	4,8

Fonte: Companhia de Água e Esgoto do Ceará (2023).

Posteriormente, a água captada segue para o filtro piloto de dupla filtração onde existiam três tipos de leitos filtrantes: um filtro ascendente de areia (FAA), um filtro descendente de areia (FDA) e um filtro descendente de areia e antracito (FDAAT) (Figura 9).

Figura 9 — ETA piloto utilizada na pesquisa com seus diferentes tipos de filtros



Fonte: elaborada pelo autor.

As características físicas e de operação dos filtros podem ser visualizadas na Tabela 3.

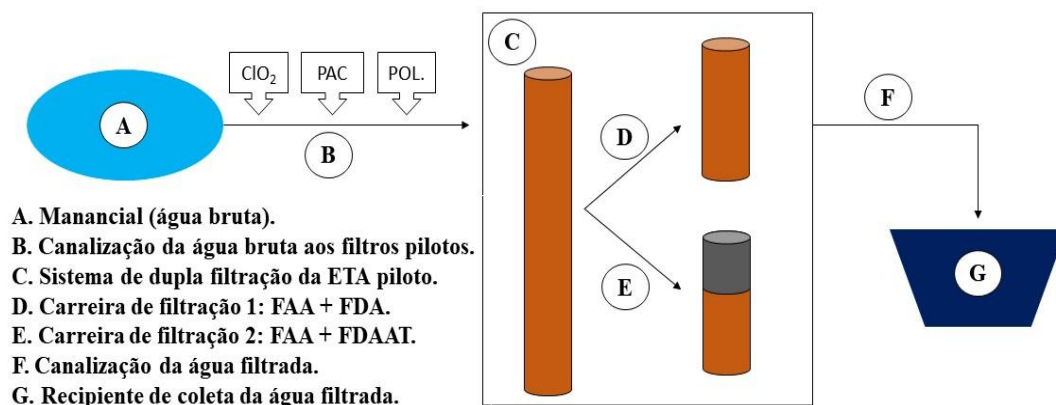
Tabela 3 — Características físicas dos filtros pilotos utilizados na pesquisa

	FAA	FDA	FDAAT
Material dos filtros	PVC	PVC	PVC
Altura dos filtros (m)	3	3	3
Diâmetro dos filtros (mm)	200	150	150
Taxa de filtração ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)	160	284	284
Área dos filtros (m^2)	0,0314	0,0177	0,0177
Vazão afluyente ao piloto (m^3/h)	0,2093	0,2093	0,2093
Altura dos leitos filtrantes (cm)	100	100	Areia: 20 Antracito: 60
Tamanho dos grãos (mm)	0,42 a 1,41	0,42 a 1,41	Areia: 0,42 a 1,41 Antracito: 0,71 a 2,00

Fonte: Companhia de Água e Esgoto do Ceará (2023).

A segunda etapa da pesquisa contou com duas carreiras de filtração, de acordo com a disposição dos filtros, a saber, Carreira de filtração 1: FAA + FDA e Carreira de filtração 2: FAA + FDAAT, ambas com duração de 2 horas. A carreira de filtração 1 foi realizada nos meses de outubro e novembro de 2022 (estação seca) e a carreira de filtração 2 ocorreu nos meses de fevereiro e março de 2023 (estação chuvosa). A organização desta etapa pode ser vista na Figura 10.

Figura 10 — Fluxograma da segunda etapa da pesquisa



Fonte: elaborada pelo autor.

Operacionalmente, durante as duas carreiras de filtração, a cada 30 minutos o efluente de cada operação era coletado em frasco de polietileno para a determinação dos parâmetros de: cor aparente, pH, temperatura e turbidez, os mesmos utilizados na caracterização da água bruta, com exceção do COT, que foi coletado somente uma vez, após 1,5 h do início da carreira de filtração. Além disso, também era verificada a vazão do sistema piloto, para mantê-la o mais próximo possível da vazão inicial durante toda a carreira de filtração.

4.5 Terceira etapa: aplicação de cloro nas águas tratadas por sistema de dupla filtração

Para a desinfecção do efluente, após passagem pelos filtros e respectiva caracterização da água filtrada, foram coletados 3 L de água de cada carreira de filtração e divididos em três Becher de 1 L. Com o auxílio de uma pipeta foi adicionada uma concentração distinta de cloro em solução aquosa em cada recipiente com 1 L de água filtrada, em um tempo de contato de 2 h. As concentrações selecionadas foram de: 5, 7,5 e 10 mg/L, usualmente utilizadas em testes da própria ETA principal. Para aplicação do cloro, utilizou-se água clorada com elevado teor de cloro que era coletada na própria ETA. A determinação da concentração real de cloro (CR) foi realizada segundo o método titulométrico com sulfato ferroso amoniacal utilizando-se N-dietil-p-fenilendiamina como indicador (APHA, 2017). Ao final do tratamento, a fim de verificar a quantidade de cloro adicionado nas águas, foi averiguado quanto a concentração de cloro residual livre (CRL) também utilizando o método titulométrico com sulfato ferroso amoniacal.

4.6 Quarta etapa: avaliação dos trihalometanos formados após desinfecção

Finalizadas as 2 h de contato das amostras com a água clorada, utilizou-se vials de vidro transparente com tampa rosqueável para coletar alíquotas de 40 mL de cada Becher. A coleta seguiu as recomendações dos métodos 6010 B e 6232 B do *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*, contendo como agente redutor o ácido ascórbico 25 mg e agente conservante o HCl (APHA, 2017). Após a coleta, os vials foram mantidos refrigerados a 4°C e armazenados em isopor para o transporte até o laboratório visando análise. Para determinação do TTHM, o método utilizado foi de extração líquido-líquido seguido de cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons (GC-ECD), conforme os métodos 6010 B e 6232 B (APHA, 2017) e método 511.1 da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 1995). O cromatógrafo usado foi um Shimadzu modelo GC-2010 plus. O padrão de TTHM utilizado para a identificação foi fornecido pela Supelco CRM48140, adquirido da empresa Sigma-Aldrich Brasil Ltda, o qual contém em sua composição: clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio dissolvidos em metanol (2000 µg.mL⁻¹).

4.7 Tratamento estatístico dos dados

A pesquisa contou com dois tratamentos (FAA+FDA e FAA+FDAAT), sendo quatro repetições cada (dias 1, 2, 3 e 4), possuindo seis parâmetros analisados (cor aparente, COT, pH, temperatura, turbidez e TTHM). A partir dos valores obtidos em cada repetição e parâmetros foram calculados as médias e o desvio padrão, bem como os valores mínimos e máximos. A fim de avaliar a eficiência de cada tipo de tratamento no controle de TTHM e demais parâmetros, foi realizada análise de variância (ANOVA) e calculada a diferença mínima significativa (DMS) a uma probabilidade de 5%.

A ANOVA foi calculada para descobrir a existência de variância entre os dados coletados durante as repetições. Havendo variância, os dados eram submetidos ao cálculo da DMS, para saber se a diferença entre as repetições e tratamentos testados eram significativas ou não. A ANOVA e DMS foram calculadas utilizando *software* Excel 2016. Para ANOVA foi observada a diferença entre os valores *F* e *F crítico* encontrados; já para a DMS foi levado em consideração os valores do MQ, o n° de repetições e o “*q*”, o qual é um valor tabulado de acordo com o grau de liberdade e n° de tratamentos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da água bruta (carreira de filtração 1)

A Tabela 4 apresenta a qualidade da água bruta (AB1) a ser usada na carreira de filtração 1 quanto aos parâmetros analíticos selecionados nesta pesquisa.

Tabela 4 — Caracterização da água bruta usada na carreira de filtração 1

		Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)
Dia 1	Coleta 1	80	-	8,11	28,7	9,64
	Coleta 2	80	-	7,78	28,4	10,1
	Coleta 3	70	10,92	8,42	28,6	9,98
	Coleta 4	70	-	8,43	28,2	9,53
Dia 2	Coleta 1	90	-	8,19	27,3	10,8
	Coleta 2	80	-	8,23	27,7	9,60
	Coleta 3	80	9,55	8,24	27,8	9,84
	Coleta 4	80	-	8,02	25,9	10,4
Dia 3	Coleta 1	80	-	8,32	28,1	9,74
	Coleta 2	80	-	8,29	28,7	9,65
	Coleta 3	80	9,99	8,38	28,1	9,35
	Coleta 4	80	-	8,42	27,9	9,33
Dia 4	Coleta 1	90	-	8,41	27,7	9,98
	Coleta 2	80	-	8,29	27,8	9,81
	Coleta 3	80	9,96	8,25	27,2	9,35
	Coleta 4	80	-	8,42	27,8	9,56
Média		80	10,1	8,26	27,8	9,78
Máximo		90	10,9	8,43	28,7	10,8
Mínimo		70	9,55	8,02	25,9	9,33
Desvio Padrão		5	0,50	0,170	0,666	0,38

Fonte: elaborada pelo autor.

5.1.1 Cor aparente da água bruta

A cor aparente é um parâmetro que pode indicar a presença de substâncias húmicas na água e presença de MON. Na água bruta (AB1) houve pouca variação nos valores, sendo o valor mínimo 70 uH e o valor máximo 90 uH, tendo como média geral 80 uH. O desvio padrão, no entanto, pode ser considerado elevado para este parâmetro. Em geral, em todos os dias o valor médio é superior ao VMP de 15 uH da portaria de referência, indicando a qualidade

inadequada para este parâmetro de cor. Os resultados encontrados são semelhantes aos relatados por Silva (2017) na avaliação da qualidade da água de uma ETA localizada em Caucaia, Ceará, correspondente a uma média de 70 uH. Sampaio (2014) ao realizar a análise da cor aparente da água bruta do açude Gavião, Pacatuba, Ceará encontrou a mesma média relatadas por Silva (2017). Sabóia, Almeida e Santos (2020) ao analisarem a água bruta deste mesmo açude encontraram um valor médio de 58 uH, semelhante aos observados neste trabalho para atendimento a legislação vigente.

Souza *et al.* (2022) ao realizarem o tratamento da água do Rio Solimões localizado na região norte brasileira encontraram valor médio de 157,35 uH para a cor aparente da água bruta. Silva (2013) avaliou a cor aparente de diferentes locais da bacia hidrográfica do Rio Amazonas e encontrou valores na ordem de 163,82 uH e 106,22 uH; no Rio Purus, localizado em Berur, Amazonas, o valor encontrado foi 100,23 uH e no Rio Alalaú, Roraima, a média encontrada foi 56,1 uH, bem abaixo dos encontrados em outras coletas da mesma pesquisa.

Já na região Sudeste do país, a cor aparente da água bruta do rio Paraíba do Sul, localizado nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro variou de 226 a 846 uH, a depender da época do ano analisada, conforme relatado por Ferrari *et al.* (2012). Por fim, em São Paulo, o rio Taquacetuba apresentou cor aparente média de 70 uH, conforme monitoramento realizado pela companhia de saneamento do estado (SABESP, 2019).

Ao realizar a ANOVA (Tabela 5), as amostras apresentaram variâncias significativas, entretanto, após o cálculo dos módulos das médias de todas as amostras e respectivas comparações, observa-se que 100% das análises não apresentaram diferenças significativas entre si, pois estes módulos foram menores que a DMS calculada. Assim, estatisticamente, as amostras de água bruta (AB1) da carreira de filtração 1 são todas iguais.

Tabela 5 — Diferença mínima significativa encontrada para a comparação entre as médias da cor aparente da água bruta da carreira de filtração 1

	Média 1	Média 2	Módulo da diferença das médias	DMS
Dia 1 - Dia 2	75,0	82,5	7,5	15,9
Dia 1 - Dia 3	75,0	80,0	5,0	
Dia 1 - Dia 4	75,0	82,5	7,5	
Dia 2 - Dia 3	82,5	80,0	2,5	
Dia 2 - Dia 4	82,5	82,5	0	
Dia 3 - Dia 4	80,0	82,5	2,5	

DMS: diferença mínima significativa.

