

INSTITUTO FEDERAL

Goiano

Campus Rio Verde

BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**MÉTODOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA:
EFICIÊNCIA, IMPACTO AMBIENTAL E PERSPECTIVAS**

GABRIELLY CRISTINY SILVA GARCIA

RIO VERDE, GO

2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MÉTODOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA:
EFICIÊNCIA, IMPACTO AMBIENTAL E PERSPECTIVAS**

GABRIELLY CRISTINY SILVA GARCIA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Rio Verde – GO

Janeiro, 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

GG216m Garcia, Gabrielly Cristiny Silva
Métodos Convencionais de Tratamento de Água:
Eficiência, Impacto Ambiental e Perspectivas /
Gabrielly Cristiny Silva Garcia; orientador Marconi
Batista Teixeira. -- Rio Verde, 2024.
31 p.

TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. coagulação. 2. decantação. 3. desinfecção. 4.
filtração. 5. floculação. I. Teixeira, Marconi
Batista, orient. II. Título.



INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano

Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico- científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- Tese Artigo Científico
 Dissertação Capítulo de Livro
 Monografia 3 Especialização Livro
 TCC - Graduação Trabalho Apresentado em Evento
 Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: GABRIELLY CRISTINY SILVA GARCIA

Matrícula: 2018102200740373

Título do Trabalho: Métodos Convencionais de Tratamento de Água: Eficiência, Impacto Ambiental e Perspectivas

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: Parte dos dados serão utilizados para publicação de artigos.

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 05/03/2024

- O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 15/02/2024 .

Assinado eletronicamente
Gabrielly Cristiny Silva Garcia
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinado eletronicamente
Marconi Batista Teixeira
Assinatura do orientador

Documento assinado eletronicamente por:

- Gabrielly Cristiny Silva Garcia, 2018102200740373 - Discente, em 15/02/2024 16:18:04.
- Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 15/02/2024 16:09:07.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 572028

Código de Autenticação: d7fb6621d9



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE /
GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 10/2024 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 09 dias do mês de fevereiro de 2024, às 09:00 horas e 00 minutos, de forma presencial na sala 18 do Prédio Pedagógico II do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Marconi Batista Teixeira (orientador), Vitor Marques Vidal (Membro) e Wilker Alves Morais (Membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "Métodos Convencionais de Tratamento de Água: Eficiência, Impacto Ambiental e Perspectivas" da estudante GABRIELLY CRISTINY SILVA GARCIA, Matrícula nº 2018102200740373 do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Marconi Batista Teixeira Orientador

Orientador

(Assinado Eletronicamente)

Vitor Marques Vidal

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Wilker Alves Morais

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Vitor Marques Vidal, 2019102344060001 - Discente, em 16/02/2024 10:26:30.
- Wilker Alves Moraes, 2017102344060001 - Discente, em 15/02/2024 16:26:40.
- Marconi Batista Teixeira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 15/02/2024 16:00:28.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 572005

Código de Autenticação: dfbed7bcdd



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

RESUMO

GARCIA, Gabrielly Cristiny Silva. **Métodos convencionais de tratamento de água: eficiência, impacto ambiental e perspectivas.** 2024. 31p. Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2024.

O tratamento de água desempenha um papel fundamental para garantir o acesso da população à água potável com a maior qualidade e segurança possível. Nesta revisão, foram analisados os métodos convencionais mais utilizados, incluindo coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Serão abordados os princípios de funcionamento de cada método e os principais desafios e limitações associados ao tratamento convencional de água. Com base na premissa estabelecida, foi feita uma revisão de literatura de artigos científicos, dissertações e livros. Ressaltando determinados autores cujas contribuições se destacaram de maneira significativa no desenvolvimento deste estudo, notadamente Carlos A. Richter, Marcelo Libanio e Léo Heller & Valter Lúcio de Pádua. As pesquisas desses autores desempenharam um papel crucial, proporcionando considerações fundamentais. Diferentes fontes de informação foram utilizadas, como SciELO e Google Acadêmico. Além disso, foram consultados repositórios online de universidades, como a USP, e também foram utilizados livros físicos e digitais. Com o estudo, foi possível afirmar que o tratamento convencional de água é uma prática eficaz para garantir a qualidade e a segurança da água potável. Apesar da eficácia desses métodos convencionais, a pesquisa contínua é fundamental para buscar melhorias e inovações. Então foram apresentados estudos que propõem formas de aprimorar e os métodos de tratamento de água para evitar formação de subprodutos de desinfecção, garantir a segurança hídrica e minimizar os impactos ambientais.