Fonte: elaborada pelo autor.

5.1.2 Carbono Orgânico Total (COT) da água bruta

O COT é definido como a concentração total de carbono orgânico presente em uma amostra, onde pode ser dividido em carbono orgânico dissolvido e particulado (LOPARDO; FERNANDES; AZEVEDO, 2008). O COT pode ser utilizado para mensurar a matéria orgânica (MO) da água (ALBREKTIENÉ *et al.*, 2012), no entanto é considerado uma medida indireta, não sendo possível saber a procedência e estrutura da MO (VISCO; CAMPANELLA; NOBILI, 2005).

Com relação ao COT das águas brutas da carreira de filtração (AB1), a média encontrada nas quatro repetições foi de 10,1 mg/L, sendo o valor máximo de 10,9 mg/L e o valor mínimo de 9,55 (Tabela 5). Em estudo realizado no ano de 2018, Moreira e Buarque (2019) ao caracterizarem a matéria orgânica dissolvida no açude Gavião encontraram um valor médio de 33,9 mg/L de COT. Esse valor é bem elevado se comparado ao encontrado nesta pesquisa, apresentando diferença de 23,8 mg/L. Os autores relataram, o motivo da elevada concentração de COT na época de estudo ocorreu devido ao processo de eutrofização presente no sistema hídrico metropolitano. Neste contexto, relatórios da qualidade de água elaborado pela COGERH em maio de 2019, novembro de 2022 e fevereiro de 2023 mostraram que a eutrofização do açude em estudo estava no nível eutrófico (CEARÁ, 2019, 2023).

Benetti *et al.* (2018) ao realizarem estudo com dupla filtração na região Norte do Brasil, constataram que a água bruta eutrofizada do lago Lajeado localizado em Palmas apresentou variação de 10,7% nos valores encontrados para o COT, sendo o valor mínimo de 3,9 mg/L e o máximo de 5,1 mg/L. Esses valores são, portanto, bem abaixo dos encontrados nessa pesquisa.

Oliveira, Araújo e Duarte (2020) estudaram o potencial de formação de THMs na lagoa de Extremoz, localizada no Rio Grande do Norte, estado do nordeste brasileiro. Conforme os autores, a água bruta de estudo apresentou valor médio 6,53 mg/L para o parâmetro analisado.

5.1.3 pH da água bruta

O pH é um dos principais parâmetros que devem ser levados em consideração ao se analisar a qualidade de uma água, pois o mesmo indica o grau de acidez ou alcalinidade de uma solução (LIMA, 2019). A média do pH das águas brutas da carreira AB1 foi de 8,26, sendo o valor máximo de 8,43 e 8,02 como valor mínimo encontrado (Tabela 4).

Tabela 6 — Diferença mínima significativa encontrada para a comparação entre as médias de pH da água bruta da carreira de filtração 1

	Média 1	Média 2	Módulo da diferença das médias	DMS
Dia 1 - Dia 2	8,18	8,17	0,01	0,442
Dia 1 - Dia 3	8,18	8,35	0,17	
Dia 1 - Dia 4	8,18	8,35	0,17	
Dia 2 - Dia 3	8,17	8,35	0,18	
Dia 2 - Dia 4	8,17	8,35	0,18	
Dia 3 - Dia 4	8,35	8,35	0,01	

DMS: diferença mínima significante.

Fonte: elaborada pelo autor.

Na ANOVA o valor de DMS foi de 0,442, o que indica diferenças não significativas e que estatisticamente, as amostras de água bruta da carreira de filtração 1 são todas iguais (Tabela 6). Em geral, os valores de pH encontrados atendem os valores da Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 (BRASIL, 2021) e da Resolução CONAMA nº 357/2005, que determina que o pH dos corpos hídricos devem estar entre 6,0 e 9,0 (BRASIL, 2005).

Silva (2017) na área em estudo relatou uma média de pH de 8,23, semelhante ao observado neste trabalho (8,26) quando se consideram todos os dias de coleta.

Sabóia, Almeida e Santos (2020), por sua vez, relataram um valor do pH da água bruta no mesmo corpo hídrico de 7,36. Esse valor é próximo ao de 7,83 encontrado por Barros *et al.* (2014) em seus estudos. Essas variações podem ser atribuídas ao tempo e as características das análises, conforme Richter e Azevedo-Neto (2002).

5.1.4 Temperatura da água bruta

A temperatura é a quantidade de energia térmica presente em um fluido causada pela movimentação dos átomos e moléculas ali presentes (LIBÂNIO, 2010). Analisar a temperatura da água é necessário pois a mesma afeta, tal como o pH, a produção dos seres fotossintetizantes aquáticos e a quantidade de oxigênio dissolvido (TUNDISI, 2012). Na Carreira 1, a água bruta mostrou média das quatro repetições de 27,8°C, sendo o menor valor de 25,9°C e o maior valor de 28,7°C (Tabela 4). Assim como observado para cor aparente e pH, o valor de DMS indica diferenças não significativas entre as amostras (Tabela 7).

Tabela 7 — Diferença mínima significativa encontrada para a comparação entre as médias da temperatura da água bruta da carreira de filtração 1

	Média 1	Média 2	Módulo da diferença das médias	DMS
Dia 1 - Dia 2	28,47	27,17	1,30	
Dia 1 - Dia 3	28,47	28,17	0,30	
Dia 1 - Dia 4	28,47	27,62	0,85	
Dia 2 - Dia 3	27,17	28,17	1,00	2,60
Dia 2 - Dia 4	27,17	27,62	0,45	
Dia 3 - Dia 4	28,17	27,62	0,55	

DMS: diferença mínima significante.

Fonte: elaborada pelo autor.

Segundo o Inventário Ambiental do Açude Gavião, a temperatura média encontrada no ano de 2016 foi na ordem de 27,5°C (CEARÁ, 2017). Em outro estudo realizado no mesmo manancial deste estudo, a temperatura da água bruta foi 28,6°C (BARROS *et al.*, 2014). Ao estudar as condições de estratificação na qualidade da água do mesmo açude, França *et al.* (2021) relataram valores médios de temperatura para o primeiro e segundo semestre de 2018 de 29,5°C e 28,1°C, respectivamente. Segundo França *et al.* (2021) essa estratificação dos

valores é normal, pois a qualidade hídrica do açude Gavião, assim como a maior parte dos corpos hídricos do nordeste brasileiro, é influenciada pela precipitação e clima da região.

No Rio Grande do Norte, localizado na região nordeste do Brasil, os autores Oliveira, Araújo e Duarte (2020) encontraram valor médio de 27,2°C para a água bruta da lagoa de Extremoz, nos meses de agosto a outubro de 2016. Esse resultado não apresenta grande diferença para o valor encontrado para a água bruta dessa pesquisa nos meses de outubro e novembro de 2022.

Em Minas Gerais, estado da região Sudeste, Nolasco *et al.* (2020) ao analisarem a qualidade da água bruta do rio Jequitinhonha encontraram um valor médio de 23°C, aproximadamente 4°C a menos do que o encontrado nessa pesquisa. De acordo com Valentini *et al.* (2021), a região Sudeste apresenta estações climáticas bem definidas, o que acaba influenciando na temperatura da água, com valor menor se comparado a outros locais do país.

5.1.5 Turbidez da água bruta

A turbidez está relacionada com a clareza do recurso hídrico (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). Dentre os motivos que influenciam este parâmetro, o principal é a erosão do solo, pois materiais como argila, silte e areia se desprendem durante o processo erosivo e são carregados até a água, alterando assim sua turbidez (ANA, 2016). Destaca-se que a turbidez também é indicadora da presença de substâncias orgânicas no meio, a exemplo das substâncias húmicas da MON (SAMPAIO, 2014).

Quanto à turbidez das águas brutas na carreira AB1, o valor mínimo encontrado durante as repetições foi 9,33 uT; o máximo valor foi de 10,8 uT e a média das repetições foi de 9,78 uT, conforme a Tabela 4. Segundo a Resolução 357 do CONAMA, o máximo permitido para este parâmetro para águas de Classe 2 é 100 uT. Assim, a turbidez das amostras ficou bem abaixo do que é estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2005), porém não atende a Portaria 888/2021.

Apesar das variações observadas, assim como para os demais parâmetros analíticos, as diferenças entre turbidez das amostras de água bruta (AB1) não são significativas, considerado o DMS calculado (Tabela 8).

Tabela 8 — Diferença mínima significativa encontrada para a comparação entre as médias da turbidez da água bruta da carreira de filtração 1

	Média	Média	Módulo da diferença das médias	DMS
Dia 1 - Dia 2	9,787	10,16	0,373	1,23
Dia 1 - Dia 3	9,787	9,517	0,270	
Dia 1 - Dia 4	9,787	9,675	0,112	
Dia 2 - Dia 3	10,16	9,517	0,643	
Dia 2 - Dia 4	10,16	9,675	0,485	
Dia 3 - Dia 4	9,517	9,675	0,158	

DMS: diferença mínima significativa.

Fonte: elaborada pelo autor.

Outros trabalhos também realizados no açude Gavião mostraram valores semelhantes ao da média geral encontrada nessa pesquisa. França *et al.* (2021) encontraram uma turbidez média de 10,81 uT no período seco do ano. Levando em consideração que a carreira de filtração 1 aconteceu nos meses de outubro e novembro de 2020, houve uma aproximação do valor encontrado na referida pesquisa de França *et al.* (2021). Sabóia, Almeida e Santos (2020), durante o ano de 2019, analisando a água bruta do açude Gavião, observaram um valor médio de 11,9 uT. Esse valor é mais distante do 9,78 uT encontrado nas águas brutas da carreira AB1.

De acordo com laudo técnico da CAGECE, em 2016, a turbidez da água bruta do açude Gavião foi de 14,8 uT (CEARÁ, 2017). Nesse caso, o valor é bem diferente do encontrado na carreira AB1. Segundo Fragoso Junior *et al.* (2007), esse valor mais elevado pode ser atribuído à eutrofização que é capaz de aumentar a turbidez da água.

Em outro trabalho realizado na região nordeste do Brasil, na lagoa de Extremoz, Rio Grande do Norte, a turbidez média da água bruta foi 1,54 uT, sendo menor que o valor encontrado nessa pesquisa (OLIVEIRA; ARAÚJO; DUARTE, 2020). Os autores Nascimento *et al.* (2020) ao analisarem a qualidade da água de um corpo hídrico em Paragominas, Pará, encontraram uma turbidez média de 1,18 uT, valor próximo ao apresentado por Oliveira, Araújo e Duarte (2020). Olivio, Esteves e Ferro (2020) encontraram o valor médio de turbidez para o córrego Jacu Queimado, localizado em São Paulo, da ordem de 23,8 uT, bem acima do que foi encontrado nessa pesquisa. Segundo os autores, o córrego apresenta alta turbidez devido a sua passagem por áreas habitáveis onde acaba recebendo diversos poluentes (OLIVIO; ESTEVES; FERRO, 2020).

5.2 Caracterização da água tratada por dupla filtração (sistema FAA + FDA)

A carreira de filtração 1 foi executada em sistema de dupla filtração constituído por um filtro ascendente de areia e outro descendente de areia (FAA + FDA) tratando a água bruta AB1. Na Tabela 9 estão apresentados os valores determinados dos parâmetros analíticos selecionados na água filtrada da carreira de filtração 1 (AF1).

Tabela 9 — Caracterização da água filtrada após dupla filtração em filtro ascendente de areia (FAA) e filtro descendente de areia (FDA) na carreira de filtração 1

		Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)
Dia 1	Coleta 1	5	-	7,86	28,4	0,38
	Coleta 2	5	-	7,78	28,2	0,35
	Coleta 3	5	7,37	7,85	28,4	0,38
	Coleta 4	5	-	7,78	28,3	0,33
Dia 2	Coleta 1	5	-	7,82	26,9	0,37
	Coleta 2	5	-	7,87	27,5	0,34
	Coleta 3	5	7,19	7,91	27,6	0,34
	Coleta 4	5	-	7,82	25,9	0,44
Dia 3	Coleta 1	5	-	7,99	28,4	0,31
	Coleta 2	5	-	7,92	27,4	0,29
	Coleta 3	5	7,20	7,97	28,3	0,27
	Coleta 4	5	-	7,95	28,5	0,28
Dia 4	Coleta 1	5	-	7,88	27,9	0,37
	Coleta 2	5	-	7,83	27,6	0,35
	Coleta 3	5	7,29	7,85	27,8	0,35
	Coleta 4	5	-	7,83	27,6	0,33
	Média	5	7,26	7,86	27,8	0,34
	Máximo	5	7,37	7,99	28,5	0,44
	Mínimo	5	7,20	7,78	26,9	0,27
	Desvio Padrão	0	0,071	0,061	0,662	0,041

Fonte: elaborada pelo autor.

A Tabela 10, por sua vez, mostra os valores das médias de cada dia de experimento para a AF1, bem como o desvio padrão e o VMP presente na Portaria nº 888 de 2021.

Tabela 10 — Média dos parâmetros para caracterização da água após dupla filtração em filtro ascendente de areia (FAA) e filtro descendente de areia (FDA) da carreira de filtração 1

	Média	Média	Média	Média	Média	VMP
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	geral	
Cor aparente (uH)	5	5	5	5	5	15
COT (mg/L)	7,37	7,19	7,20	7,29	7,26	-
pH	7,81	7,84	7,96	7,84	7,86	6 a 9,5
Temperatura (°C)	28,3	27,2	28,3	27,7	27,8	-
Turbidez (uT)	0,36	0,35	0,28	0,35	0,34	5

VMP: Valor máximo permitido.

Fonte: elaborada pelo autor.

As Tabelas 9 e 10 mostram que os parâmetros de cor aparente, pH e turbidez se encontram dentro dos valores permitidos pela legislação vigente no Brasil, e ao mesmo tempo confirmam a eficiência do sistema piloto com dupla filtração em filtro ascendente de areia (FAA) e filtro descendente de areia (FDA).

Para a cor aparente observa-se uma redução de 93,75% de valor da carreira com água bruta (AB1) para água obtida após dupla filtração (AF1) na carreira de filtração 1. Em estudo realizado na ETA Aquiraz, localizada na Região Metropolitana de Fortaleza, para avaliação de um sistema piloto de dupla filtração modificado no tratamento de água eutrofizada, encontraram redução de 50% da cor aparente da água bruta, com média de turbidez de 5 uH (LIMA; CAPELO-NETO, 2015). Esse valor é, portanto, igual ao encontrado na AF1, o que demonstra que a dupla filtração foi eficiente na remoção de cor aparente.

Estudos realizados por Machado e Sens (2012) usando dupla filtração no tratamento da água bruta da Lagoa do Peri, localizada em Florianópolis – SC, mostraram que o sistema foi capaz de remover em até 91% da cor aparente inicial e média de 5,1 uH, assim como encontrado nesta pesquisa. A eficiência da DF para a remoção de cor foi também relatada por Cavalcante (2020) e Al-Ghouti *et al.* (2019), que relataram que a DF é mais eficiente que outros tipos de filtração pois combinam duas técnicas distintas, sendo capaz de remover sólidos, matéria orgânica e subprodutos da desinfecção, que afetam a cor do recurso.

Em relação ao carbono orgânico total (COT) da água filtrada da carreira de filtração 1 (AF1) foi observada uma redução de 28,1% do valor encontrado na água bruta (AB1). De forma semelhante, Lindroos *et al.* (2020) verificaram que houve uma remoção média de 11% do COT presente no efluente ao utilizarem areia como meio filtrante. Esse valor é inferior ao encontrado nessa pesquisa, mas demonstra a eficiência do filtro de areia para remoção de COT.

Para o pH a redução entre as águas bruta e filtrada foi de 5% e o valor calculado dos módulos das diferenças médias (0,008 a 0,140) permaneceram abaixo da DMS (0,274), indicando diferença não significativa entre as amostras. O controle do pH da água é necessário pois o mesmo influencia os processos de tratamento, como coagulação e a desinfecção (BRASIL, 2014).

Lima (2019) ao estudar o índice de qualidade da água do açude Gavião verificou que o pH afeta a solubilidade e a toxicidade de substâncias químicas presentes na água. Esse mesmo comportamento foi observado para a temperatura que não apresentou diferença significativa entre as repetições, pois em todas as análises os módulos das diferenças das médias (0,175 a 0,350) permaneceram abaixo da DMS (3,024), indicando também diferenças não significativas entre as amostras.

Com relação à turbidez, observou-se redução de 96,5% do valor inicial da água bruta para a água tratada por dupla filtração. Novamente, os módulos das diferenças das médias (0,010 a 0,085) permaneceram abaixo da DMS (0,188), confirmando diferenças não significativas entre as amostras.

Lima e Capelo-Neto (2015) realizaram estudos em sistema piloto de DF modificado na ETA Aquiraz na Região Metropolitana de Fortaleza e observaram redução de 63% do valor inicial de turbidez, que apresentou média final de 0,5 uT. Esses resultados são próximos aos encontrados neste trabalho, e destacam a eficiência da DF na carreira de filtração 1 com a combinação de filtros ascendente e descendente contendo somente areia como meio filtrante.

Paula (2003) realizou teste de DF com filtro ascendente de areia grossa e filtro descendente de areia fina em uma ETA de São Carlos, São Paulo e observou que o sistema usado foi capaz de produzir efluentes com valores abaixo de 1 uT, assim como verificado em AF1 nesta pesquisa. Alcantara (2010) reforça que sistemas de dupla filtração podem ser utilizados para tratar águas com elevada turbidez, por exemplo, acima de 150 uT.

5.3 Caracterização da água bruta (carreira de filtração 2)

A Tabela 11 apresenta os valores encontrados para caracterização da água bruta (AB2) a ser usada no sistema de dupla filtração com filtro ascendente de areia e filtro descendente de areia e antracito (FAA + FDAAT) na carreira de filtração 2.

Tabela 11 — Caracterização da água bruta da carreira de filtração 2

		Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)
Dia 1	Coleta 1	70	-	8,24	27,3	10,9
	Coleta 2	70	-	8,33	28,2	10,6
	Coleta 3	70	9,30	8,29	27,7	10,5
	Coleta 4	70	-	8,30	27,5	10,6
Dia 2	Coleta 1	70	-	8,23	27,1	11,6
	Coleta 2	70	-	8,09	27,5	10,3
	Coleta 3	70	9,70	8,24	27,2	11,1
	Coleta 4	70	-	8,22	26,7	12,3
Dia 3	Coleta 1	70	-	8,03	27,7	10,8
	Coleta 2	70	-	8,04	28,1	11,4
	Coleta 3	70	9,25	8,10	28,2	9,47
	Coleta 4	70	-	8,11	27,8	10,6
Dia 4	Coleta 1	70	-	8,06	28,1	10,3
	Coleta 2	70	-	8,03	28,5	10,5
	Coleta 3	70	9,01	8,06	27,4	10,1
	Coleta 4	70	-	8,06	28,3	10,0
	Média	70	9,31	8,15	27,6	10,6
	Máximo	70	9,70	8,33	28,5	12,3
	Mínimo	70	9,01	8,03	26,7	9,47
	Desvio Padrão	0	0,288	0,107	0,491	0,676

Fonte: elaborada pelo autor.

Com relação a cor aparente das águas brutas na carreira de filtração 2 (AB2) observa-se que a média dos valores encontrados para este parâmetro foi 70 uH, pois em todas as coletas e repetições o valor encontrado foi o mesmo. Destaca-se que a água bruta AB2 foi coletada durante os meses de fevereiro e março de 2023, correspondente a estação chuvosa no estado do Ceará. Segundo Lobón *et al.* (2015), as precipitações exercem influência sobre a qualidade da água. Santos e Sampaio (2009) ao analisarem a influência da chuva sobre a cor aparente da água do açude Gavião observaram aumento deste parâmetro. Silva *et al.* (2020) também verificaram que no período chuvoso existe o aumento da cor deste manancial.

O valor médio das quatro repetições mostrou um COT de 9,31 mg/L, sendo o valor máximo de 9,7 mg/L e o mínimo de 9,01. O pH da água bruta AB2 mostra média geral 8,15, que é um valor levemente alcalino. O valor máximo encontrado foi de 8,33 e o mínimo de 8,03 (Tabela 11). Do ponto de vista estatístico quando se consideram os valores dos módulos das diferenças das médias e a DMS para os parâmetros de cor e pH, as amostras não apresentaram diferenças significativas.

A temperatura da água bruta AB2 apresentou como média geral 27,6°C, valor máximo de 28,5°C e mínimo de 26,7°C (Tabela 11). Resultados semelhantes a esses resultados foram encontrados em outras pesquisas já realizadas no Gavião. Em 2016, a temperatura média do açude durante o primeiro semestre foi 27,5°C (CEARÁ, 2017), bem próxima do encontrado para AB2 nos meses de fevereiro e março de 2023. Assim como observado para o pH e cor aparente não foram identificadas diferenças significativas entre as amostras para o parâmetro

Para a turbidez, a média geral foi de 10,6 uT para a água bruta AB2, sendo o valor mínimo de 9,47 uT e o máximo de 12,3 uT (Tabela 11). O aumento da turbidez em dias chuvosos como observado nesta etapa do trabalho foi verificado por Almeida, Silva e de Paula (2017). Estes autores relataram que maiores valores de turbidez ocorrem em períodos chuvosos, devido as precipitações que aumentam o escoamento superficial, carregando partículas para dentro da água. Silva *et al.* (2020) ratificaram este comportamento ao compararem a qualidade da água bruta da Bacia do Ribeirão, em Juiz de Fora, Minas Gerais. Do ponto de vista estatístico também não houve diferenças significativas entre as amostras de água bruta AB2.

5.4 Caracterização da água tratada por dupla filtração (sistema FAA + FDAAT)

A carreira de filtração 2 foi executada em sistema de dupla filtração constituído por um filtro ascendente de areia e outro descendente de areia e antracito (FAA + FDAAT) tratando a água bruta (AB2). Na Tabela 12 estão apresentados os valores determinados dos parâmetros analíticos selecionados na água filtrada da carreira de filtração 2 (AF2).

Tabela 12 — Caracterização da água filtrada após dupla filtração em filtro ascendente de areia (FAA) e filtro descendente de areia e antracito (FDAAT) na carreira de filtração 2

		Cor aparente (uH)	COT (mg/L)	pH	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)
Dia 1	Coleta 1	5	-	7,81	26,3	0,25
	Coleta 2	5	-	7,69	26,9	0,28
	Coleta 3	5	6,44	7,79	26,5	0,28
	Coleta 4	5	-	7,82	26,9	0,26
Dia 2	Coleta 1	5	-	7,88	26,6	0,34
	Coleta 2	5	-	7,91	26,7	0,28
	Coleta 3	5	6,70	8,02	27,0	0,28
	Coleta 4	5	-	7,89	26,4	0,30
Dia 3	Coleta 1	5	-	7,54	27,2	0,21
	Coleta 2	5	-	7,69	27,9	0,21
	Coleta 3	5	6,31	7,83	27,8	0,20

Dia 4	Coleta 4	5	-	7,72	27,3	0,26
	Coleta 1	5	-	7,71	27,4	0,30
	Coleta 2	5	-	7,74	27,5	0,30
	Coleta 3	5	6,38	7,79	27,2	0,29
	Coleta 4	5	-	7,77	28,3	0,25
	Média	5	6,45	7,78	27,1	0,26
	Máximo	5	6,70	8,02	28,3	0,34
	Mínimo	5	6,31	7,54	26,3	0,20
	Desvio Padrão	0	0,170	0,111	0,569	0,037

Fonte: elaborada pelo autor.

A Tabela 13, por sua vez, mostra os valores das médias de cada dia de experimento para a AF2, bem como o desvio padrão e o VMP presente na Portaria nº 888 de 2021.