Palavras-chave: coagulação, decantação, desinfecção, filtração, floculação, tratamento convencional de água.

ABSTRACT

GARCIA, Gabrielly Cristiny Silva. **Conventional water treatment methods: efficiency, environmental impact and perspectives.** 2024. 31p. Monograph (Bachelor's Degree in Environmental Engineering). Federal Institute of Education, Science and Technology Goiano – Rio Verde campus, Rio Verde, GO, 2023.

The treatment of water plays a fundamental role in ensuring the population's access to potable water with the highest quality and safety possible. In this review, the most commonly used conventional methods, including coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, and disinfection, were analyzed. The operational principles of each method, as well as the main challenges and limitations associated with conventional water treatment, are addressed. Based on the established premise, a literature review was conducted, encompassing scientific articles, dissertations, and books. Specific authors whose contributions significantly stood out in the development of this study, notably Carlos A. Richter, Marcelo Libanio, and Léo Heller & Valter Lúcio de Pádua, are highlighted. The research of these authors played a crucial role, providing essential insights. Various sources of information, such as SciELO and Google Scholar, were utilized. Additionally, online repositories of universities, such as USP, were consulted, and both physical and digital books were used. It was possible to affirm that conventional water treatment is an effective practice to ensure the quality and safety of potable water. Despite the efficacy of these conventional methods, continuous research is crucial to seek improvements and innovations. Therefore, several studies proposing ways to enhance and develop more effective water treatment methods in preventing the formation of disinfection by-products, ensuring water safety, and minimizing environmental impacts were presented.

Keywords: coagulation, sedimentation, disinfection, filtration, flocculation, conventional water treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Adição do coagulante Sulfato de Alumínio na água bruta	8
Figura 2. Calha Parshall em funcionamento.....	9
Figura 3. Mistura rápida	10
Figura 4. Representação de flocculador de chicanas em fluxo horizontal	12
Figura 5. Flocculador de chicanas em fluxo vertical em funcionamento.....	13
Figura 6. Decantador de alta taxa em funcionamento	15
Figura 7. Filtro rápido em funcionamento.....	17
Figura 8. Adição de cloro	20
Figura 9. Cilindros de cloro.....	21
Figura 10. Bomba dosadora de cloro.....	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL.....	6
3 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA	7
3.1 Coagulação	7
3.1.2 Parâmetros de operação e controle.....	10
3.2 Floculação	11
3.2.1 Compressão da dupla camada	11
3.2.2 Tipos de floculadores	11
3.3 Decantação.....	14
3.3.1 Decantadores	14
3.4 Filtração	16
3.4.1 Controle da taxa de filtração e lavagem.....	17
3.4.2 Materiais filtrantes e camadas de filtragem	18
3.5 Desinfecção	19
3.5.1 Método de desinfecção.....	20
3.5.2 Eficiência na inativação de patógenos	21
3.5.3 Formação de subprodutos da desinfecção.....	22
3.5.4 Controle de dose e tempo de contato	22
4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA	23
4.1 Desenvolvimento de Subprodutos de Desinfecção	23
4.2 Ideias Para Aprimorar o Tratamento Convencional de Água e contribuir para a Preservação Ambiental.....	25
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital que desempenha um papel fundamental em sustentar a vida na Terra. Sua importância transcende a mera necessidade de hidratação, estendendo-se para abundantes tipos de usos essenciais para a sociedade (OLIVEIRA, 2017). Além de ser indispensável para o consumo humano, a água desempenha um papel crucial na agricultura, sendo fundamental para o crescimento de culturas e garantindo a segurança alimentar global (RODRIGUES; DOMINGUES, 2017). Além disso, é uma fonte de energia, impulsionando usinas hidrelétricas que geram eletricidade. No setor industrial, a água é uma aliada insubstituível em processos de fabricação e resfriamento. Contudo, a escassez e a má gestão desse recurso precioso são desafios globais crescentes. Reconhecer a importância da água e adotar práticas sustentáveis torna-se crucial para garantir não apenas a sobrevivência, mas também a prosperidade das gerações presentes e futuras (CESAR; ABDALA; KRESKI, 2019).