Tabela 13 — Média dos parâmetros para caracterização da água após dupla filtração em filtro ascendente de areia (FAA) e filtro descendente de antracito e areia (FDAAT) da carreira de filtração 2

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Média	VMP
Cor Aparente (uH)	5	5	5	5	5	15
COT (mg/L)	6,44	6,70	6,31	6,38	6,45	-
pH	7,77	7,92	7,69	7,75	7,78	6 a 9,5
Temperatura (°C)	26,6	26,6	27,5	27,6	27,1	-
Turbidez (uT)	0,26	0,30	0,22	0,28	0,26	5

Fonte: elaborada pelo autor.

A cor aparente da água tratada por dupla filtração FAA + FDAAT (AF2) apresentou valor médio de 5 uH (Tabela 12), o que corresponde a uma redução de 92,85% do valor inicial da turbidez da água AB2 (70 uH) e enquadra a água AF2 dentro do que preconiza a Portaria nº 888 de 2021, que determina um VMP de 15 uH. Ademais a filtração realizada com areia e antracito é capaz de remover partículas e microrganismos presentes na água, uma vez que a combinação destes dois materiais filtrantes é capaz de reduzir a cor, turbidez, sabor e odor presentes na água bruta (FREIRE, 2018).

A utilização de antracito em sistemas de filtração já foi relatada em outros trabalhos. Lima (2019) usou areia e antracito para tratar água com elevada cor e turbidez e mostrou resultados satisfatórios na redução da cor aparente, da ordem de 8 uH.

Roecker (2021) ao tratar água com cianobactérias combinando diversos tipos de leitos filtrantes observou que o filtro de areia e antracito apresenta melhores resultados para a remoção de cor, turbidez e cianobactérias.

Com relação ao parâmetro COT na água AF2, a média geral foi 6,45 mg/L, com valor máximo e mínimo de 6,70 e 6,31 mg/L, respectivamente (Tabela 12). A redução do COT em AF2, comparando-a com AB2 foi de 30,7%, ligeiramente maior que aquela encontrada no sistema FAA + FDA. Notadamente somente um dos resultados ultrapassou a média geral, o que pode ser atribuído a chuvas intensas que contribuíram para um aumento na quantidade de matéria orgânica na AF2 desse dia.

Trabalho realizado em uma ETA em Ahvaz, Irã, demonstrou que filtros com antracito possuem maior capacidade de remoção de COT, se comparados a filtros convencionais, com uma eficiência que superou 65% (NOREDINVAND; TAKDASTAN; YENGEJEH, 2015). A mesma capacidade de tratamento foi encontrada por Baraee *et al.* (2015) ao analisarem biofiltros pilotos que possuíam antracito em sua composição. Assim, a carreira de filtração 2 que possui filtro com antracito ratifica os resultados satisfatórios quanto a redução de matéria orgânica presente no efluente.

A média geral do pH para a AF2 foi de 7,78; com valor máximo de 8,02 e mínimo de 7,54. Em geral todos os valores obedecem ao VMP deste parâmetro, que é de 6 a 9,5, cumprindo assim os requisitos legais (BRASIL, 2021). Wu *et al.* (2011), ao combinarem diversos tipos de substratos para remover fósforo verificaram que o antracito possuiu a melhor capacidade de controlar o pH nas amostras testadas, reduzindo a quantidade de íons H^+ e tornando o efluente menos alcalino, assim como observado na carreira de filtração 2. A Tabela 12 mostra que a temperatura média da AF2 foi 27,1°C, tendo como valor máximo 28,3°C e mínimo 26,3°C. No Brasil, no entanto, não existe VMP para este parâmetro.

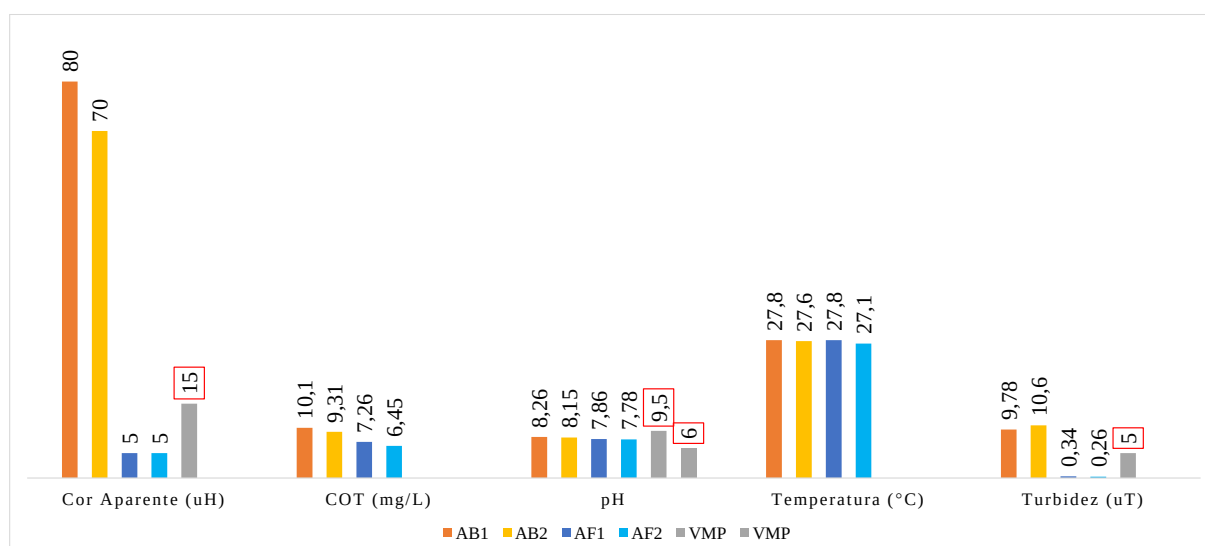
A turbidez média da água AF2 foi de 0,26 uT, com valor máximo de 0,34 uT e mínimo de 0,20 uT, as quais são bem inferiores ao VMP permitido para a turbidez na água tratada que é de 5 uT, o que confirma a eficiência dessa carreira de filtração em controlar a turbidez da água (Tabelas 12 e 13). Dentre as médias de turbidez, somente um dia esteve acima da média geral. Isso ocorreu provavelmente devido à intensa chuva presente no dia de coleta, fator que influencia no aumento da turbidez pois é capaz de carrear materiais para dentro da água através de escoamento e torná-la mais turva (ALMEIDA; SILVA; de PAULA, 2017).

Freire (2018) relata que quando areia e antracito são combinados em sistema de filtração há uma maior eficiência no processo de filtração, uma vez que a areia serve de suporte para o antracito, o qual evita entupimento do filtro e aumenta a remoção da turbidez.

Sounthararajah *et al.* (2016) estudaram a influência do carvão ativado granular para remover turbidez e metais pesados de águas pluviais e observaram que um pré-filtro de antracito aumenta a remoção de turbidez presente no meio. Brinck, Abreu e Ferreira-Filho (2015) avaliaram a influência da altura do leito filtrante para melhorar a água filtrada e relataram que tanto o filtro de areia quanto o de antracito obtiveram bons resultados na redução de turbidez, sendo o de antracito o mais eficiente.

Para fins de comparação, nesta parte do trabalho fez-se uma avaliação das eficiências dos dois sistemas de dupla filtração usados quanto a remoção dos parâmetros de cor aparente, COT, pH, temperatura e turbidez nas águas sob estudo frente a legislação nacional. A Figura 11 sumariza os resultados obtidos.

Figura 11 — Comparação entre os valores médios dos parâmetros físico-químicos analisado para as águas brutas (AB1 e AB2) e tratadas por dupla filtração (AF1 e AF2)



AB1: água bruta da carreira de filtração 1.

AB2: água bruta da carreira de filtração 2.

AF1: água tratada por dupla filtração (DF) usando leitos ascendente e descendente na areia da carreira 1.

AF2: água tratada por DF usando leito ascendente de areia e descendente de areia e antracito na carreira 2.

VMP: valor máximo permitido.

Fonte: elaborada pelo autor.

Na Figura 11 é possível perceber que os valores médios de cor aparente, pH, temperatura e COT da água bruta AB1 se apresentaram maiores que o da água bruta AB2, a exceção da turbidez. Vale ressaltar que a carreira de filtração 2 ocorreu durante meses que marcam a época chuvosa no estado do Ceará e este fator é capaz de alterar a quantidade de partículas presentes na água (RICHTER, 2009). O aumento da intensidade das chuvas carrega materiais sólidos para

dentro do açude, os quais ficaram suspensos na água e influenciaram no aumento do parâmetro (ALMEIDA; SILVA; de PAULA, 2017; RICHTER, 2009).

Particularmente para o pH da água bruta AB2 nos meses em que ocorreu a carreira de filtração 2 (período chuvoso), a água bruta do açude Gavião tornou-se menos alcalina, o que pode ser atribuído a um provável carreamento de substâncias para dentro do manancial devido ao escoamento superficial causado pelas precipitações concentradas nos primeiros meses do ano no estado do Ceará (SANTOS; SAMPAIO, 2009). Para a temperatura a diferença de 0,02°C pode ser considerada insignificante embora, o clima mais frio na estação chuvosa pode ter contribuído para o menor valor absoluto em AB2.

A ANOVA com os dados de AF1 e AF2 construída a partir dos valores de DMS das diferenças das médias dos dois tratamentos está apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 — Diferença mínima significativa para os parâmetros AF1 e AF2 após tratamento das águas brutas da ETA usando diferentes sistemas de dupla filtração

	Média AF1 (FAA + FDA)	Média AF2 (FAA + FDAAT)	Módulo da diferença das médias	DMS
Cor Aparente (uH)	5	5	0	
COT (mg/L)	7,26	6,45	0,805	
pH	7,86	7,78	0,080	0,364
Temperatura (°C)	27,8	27,1	0,700	
Turbidez (uT)	0,34	0,26	0,080	

DMS: diferença mínima significante.

Fonte: elaborada pelo autor.

Os resultados encontrados na Tabela 14 mostram diferença significativa somente em dois parâmetros analisados: a temperatura e o COT, pois o módulo da diferença das médias ficou acima da DMS. Apesar de uma redução absoluta maior no tratamento por dupla filtração com leito somente de areia (FAA + FDA), este tratamento não apresenta diferença significativa para o tratamento com leito de areia e antracito.

Este mesmo comportamento foi observado para as variações do pH final das águas brutas tratadas AB1 e AB2. Em geral as reduções de pH podem ser associadas a ação do coagulante que possui a capacidade de diminuir o pH através da liberação de íons H^+ no meio (TREVISAN, 2014). Wu *et al.* (2011) ao combinarem diversos tipos de substratos para remover fósforo, verificaram que o antracito possuiu a melhor capacidade de controlar o pH nas amostras

testadas, reduzindo a quantidade de íons H^+ e tornando o efluente menos alcalino, o que pode explicar o menor valor de pH no leito FAA + FDAAT. Já em relação à temperatura, as diferenças significativas observadas podem, em primeira vista, serem associadas as menores temperaturas locais típicas do período chuvoso.

Em relação aos valores de turbidez para as águas filtradas dos dois tratamentos, o leito contendo areia e antracito mostrou uma remoção levemente superior das partículas e outros materiais causadores de turbidez da água, entretanto do ponto de vista estatístico as diferenças entre os tratamentos não podem ser consideradas significativas (Tabela 14).

Sounthararajah *et al.* (2016) estudaram a influência do carvão ativado granular para abatimento da turbidez e remoção de metais pesados de águas pluviais e observaram que um pré-filtro de antracito aumenta a remoção de turbidez presente no meio. Brinck, Abreu e Ferreira-Filho (2015) avaliaram a influência da altura do leito filtrante para filtros de areia e de antracito na filtração da água bruta e encontram resultados superiores de redução de turbidez para o leito de antracito.

Por fim ao se comparar os valores de COT nas amostras tratadas por dupla filtração (AF1 e AF2) observa-se uma maior redução (30,7%) no leito misto contendo antracito e areia quando comparado ao leito composto somente por areia (20,7%), o que constitui diferença significativa quando se considera o conjunto de dados analisados (Tabela 14) e indica a maior eficiência de remoção de matéria orgânica (MON) pelo antracito. Em trabalho realizado em uma ETA em Ahvaz, Irã, observou-se que filtros com antracito possuem maior capacidade de remoção de COT se comparados a filtros convencionais, e em alguns casos essa eficiência superou 65% (NOREDINVAND; TAKDASTAN; YENGEJEH, 2015). Baraee *et al.* (2015) ao analisarem biofiltros pilotos que possuíam antracito em sua composição observaram também maiores reduções de matéria orgânica presente no efluente quando do uso do antracito.

5.5 Avaliação da formação de trihalometanos

O cloro é o agente desinfetante mais utilizado no mundo e sua eficácia no tratamento de água é cientificamente comprovada (EVLAMPIDOU *et al.*, 2020). Ao realizar a desinfecção da água com essa substância, o objetivo é eliminar a matéria orgânica e micro-organismos patogênicos (GOLFINOPOULOS; NIKOLAOU, 2005). No entanto, a reação do cloro com a MON presente na água forma os trihalometanos, que são considerados os mais significativos SPDs (EVLAMPIDOU *et al.*, 2020) e estão associados a quadros oncogênicos e mutagênicos (PINTO; BALTAZAR, 2020).

Na última etapa dessa pesquisa, as águas filtradas das duas carreiras de filtração foram submetidas à desinfecção com cloro em três concentrações distintas: 5, 7,5 e 10 mg/L por duas horas de contato. Nas Tabela 15 e 16 a seguir estão apresentados os resultados de trihalometanos totais (TTHM) formados nas águas desinfetadas com cloro na carreira de filtração 1 (AT1) e na carreira de filtração 2 (AT2).

Tabela 15 — TTHM (mg/L) formados na água desinfetada da carreira de filtração 1 (AT1)

	Dosagem de cloro		
	5 mg/L	7,5 mg/L	10 mg/L
Dia 1	0,053	0,053	0,056
Dia 2	0,047	0,048	0,048
Dia 3	0,056	0,062	0,059
Dia 4	0,052	0,054	0,055
Média	0,052	0,054	0,054
Máximo	0,056	0,062	0,059
Mínimo	0,047	0,048	0,056
Desvio padrão	0,003	0,006	0,005

Fonte: elaborada pelo autor.

Na Tabela 15 observa-se que para as diferentes dosagens de cloro aplicadas para a desinfecção da água tratada por dupla filtração (carreira de filtração 1) em leitos de areia as concentrações de TTHM verificadas para todos os tratamentos estiveram entre 0,047 e 0,062 mg/L, os quais são notadamente inferiores ao valor de 0,100 mg/L recomendado pela legislação brasileira (BRASIL, 2021). Esse mesmo comportamento foi observado nas águas tratadas por dupla filtração em leitos de areia e antracito (Tabela 16), onde as concentrações de TTHM formadas variaram entre 0,037 e 0,043 mg/L.

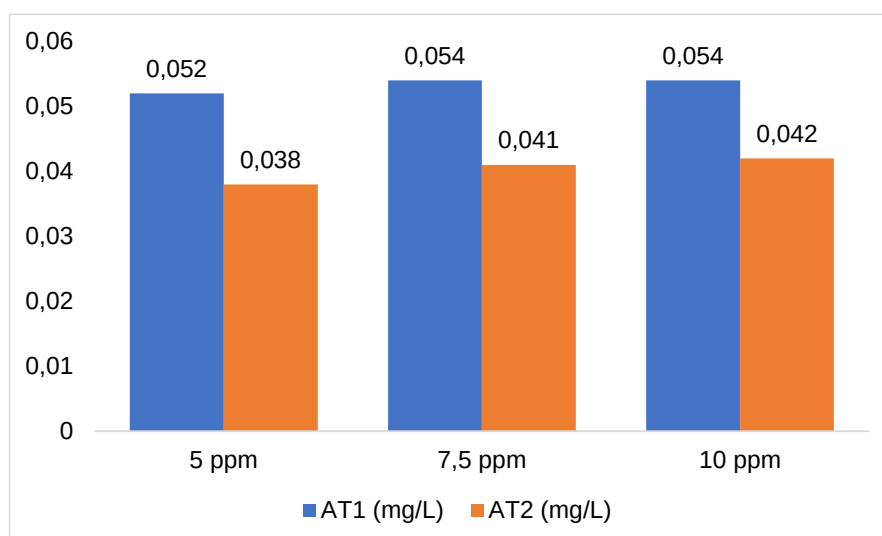
Tabela 16 — TTHM (mg/L) formados na água desinfetada da carreira de filtração 2 (AT2)

	Dosagem de cloro		
	5 mg/L	7,5 mg/L	10 mg/L
Dia 1	0,039	0,042	0,043
Dia 2	0,037	0,042	0,043
Dia 3	0,039	0,040	0,041
Dia 4	0,040	0,042	0,043
Média	0,038	0,041	0,042
Máximo	0,040	0,042	0,043
Mínimo	0,037	0,040	0,041
Desvio padrão	0,001	0,001	0,001

Fonte: elaborada pelo autor.

Nas Tabelas 15 e 16 também se observa que a formação de THMs está diretamente ligada a quantidade de dosagem de cloro, ou seja, são fatores diretamente proporcionais. Esse resultado já era esperado, assim como confirmado por Lardini e Oliveira (2010). Particularmente quando se comparam as duas águas filtradas e desinfetadas por cloração verifica-se que a AT2 apresenta menor formação de TTHM nas três dosagens de cloro empregadas (Figura 12). Estas concentrações são inferiores às encontradas por Albuquerque (2022) na saída da ETA estudada nos anos de 2019 e 2020.

Figura 12 — Comparação entre os valores médios de TTHM formados nas águas tratadas por dupla filtração e desinfecção com cloro



Fonte: elaborada pelo autor.

Vários fatores influenciam na formação de TTHM na água, com destaque para fatores como: a quantidade de MON, a dosagem de cloro, a temperatura e o pH (METCALF; EDDY, 2014; PAIXÃO *et al.*, 2014; BECKER, 2010). HONG *et al.* (2013) relatam ainda que a concentração de COT está diretamente ligada ao aumento ou diminuição de TTHM na água, obedecendo em geral uma relação de proporcionalidade direta.

Comparando os resultados de COT das águas brutas (AB1 e AB2) e filtradas (AF1 e AF2) com os valores de TTHM formadas após desinfecção em AT1 e AT2 é possível verificar que as maiores quantidades de COT na carreira de filtração 1 determinaram maior formação de TTHM na água tratada 1 (AT1). Este mesmo efeito foi observado por Albuquerque *et al.* (2021), em estudos de formação de TTHM no estado do Ceará mostrando a proporcionalidade entre MON e COT. A pesquisa de Abe *et al.* (2014) considera que é necessário remover a MON para a minimização da formação de TTHM ao final do processo de cloração da água. Zainudin, Hasan e Abdullah (2018) afirmaram que uma maior quantidade de MON na água influencia na formação de SPDs, sendo os TTHM os mais significativos. Sriboonnak *et al.* (2021) ao pesquisarem a formação de TTHM de acordo com as mudanças sazonais, observaram que durante a época chuvosa houve menor concentração de MON na água bruta, sendo formados menos TTHM, assim como ocorreu na carreira de filtração 2 desta pesquisa.

De acordo com Marina *et al.* (2010), a temperatura pode influenciar na formação de TTHM uma vez que temperaturas mais altas têm a capacidade de aumentar as reações químicas do cloro com a MO presente na água. Em tempo, analisando as temperaturas das duas carreiras de filtração, tem-se que na carreira 1 existem os maiores valores para este parâmetro, o que também pode ter influenciado no aumento de formação de TTHM em AT1.

Lee *et al.* (2013) ao analisarem a qualidade da água de ETAs da Coreia do Sul, observaram que durante o verão, onde as temperaturas são mais elevadas, ocorre uma maior formação de SPDs. Franco (2018) avaliando a influência da temperatura no aumento da formação de TTHM em água contendo cianobactérias também constataram aumento da formação de SPDs. Resultado semelhante foi encontrado por Lorenzini (2021) que ao analisar a formação de TTHM no período de 2014 a 2020 no estado do Rio Grande do Sul, verificaram que houve maior quantidade de amostras acima do VMP durante o verão.

O pH é outro fator determinante na formação de TTHM. De acordo com Latif (1991), a maior formação de TTHM é esperada em soluções com pH mais básicos, uma vez que a reação é catalisada pela alcalinidade. Segundo estudos realizados por Sriboonnak *et al.* (2021), ao verificarem a relação de efeitos sazonais com a formação de TTHM, a formação de TTHM foi maior quando o pH estava acima de 8, corroborando com Latif (1991).

Assim o pH da carreira de filtração 1, superior ao encontrado na carreira de filtração 2, pode ter contribuído para a menor formação de TTHM na AT2 que apresentava menor valor de pH inicial. A Organização Mundial da Saúde (OMS) em seu guia elaborado para o estudo da qualidade da água consumo humano relata que uma das técnicas para se reduzir a formação de TTHM está associada à redução do pH (WHO, 2011).

A análise estatística (ANOVA) dos dados mostra variância entre os mesmos, entretanto ao se calcular o módulo entre as médias das diferenças de dosagens entre os tratamentos, observa-se que não há uma diferença significativa entre as dosagens empregadas (Tabela 17).

Tabela 17 — Diferença mínima significativa entre os valores de TTHM para os tratamentos das águas brutas usadas nesta pesquisa

	Módulo da diferença das médias	DMS
5 mg/L (AT1 – AT2)	0,0133	0,168
7,5 mg/L (AT1 – AT2)	0,0128	0,162
10 mg/L (AT1 – AT2)	0,0120	0,152

Fonte: elaborada pelo autor.

Embora a diferença entre as concentrações de TTHM na AT1 e AT2 não seja significativa, ressalta-se que na carreira de filtração 2, onde os filtros eram compostos de areia e antracito houve menor formação de TTHM, como também observado por Noredinwand, Takdastan e Yengejeh (2015). Delbazi *et al.* (2011) relatam que entre filtros de areia, areia e antracito e outro de antracito e argila expandida testados na filtração de água bruta, o leito contendo areia e antracito foi o que apresentou a maior eficiência de remoção de MON e de turbidez.

Os resultados analíticos encontrados para as concentrações individuais de cada THM podem ser visualizados na Tabela 18.

Tabela 18 — Concentração média de THMs nas diferentes águas tratadas (AT1 e AT2) por dupla filtração e cloração

THM (µg/L)	AT1 (filtro de areia)			AT2 (filtro de areia e antracito)		
	5 mg/L	7,5 mg/L	10 mg/L	5 mg/L	7,5 mg/L	10 mg/L
Clorofórmio	24,4	25,9	26,2	13,1	13,9	15,1
Bromodiclorometano	19,6	19,8	20,1	16,8	17,6	17,8

Dibromoclorometano	8,24	7,93	8,41	9,15	9,82	10,1
Bromofórmio	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

LQ: limite de quantificação. LQ (CH₃Br) = 6,259 µg/L.

Fonte: elaborada pelo autor.

Ao analisar a Tabela 18, observa-se que o principal THM formado na água tratada da carreira de filtração 1 (AT1) foi o clorofórmio seguido pelo bromodiclorometano e dibromoclorometano, uma vez que bromofórmio não foi detectado, apresentando em todas as análises concentrações abaixo do limite de quantificação (LQ) do método. Por outro lado, em AT2 a maior concentração encontrada foi de bromodiclorometano seguido pelo clorofórmio e dibromoclorometano, respectivamente. Assim como observado em AT1, a quantidade de bromofórmio ficou abaixo do LQ.

As maiores concentrações de clorofórmio e bromodiclorometano nos efluentes tratados destacam a necessidade do controle periódico dessas espécies químicas em função de suas capacidades cancerígenas. De acordo com a Agência Internacional de Investigação do Câncer, essas duas espécies são classificadas como pertencentes à classe B2, que inclui substâncias que são possivelmente cancerígenas à espécie humana (USEPA, 2009), com capacidade comprovada de causar câncer, consequências sobre os rins e fígado, além de atingir o sistema nervoso e reprodutivo (MIRANDA, 2021; VÁSQUEZ, 2021).

Corroborando com os resultados encontrados, uma pesquisa conduzida em Taiwan utilizando amostras de água de piscinas constatou que o clorofórmio apresentou a maior concentração de THMs em águas tratadas com cloro, com uma média de 40,7 µg/L (LEE, J.; HA, K. T.; ZOH, K. D., 2009). Foi conduzida uma pesquisa na Espanha que avaliou a quantidade de THMs presentes na urina de frequentadores e funcionários de piscinas como um meio de avaliar a absorção desses compostos. Os resultados revelaram que somente duas substâncias, clorofórmio e bromodiclorometano, estavam em níveis detectáveis (CARO, J.; GALLEGU, M., 2007). Mais recentemente, Cerreta *et al.* (2020) também identificaram maior formação de clorofórmio e bromodiclorometano em amostras de água desinfetadas com cloro. A prevalência dessas duas espécies, assim como ocorreu em AT1 e AT2, também foi observada por Cesco (2007).

6 CONCLUSÃO

A qualidade da água bruta quanto aos parâmetros cor aparente, carbono orgânico total (COT), pH, temperatura e turbidez apresentaram pouca diferença. No entanto, os valores das coletas realizadas nos meses iniciais de 2023 foram menores que aquelas ocorridas no ano anterior em função do período das coletas, com exceção do parâmetro turbidez.

Analizando as águas filtradas quanto aos parâmetros da água bruta, observou-se que a AF2 apresentou valores menores para a maioria dos parâmetros analisados, se comparada à AF1. Contudo, o sistema de dupla filtração utilizado com ambas composições de filtros se mostraram eficientes no tratamento da água bruta do açude Gavião, enquadrando-a nos valores máximos permitidos (VMP) pela legislação brasileira quanto ao fornecimento de água potável.

A AF2 foi submetida a um filtro ascendente composto de areia e outro descendente de antracito e areia onde houve uma eficiência de redução de 92% da cor aparente, 30,7% na concentração de COT, 4,5% no pH e 97% na turbidez; já o efluente AF1, filtrado somente em filtros ascendente e descendente de areia, apresentou uma redução de 93% na cor aparente, 28,1% no COT, 4,8% no valor do pH e 96% na turbidez. Percebe-se que esses valores são semelhantes em ambas as carreiras de filtração.

Os efluentes AF1 e AF2 ao serem desinfetados com cloro em ensaio de bancada, nas dosagens 5, 7,5 e 10 mg/L, formaram trihalometanos abaixo do VMP pela legislação brasileira, sendo a concentração de TTHM proporcional à dosagem de desinfetante aplicada. Apesar da filtração com antracito ter apresentado valores de TTHM menores, a diferença entre as duas carreiras de filtração não foi significativa.

Nas águas tratadas das carreiras de filtração 1 e 2 os principais THMs formados foram o clorofórmio e o bromodiclorometano, respectivamente. No entanto, em nenhum dos efluentes tratados com cloro foi identificada a espécie bromofórmio, uma vez que a concentração ficou abaixo do limite de quantificação do método utilizado.

REFERÊNCIAS

- ABE, S.A.L.; FURLAN, C.H.; BONGIOVANI, M.C.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R. Avaliação do processo de microfiltração quanto à remoção de matéria orgânica natural (MON) com a finalidade de minimizar a formação dos trihalometanos. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 135-140, 2014.
- ADBALA NETO, E. F. **Pré e pós-tratamento por eletro-oxidação associada à fotocatalise heterogênea em uma ETA por filtração direta visando a redução dos precursores dos compostos organoclorados**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- ALBREKTIENĖ, R.; RIMEIKA, M.; ZALIECKIENĖ, E.; ŠAULYS, V.; ZAGORSKIS, A. Determination of organic matter by UV absorption in the ground water. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 20, n. 2, p. 163-167, 2012.
- ALBUQUERQUE, M. V. C.; LOPES, W. S.; CARTAXO, A. S. B.; LEITE, V. D. Filtração direta descendente: conceito, características e aplicações no tratamento de água. In: Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade, 1.; Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 3., 2019, Campina Grande, **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2020, p. 499-513. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/65011>. Acesso em 04 nov. 2022.
- ALBUQUERQUE, T. N. Análise da concentração de trihalometanos em um sistema de abastecimento de água entre os anos de 2015 e 2020. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 13, Teresina, 2022. **Anais [...]** Disponível em: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.13.22.IX-001>. Acesso em: 05 mar. 2023.
- ALBUQUERQUE, T. N.; COSTA, E.; GADELHA, F. D. A.; ALBUQUERQUE, B. F. Avaliação de trihalometanos na rede de abastecimento de água de um município do estado do Ceará. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente, 18, Poço de Caldas, 2021. **Anais [...]** Disponível em: http://www.meioambientepocos.com.br/ANAIS%202021/11_avaliao-de-trihalometanos-na-rede-de-abastecimento-de-gua-de-um-municpio-do-estado-do-cear.pdf. Acesso em: 14 mar. 2023.
- ALCANTARA, F. J. V. de. **Estudo comparativo de dois leitos filtrantes com porosidades distintas em sistemas de dupla filtração para tratamento de água**. 2010. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) — Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.
- AL-GHOUTI, M.; AL KAABI, M.; ASFAGDANA, M. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, p. 222-239, 2019.
- ALMEIDA, M. C.; SILVA, M. M.; DE PAULA, M. Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de água em relação à turbidez, cor e pH da água. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 5, n. 1, p. 25-40, 2017.

ALVARENGA, J. A. **Avaliação da formação de subprodutos da cloração em água para consumo humano**. 2010. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

AMARAL, A. P. R. **A transposição didática como abordagem metodológica para o tema eutrofização**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ensino de Ciências) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2020.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

ARAÚJO, G. M.; LIMA NETO, I. E.; BECKER, H. Estado trófico em reservatório urbano raso—estudo de caso: açude Santo Anastácio, Fortaleza (CE). **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales, Investigación, Desarrollo y Práctica**, v. 9, n. 2, p. 212-228, 2016.

ARNESEN, A. S.; LIMA, F. A. S.; LOTITO, D. M. R.; SILVA, P. L.; ROVERI, F. Avaliação da adoção do parâmetro carbono orgânico total em substituição à demanda bioquímica de oxigênio para monitoramento da qualidade de corpos d'água superficiais. In: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente-Encontro Técnico AESABESP, 29. **Anais [...]** São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/02/9596.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

BARAEE, I.; MEHDI BORGHEI, S.; TAKDASTAN, A.; HASANI, A. H.; JAVID, A. H. Performance of biofilters in GAC-sand and anthracite-sand dual-media filters in a water treatment plant in Abadan, Iran. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 42, p. 19655-19664, 2016.

BARBALHO, B. C. **Otimização do tratamento de água de manancial com baixa turbidez e cor elevada utilizando filtração direta e dupla filtração**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Química) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

BARROS, J. C. PARENTE, P. A. B.; VIDAL, T. F.; PEREIRA, R. F.; BARRETO, F. M. S. Classificação da qualidade da água do açude Gavião utilizando o Índice de Qualidade das Águas (IQA-CETESB). In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 12. 2014, Natal. Disponível em: <https://eventos.abrh.org.br/xiisrh/anais/papers/PAP018249.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2023.

BARROS, W. M. **Riscos associados a utilização do agente desinfetante cloro no tratamento de água potável: uma revisão de literatura**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2018.

BECKER, B. R. **Proposta de teste para verificação da formação de trihalometanos (TAM) em ETAs**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BENEDETTI, S. **Avaliação do teor de carbono orgânico total na qualidade da água: aplicação na radiofarmácia**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BENETTI, A. D.; QUEIROZ, S. C. B.; DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; SILVA, G. G. Dupla filtração para o tratamento de água eutrofizada na região norte do Brasil. **Revista DAE**, v. 66, n. 212, p. 41-60, 2018.

BRASIL. Agência Nacional das Águas (ANA). **Portal da Qualidade das Águas**. 2016. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/default.aspx>. Acesso em: 08 mar. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº. 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 mar. 2005.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS**, Brasília: Funasa, 2014.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. 4. ed., Brasília: Funasa, 2013.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisanacional-de-saneamento-basico.html?edicao=18098&t=o-que-e>. Acesso em: 23 fev. 2023

BRASIL. Portaria GM_MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 maio 2021. Seção 1, p. 127.

BRINCK, N. C. P.; ABREU, S. B.; FERREIRA FILHO, S. S. **Comportamento de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento em função da altura do meio filtrante**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54370/1/2009_eve_ncpbrinck.pdf. Acesso em: 10 mar. 2023.

CARO, J.; GALLEGGO, M. Assessment of exposure of workers and swimmers to trihalomethanes in an indoor swimming pool. **Environmental Science & Technology**, v. 41, n. 13, p. 4793-4798, 2007.

CAVALCANTE, R. F. **Aplicação da tecnologia eletrocoagulação operada por corrente direta pulsada no pré-tratamento de águas eutrofizadas do sertão central cearense**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

CEARÁ. Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará. 2018. **Projeto Básico do Tanque de Armazenamento das Águas de Lavagem dos Filtros da ETA Gavião**. Disponível em: <https://www.cagece.com.br/wp-content/uploads/2019/01/Projeto-B%C3%A1sico-I.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2021.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). **Inventários ambientais de açudes das bacias metropolitanas - açude Gavião**. 2017. Disponível em: https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/01/IVA-Gavi%C3%A3o_PSH.pdf. Acesso em: 08 mar. 2023.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). **Qualidade das águas dos açudes monitorados pela COGERH – campanha de maio/2019 - Relatório Final**. 2019. Disponível em: <http://cdn.funceme.br/hidro-ce/uploads/documentos/estado-trofico/relatorio-iet-maio-2019-ultima-versao-corrigida-20191003.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2023.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). **Qualidade das águas dos açudes monitorados pela COGERH – campanha de novembro/2022 - Relatório Final**. 2023. Disponível em: http://cdn.funceme.br/hidro-ce/uploads/documentos/RelatorioIETnov2022_final.pdf. Acesso em: 08 mar. 2023.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). **Qualidade das águas dos açudes monitorados pela COGERH – campanha de fevereiro/2023 - Relatório Final**. 2023. Disponível em: http://cdn.funceme.br/hidro-ce/uploads/documentos/Relat%C3%B3rioIETfev%202023_final.pdf. Acesso em: 09 maio 2023.

CERRETA, G.; ROCCAMANTE, M. A.; PLAZA-BOLAÑOS, P.; OLLER, I.; AGUERA, A.; MALATO, S.; RIZZO, L. Advanced treatment of urban wastewater by UV-C/free chlorine process: Micro-pollutants removal and effect of UV-C radiation on trihalomethanes formation. **Water Research**, v. 169, n. 1, p. 1-38, 2020.

CESCO, D. D. **Avaliação em escala real da formação de THMs em águas de abastecimento**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

COCENZA, G. A. S. **Estudo comparativo entre a aplicação do carvão ativado pulverizado e a filtração em carvão ativado granular para uma estação de tratamento de água de 100 L/s**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) — Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CORDEIRO, A. C. S.; SILVA, D. M. Remoção de matéria orgânica natural em água para consumo humano por processo de Fenton Homogêneo. **Sistemas & Gestão**, v. 13, n. 3, p. 311-320, 2018.

DANTAS, A. B.; PASCHOALATO, C. F. P. R.; FIGUEIREDO, J. O.; RAMOS, M. H. C. Remoção de cor, de ferro e de manganês em água com matéria orgânica dissolvida por meio de pré-oxidação, coagulação, filtração e adsorção em carvão ativado granular. **Revista DAE**, v. 59, n. 186, p. 46-55, 2011.

DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LdiBe, 2017.

DELBAZI, N.; AHMADI MOGHADAM, M.; TAKDASTAN, A. Comparison of mono layer filter (sand) dual media filter (anthracite and leca) and performance in removal of organic matter and turbidity. **Iranian Journal of Health & Environment**, v. 4, n. 3, p. 301-312, 2011.

DHEIN, C. A.; DICK, D. P.; BENDER, A. C. Comparação de métodos para determinação de substâncias húmicas em fertilizantes líquidos comerciais. **Química Nova**, v. 43, n. 8, p. 1138-1144, 2020.

DI BERNARDO, L. **Filtração Direta Aplicada a Pequenas Comunidades**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. DI B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005.

DUARTE, M. A. C. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

EVLAMPIDOU, I. *et al.* Trihalomethanes in drinking water and bladder cancer burden in the European Union. **Environmental health perspectives**, v. 128, n. 1, p. 017001-1-017001-14, 2020.

FERRARI, T.N.; JULIO, M. de; JULIO, T. de; SOUSA JUNIOR, W.C. Estudos de tratabilidade das águas do Rio Paraíba do Sul que abastecem o município de São José dos Campos/SP. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Práctica**, v. 5, n. 2, p. 45-58, 2012.

FERREIRA-FILHO, S. S. **Princípios, fundamentos e processos em engenharia ambiental**. 1. ed. Santana de Parnaíba: SGuerra Design, 2021.

FRAGOSO JUNIOR, C. R.; TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W.; MARQUES, M. D. M. L. Simulação de Eutrofização em Lagos Rasos II: Sistema do Taim (RS). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 4, p. 37-48, 2007.

FRANÇA, J. M. B. D., LOPES, I. K. C., SOUZA, A. C. D., PAULINO, W. D., MONTEIRO, C. M. G., AVELINO, F. F.; CAPELO NETO, J. Estudo das condições de estratificação e da qualidade da água do reservatório Gavião (Ceará-Brasil). **Revista DAE**, v. 69, n. 232, p. 119-132, 2021.

FRANCO, E. S. **Avaliação da formação de trihalometanos e ácidos haloacéticos decorrentes da cloração de águas de abastecimento contendo cianobactérias**. 2018. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

FREIRE, R. C. **Tratabilidade de águas eutrofizadas dos mananciais da bacia do Rio Capibaribe-PE**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal dos Recursos Hídricos) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Do Ceará, Fortaleza, 2018.

FREITAS, D. N. **Difusão da Água em Nanotubos de Carbono Sob Efeito de Campo Elétrico**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

GENISOGLU, M.; ERGI-KAYTMAZ, C.; SOFUOGLU, S. C. Multi-route–multi-pathway exposure to trihalomethanes and associated cumulative health risks with response and dose addition. **Journal Environ Management**, v. 233, p. 823-831, 2019.

GOLFINOPOULOS, S. K.; NIKOLAOU, A. D. Survey of disinfection by-products in drinking water in Athens, Greece. **Desalination**, v. 176, n. 1-3, p. 13-24, 2005.

GONDIM, A. L. N. **Aprimoramento da tratabilidade da água eutrofizada do açude Gavião visando à redução na geração de trihalometanos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para Gestão Municipal de Recursos Hídricos) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2018.

GUERRA, A. D. B.; TONUCCI, M. C.; CEBALLOS, B. S. O. D.; GUIMARÃES, H. R. C.; LOPES, W. S.; AQUINO, S. F. D.; LIBÂNIO, M. Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 603-612, 2015.

SABÓIA, A. G. C.; ALMEIDA, A. S. O.; SANTOS, H. A. D. S. Avaliação do uso de moringa como auxiliar de coagulação para o tratamento de águas de reservatórios eutrofizados. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 22-29, 2020.

HASANA, L.; HAKIM, W. L.; AMINUDIN, A.; SAHARI, S. K.; MULYANTI, B. A design and performance analysis of a telemetry system for remote monitoring of turbidity of water during the covid-19 pandemic. **Indonesian Journal of Science and Technology**, v. 5, n. 2, p. 299-307, 2020.

HEBERT, A.; FORESTIER, D.; LENES, D.; BENANOU, D.; JACOB, S.; ARFI, C., ... & LEVI, Y. Innovative method for prioritizing emerging disinfection by-products (DBPs) in drinking water on the basis of their potential impact on public health. **Water Res**, v. 44, n. 10, p. 3147–3165, 2010.

HEFFER, P.; PRUD'HOMME, M. **Fertilizer outlook 2016-2010**. In: IFA Annual Conference, 84, 2016. Disponível em: https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2016%20Global%20nitrogen%20fertiliser%20demand%20and%20supply.pdf. Acesso em: 05 mar. 2023.

HOEHN, R.C.; BARNES, D.B.; THOMPSON, B.C.; RANDALL, C.W.; GRIZZARD, T.J.; SHAFFER, P.T.B. Algae as sources of trihalomethane precursors. **Journal American Water Works Association**, v. 72, n. 6, p. 344-350, 1980.

HOEK, J. P. V.; HOFMAN, J. A. M. H.; GRAVELAND, A. The use of biological activated carbon filtration for the removal of natural organic matter and organic micropollutants from water. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 9, p. 257-264, 1999.

HONG, H. C.; HUANG, F. Q.; WANG, F. Y.; DING, L. X.; LIN, H. J.; LIANG, Y. Properties of sediment nom collected from a drinking water reservoir in South China, and its association with thm and haas formation. **Journal of Hydrology**, v. 476, p. 274-279, 2013.

JACANGELO, J. G.; DEMARCO, J.; OWEN, D. M.; RANDTKE, S. J. Selected processes for removing NOM: An overview. **Journal American Water Works Association**, v. 87, n. 1, p. 64-77, 1995.

JIMÉNEZ-ANTILLÓN, J; QUESADA-DELGADO, S; ROMERO-ESQUIVEL, L.G. Remoción de materia organica natural por tratamiento convencional de agua en un río tropical. **Tecnología en Marcha**. v. 35, n. 2, p. 48-60, 2022.

KOUL, B.; YADAV, D.; SINGH, S.; KUMAR, M.; SONG, M. Insights into the domestic wastewater treatment (DWWT) regimes: A review. **Water**, v. 14, n. 21, p. 48-60, 2022.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese (Doutorado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) — Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LARDINI, V; OLIVEIRA, E. C de. Determinação de trihlometanos em água por microextração em fase sólida no modo headspace. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 2, n. 4, p. 25-32, 2010.

LATIF, N. A. A. **Trihalomethane compounds in the drinking water of Kuwait: A survey from source to consumer**. 1991. 156 f. Thesis (Doctorate in Philosophy) – Brunel University, 1991.

LEE, J.; HA, K-T.; ZOH, K-D. Characteristics of trihalomethane (THM) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods. **Science of The Total Environment**, v. 407, n. 6, p. 1990-1997, 2009.

LEE, J.; KIM, E.; ROH, B.; EOM, S.; ZOH, K. Occurrence of disinfection by-products in tap water distribution systems and their associated health risk. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, p. 7675-7691, 2013.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 486 p. 2010.

LIMA, G. R. R. **Indicadores de qualidade de água nos reservatórios Acarape do Meio e Gavião**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

LIMA, J. A. P.; CAPELO-NETO, J. Dupla filtração modificada utilizando filtro de pressão a montante de filtro ascendente no tratamento de águas eutrofizadas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, p. 89-102, 2015.

- LIMA, J. K. L. **Avaliação da filtração direta descendente no tratamento de água de manancial com baixa turbidez e cor elevada**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
- LIMA, R. C, R. **Avaliação econômica das tecnologias de filtração direta aplicada ao tratamento de água para abastecimento de pequenas populações**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências, Engenharia Hidráulica e Saneamento) — Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.
- LINDROOS, A. J.; LINDHOLM-LEHTO, P.; PULKKINEN, J.; KIURU, T.; VIELMA, J. The effect of filtration with natural esker sand on the removal of organic carbon and suspended solids from the effluent of experimental recirculating aquaculture systems. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 231, p. 1-10, 2020.
- LOBÓN, G. S.; SCALIZE, P. S.; ANTUNES, I. M. H. R.; ALBUQUERQUE, M. T. D. Influência das chuvas na qualidade da água distribuída ao consumo humano. *In*: Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, 19. Poço de Calda, Minas Gerais. **Anais [...]** v. 19, 2015. Disponível em: <https://trabalhosasemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/5/1/t1t1e1a2015.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2023.
- LOPARDO, A. T. V.; FERNANDES, C. V. S.; AZEVEDO, J. C. R. Caracterização do carbono orgânico para avaliação ambiental da qualidade da água: Estudo de caso do Lago do Parque Barigüi. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 23-34, 2008.
- LORENZINI, R. **Análise da presença de trihalometanos na água para consumo humano do estado do Rio Grande do Sul no período de 2014 a 2020**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- MACEDO, C. F., SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: Consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2010.
- MACHADO, B. C.; SENS, M. L. Remoção de cianobactérias utilizando dupla filtração ascendente. **Revista DAE**, v. 6, n. 190, p. 20-26, 2012.
- MARINA, L. S; AYERDIB, M; LERTXUNDIA, A; BASTERRETxea, M; GOÑIA, F; ALVARED.J. I; ARRANZE. L; BLARDUNIE. E; IBARLUZEAA. J. M. Concentración de trihalometanos y de ácidos haloacéticos en el agua de consumo y esta durante el embarazo en la cohorte INMA-Gimación (Espanã). **Gaceta Sanitaria**, v. 24, n. 4, p. 321-328, 2010.
- MATILAINEN, A., GJESSING, E. T., LAHTINEN, T., HED, L., BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. An overview of the methods used in the characterisation of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment. **Chemosphere**, v. 83, n. 11, p. 1431-1442, 2011.
- MATSUMOTO, T.; CESCO, D. D. Os efeitos da pré-oxidação da água bruta em ETA de pequeno porte na produção de águas de abastecimento. 2006. *In*: Congresso

Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 30., Punta Del Este, 2006. Disponível em: <https://docplayer.com.br/16518352-Os-efeitos-da-pre-oxidacao-da-agua-bruta-em-eta-de-pequeno-porte-na-producao-de-aguas-de-abastecimento.html>. Acesso em 01 nov. 2021.

MEDEIROS, I. R.; SOUZA, L. Z.; BUENO, L. M.; JABUR, A. S. Utilização do coagulante natural PGA21CA no tratamento de água para consumo humano. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 1544-1549, 2020.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery**, 5 ed., 2014.

MICHELAN, D. C. G. S.; BATISTA, I. F.; BATISTA, D. F.; SANTOS, D. D. G.; MENDONÇA, L. C.; LIMA, D. M. F. Desempenho das etapas de tratamento de água da estação de tratamento de água Poxim. **Scientia Cum Industria**, v.7, n. 2, p. 7-14, 2019.

MIRANDA, J. P. **Trihalometanos em tanques residenciais de armazenamento de água tratada. Formação in loco versus transferência externa**. 2021. Tese (Doutorado em Química) — Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2021.

MOREIRA, A. V. S.; BUARQUE, H. L. B. **Caracterização da matéria orgânica dissolvida da água do açude Gavião, Pacatuba, Brasil**. 2018. Disponível em: https://prpi.ifce.edu.br/nl/_lib/file/doc4844-Trabalho/PIBIC%20Ana%20Vit%F3ria%2007-2017.pdf. Acesso em 13 mar. 2023.

MUTTAMARA, S.; SALES, C.I.; GAZALI, Z. The formation of trihalomethanes from chemical disinfectants and humic substances in drinking water. **Water Supply**, v. 13, n. 2, p. 105-117, 1995.

NASCIMENTO, J. M. H.; FARIAS, T. L.; SILVA, M. S.; SOUSA, L. A. M.; MOURÃO, F. V.; CORRÊA, G. M. Análise preliminar da qualidade da água de um corpo hídrico em Paragominas-PA. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 2272-2281, 2020.

REIS-NETO, A. F. R., MOREIRA, R. F., GUARDA, E. A., SILVA, G. G., QUEIROZ, S. C. B. O uso da adsorção em carvão ativado pulverizado na remoção de matéria orgânica natural em ETA de ciclo completo. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 12, n. 4, p. 181-193, 2020.

NOLASCO, G. M.; GAMA, E. M.; REIS, B. M.; REIS, A. C. P.; GOMES, F. J. S.; MATOS, R. P. Análise da alcalinidade, cloretos, dureza, temperatura e condutividade em amostras de água do município de Almenara/MG. **Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 2, n. 2, p. 52-64, 2020.

NOREDINVAND, B. K.; AFSHIN TAKDASTAN, A.; YENGEJEH, R. J. Removal of organic matter from drinking water by single and dual media filtration: a comparative pilot study, **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 44, p. 20792-20799, 2015.

OLIVEIRA, R. R; ARAÚJO, A. L. C.; DUARTE, M. A. C. Estudo do potencial de formação de trihalometanos na lagoa de Extremoz (RN). **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 315-322, 2020.

OLIVIO, M. L. G.; ESTEVES, E. F. J.; FERRO, D. A. M. Sementes de *Moringa oleífera* Lam.: eficiência no uso de coagulante biológico no tratamento de água com turbidez, comparado ao coagulante químico sulfato de alumínio. **Unifunec científica multidisciplinar**, v. 9, n. 11, p. 1-18. 2020.

PAIXÃO, R. M.; SILVA, L. H. B. R.; ANDREOLA, R. A cloração e a formação de trihalometanos. **Iniciação Científica Cesumar**, v. 16, n. 2, p. 191-198, 2014.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de amostragem e análise físico-química de água**. Documento N° 219, ISSN 1980-3958. Embrapa Floresta, Colombo - PR. 2011.

PAULA, D. de. **Avaliação da dupla filtração para tratamento de água superficial utilizando filtração ascendente em areia grossa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

PENG, X. X.; GAI, S.; CHENG, K.; YANG, F. Roles of humic substances redox activity on environmental remediation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 435, p. 129070, 2022.

PESTANA, C. J.; CAPELO-NETO, J.; LAWTON, L.; OLIVEIRA, S.; CARLOTO, I.; LINHARES, H. P. The effect of water treatment unit processes on cyanobacterial trichome integrity. **Science of the Total Environment**, v. 659, p. 1403-1414, 2019.

PFLEGER, P.; CASSOL, P. C.; MAFRA, Á. L. Substâncias húmicas em cambissolo sob vegetação natural e plantios de pinus em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 807-817, 2017.

PINTO, M. L.; BALTAZAR, A. L. Presença de trihalometanos na água: Potenciais riscos. **Acta Portuguesa de Nutrição**, v. 21, p. 32-37, 2020.

POHLMANN, P. H. M.; FRANCISCO, A. A.; FERREIRA, M. A.; JABBOUR, C. J. C. Tratamento de água para abastecimento humano: contribuições da metodologia Seis Sigma. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 485-492, 2015.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, p. 1-13, 2011.

RAUEN, T. G.; DEBACHER, N. A.; SIERRA, M. M. S.; SIERRA, E. J. S. Tensoatividade de ácidos húmicos de procedências distintas. **Química Nova**, v. 25, n. 6, p. 909-913, 2002.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: Capitais ecológicos, usos e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras, p. 269-324. 2002.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e tecnologia de tratamento**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETO, J. M. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. 332 p.

RODRIGUES, F. M. **Análise do risco da presença de trihalometanos em água para consumo humano, no distrito de Braga**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal, 2014.

ROECKER, P. B. **Avaliação de diferentes combinações de camadas filtrantes em um filtro rápido descendente no tratamento de água (pré tratada por eletroflotação) contendo cianobactérias**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SABESP. **Monitoramento da qualidade da água da transferência do braço Taquacetuba (Billings) para a represa Guarapiranga**. Disponível em: http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/monitoramento/Monitoramento_agosto2019.pdf. Acesso em: 17 mar. 2023.

SABOGAL PAZ, L. P. **Modelo conceitual de seleção de tecnologias de tratamento de água para abastecimento de comunidades de pequeno porte**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SALIH, N. Y.; AL-AZZAWI, M. N. Human health risk assessment of trihalomethane through multipathway exposure from drinking water of Baghdad, Iraq. **Journal of International Environmental Application and Science**, v. 11, n. 3, p. 294-302, 2016.

SAMPAIO, A. E. **Avaliação econômica comparativa da estação de tratamento de água de Maranguape tratando água de dois distintos mananciais: Açudes Acarape do Meio e Gavião**. 2014. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Recursos Hídricos) — Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SANTOS, G. O.; SAMPAIO, G. M. M. S. Interrelações entre as chuvas, a qualidade da água bruta e o tratamento da água: estudo de caso. **Revista Tecnologia**, v. 30, n. 2, p. 163-174, 2009.

SANTOS, M. S. **Determinação de trihalometanos em amostras de refrigerantes e cervejas por microextração em fase sólida e cromatografia gasosa**. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) — Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SANTOS, T.; PAES, L. Substâncias húmicas: um breve relato sobre sua importância e suas interações. **Revista Educação pública**, v.16, n. 13, p. 1-6, 2016.

SCALIZE, P. S.; BEZERRA, N. R. **Saneamento Básico Rural**. Goiânia: CEGRAF UFG, 1ª ed., 2020.

SHIKLOMANOV, I. A. Appraisal and assessment of world water resources. **Water International**, v. 25, n. 1, p. 11-32, 2009.

SILVA, F. A.; TEIXEIRA, C. A.; DE CARVALHO, K. Q.; PASSIG, F. H. Avaliação de um sistema composto por filtração ascendente e radiação ultravioleta no tratamento da água de chuva. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 177-191, 2018.

SILVA, I. R.; BROVINI, E. M.; PEREIRA, R. O.; GOMES, M. H. R. Influência da precipitação e do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia do ribeirão Espírito Santo–Juiz de Fora/MG. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 22, n. 1, p. 35-51, 2020.

SILVA, K. S. O impacto das cianobactérias na qualidade da água do lago Delmiro Gouveia para o abastecimento humano da Vila Moxotó, Belmiro Gouveia-Alagoas. **Revista Multidisciplinar do Sertão**, v. 4, n. 3, p. 250-260, 2022.

SILVA, L. B. D. **Avaliação dos parâmetros da qualidade de água produzida na estação de tratamento de água oeste**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SILVA, M. S. R. **Bacia hidrográfica do Rio Amazonas: Contribuição para o enquadramento e preservação**. 2013. Tese (Doutorado em Química) — Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2013.

SOUNTHARARAJAH, D. P.; LOGANATHAN, P.; KANDASAMY, J.; VIGNESWARAN, S. Column studies on the removal of dissolved organic carbon, turbidity and heavy metals from stormwater using granular activated carbon. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 11, p. 5045-5055, 2016.

SOUZA, C. D. R.; FERREIRA, I. B. P.; SILVA, O. C.; VERONEZE, G. M. Análise comparativa do cloreto férrico e sulfato de alumínio utilizado no processo de tratamento da água do Rio Solimões. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 13056-13070, 2022.

SRIBOONNAK, S.; INDUVESA, P.; WATTANACHIRA, S.; RAKRUAM, P.; SIYASUKH, A.; PUMAS, C.; KHAN, E. Trihalomethanes in water supply system and water distribution networks. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 17, p. 1-12, 2021.

SUTTON, M. A.; BLEEKER, A.; HOWARD, C. M.; ERISMAN, J. W.; ABROL, Y. P.; BEKUNDA, M., ... & ZHANG, F. S. Our Nutrient World: the Challenge to Produce More Food and Energy with Less Pollution. **Global Overview of Nutrient Management**. 2013. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/10747>. Acesso em: 14 mar. 2023.

TANGERINO, E. P.; DI BERNARDO, L. Remoção de substâncias húmicas por meio da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e FiME. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 290-298, 2005.

TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. O emprego do filtro de areia no pós-tratamento de efluente de filtro anaeróbio. **Sanare - Revista Técnica da Sanepar, Curitiba**, v. 21, n. 21, p. 42-52, 2004.

TORRES-LOZADA, P.; AMEZQUITA-MARROQUÍN, C. P.; AGUDELO-MARTÍNEZ, K. D.; ORTIZ-BENÍTEZ, N.; MARTÍNEZ-DUCUARA, D. S. Evaluation of turbidity and

dissolved organic matter removal through double filtration technology with activated carbon. **DYNA**, v. 85, n. 205, p. 234-239, 2018.

TREVISAN, T. S. **Coagulante Tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnology**. Taylor & Francis. 870 p. 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual**. Washington: EPA, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National primary drinking water regulation**. Washington D.C. USEPA. 2009. 7 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Trihalometanes in drinking water: sampling, analysis, monitoring and compliance**. Washington: EPA, 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 551.1**: Determination of chlorination disinfection byproducts, chlorinated solvents, and halogenated pesticides/herbicides in drinking water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture detection. U.S. Environmental Protection Agency, Ohio, 1995.

UNITED STATES PHARMACOPEIA 35, General Chapter, **United States Pharmacopoeial Convention**, Inc. 12601 Twinbrook Parkway, Rockville, MD, 2012.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B. dos; FRANZ, H. S.; LOEBENS, L.; GUEDES, H. A. S.; VIEIRA, B. M.; ROMANI, R. F. Análise estatística de correlação e de variância do monitoramento da água bruta da Estação de Tratamento de Água Terras Baixas–Pelotas/RS. **Revista Thema**, v. 19, n. 3, p. 600-614, 2021.

VÁSQUEZ, A. F. R.; SANTOS, Z. M. Determinación de la presencia de trihalometanos totales (TTHMS) como subproducto de la desinfección en el proceso de potabilización de agua superficial para consumo humano. **Agua, Saneamiento & Ambiente**, v. 16, n. 1, p. 17-24, 2021.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

VISCO, G.; CAMPANELLA, L.; NOBILI, V. Organic carbons and TOC in waters: an overview of the international norm for its measurements. **Microchemical Journal**, v. 79, n. 1-2, p. 185-191, 2005.

VÖRÖSMARTY, C. J.; GREEN, P.; SALISBURY, J.; LAMMERS, R. B. Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. **Science**, v. 289, n. 547, p. 284-288, 2000.

WNUK, E.; WAŚKO, A.; WALKIEWICZ, A.; BARTMIŃSKI, P.; BEJGER, R.; MIELNIK, L.; BIEGANOWSKI, A. The effects of humic substances on DNA isolation from soils. **PeerJ**, v. 8, n. 9378, p. 1-15, 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. 4 ed., p. 564, 2011.

WU, J.; HE, F.; XU, D.; WANG, R.; ZHANG, X.; XIAO, E.; WU, Z. Phosphorus removal by laboratory-scale unvegetated vertical-flow constructed wetland systems using anthracite, steel slag and related blends as substrate. **Water Science and Technology**, v. 63, n. 11, p. 2719-2724, 2011.

WUNSCH, M. S.; CAPRIOTI, G. L. G.; ANDREOLA, R. Análise dos níveis de trihalometanos em águas prediais da instituição Unicesumar e da cidade de Maringá/PR. In: VIII EPCC - Encontro Internacional de Produção Científica, 7. 22-25 de outubro, 2013, Maringá, PR. **Anais [...]** 2013.

ZAINUDIN, F. M.; HASAN, H. A.; ABDULLAH, S. R. S. An overview of the technology used to remove trihalomethane (THM), trihalomethane precursors, and trihalomethane formation potential (THMFP) from water and wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 57, p. 1-14, 2018.

ZARPELON, A.; RODRIGUES, M. E. Trihalometanos presentes na água de consumo humano. **Revista Técnica da SANEPAR**, v. 1, p. 1-15, 2019.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIAN, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 117, p. 161, 1997.

ZHOU, X.; ZHAO, J.; LI, Z.; LAN, J.; LI, Y.; YANG, X.; WANG, D. Influence of ultrasound enhancement on chlorine dioxide consumption and disinfection by-products formation for secondary effluents disinfection. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 28, p. 376-381, 2016.