O tratamento de água é muito importante para garantir a qualidade e a segurança do abastecimento de água potável. A água, mesmo que proveniente de fontes naturais, pode conter diversos contaminantes que trazem riscos à saúde humana. Esses contaminantes podem incluir microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários, além de substâncias químicas, como metais pesados, pesticidas e compostos orgânicos. Se ingerida a água com esses contaminantes presentes, doenças de veiculação hídrica podem ser transmitidas, como a cólera, febre tifoide e hepatite A (FUNASA, 2014). O tratamento de água inclui a etapa de desinfecção que visa remover ou inativar esses microrganismos, garantindo a segurança do consumo (BRASIL, 2014).

Para a grande maioria das águas superficiais do Brasil, a Resolução CONAMA nº 357/2005 recomenda o tratamento convencional da água para o abastecimento, que corresponde às etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. O tratamento de água visa a remoção, redução ou inativação de contaminantes, a fim de proteger a saúde da população (FERNANDES; SOUSA, 2020).

A Remoção de sólidos suspensos e turbidez também é indispensável. A água para consumo humano deve estar livre de partículas sólidas suspensas na água, pois afetam a cor, sabor e odor, e também podem fornecer um meio adequado para o crescimento de microrganismos (LIBÂNIO, 2010).

Portanto, este trabalho apresenta uma revisão de literatura dos principais métodos convencionais de tratamento de água. O objetivo é fornecer uma visão geral das técnicas e

processos utilizados para remover contaminantes e melhorar a qualidade da água potável para abastecimento público.

2 QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL

O aumento das atividades urbanas e industriais geralmente estão associados a descargas de poluentes nos corpos de água, resultando em impactos prejudiciais para os ecossistemas aquáticos e, conseqüentemente, para a saúde humana. Torna-se essencial e também direito por lei estabelecido no Artigo nº 225 da Constituição Federal, o tratamento adequado da água e também do esgoto sanitário para assegurar a saúde pública e a preservação ambiental (BRASIL, 1988).

Segundo uma pesquisa feita pelo Instituto Trata Brasil em parceria com a EX ANTE Consultoria Econômica e o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (2023). Entre as 74 milhões de habitações no Brasil, quase 9 milhões estão desprovidas de acesso à rede geral de água. 16,896 milhões enfrentam uma frequência inadequada de fornecimento, 11 milhões carecem de reservatório de água, aproximadamente 1 milhão não dispõem de instalações sanitárias e 22 milhões não têm acesso à coleta de esgoto. A pesquisa é fundamentada nos dados coletados entre 2013 e 2022 pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Continuada Anual (PNADCA), elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A Lei nº 11.445, sancionada em 5 de janeiro de 2007, é conhecida como a Lei de Saneamento Básico no Brasil. Ela estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, abrangendo serviços essenciais como abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, drenagem de águas pluviais e a gestão adequada de resíduos sólidos. Essa legislação tem como objetivo principal a universalização desses serviços, visando garantir condições adequadas de saúde e bem-estar para a população. A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, trouxe importantes atualizações para o marco legal do saneamento básico no Brasil, visando alcançar o atendimento de 99% da população com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto até 2033 (BRASIL, 2007; BRASIL, 2020).

A Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017, visa consolidar as regras e normativas relacionadas à gestão do Sistema Único de Saúde (SUS). Ao substituir o anexo XX, a Portaria Nº 888, aborda os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água

destinada ao consumo humano, assim como os critérios estabelecidos do padrão de potabilidade (BRASIL, 2017; BRASIL, 2021).

De acordo com Di Bernardo, Brandão e Heller (1999), é possível converter água de qualquer qualidade em água potável, no entanto, os custos associados e a confiabilidade nas operações e manutenções podem tornar impraticável a utilização de um determinado corpo d'água como fonte de abastecimento. Conforme a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), estão delineadas as diretrizes para a classificação dos corpos de água, estabelecendo critérios ambientais para seu enquadramento e definindo as condições e padrões para o lançamento de efluentes, bem como outras providências. Esta resolução não apenas classifica os corpos hídricos, mas também prescreve os tratamentos específicos a serem aplicados para cada tipo de água.

Segundo Cornwell, Brown e McTigue (2015), a qualidade da água tratada pode ser impactada por uma variedade de elementos, tais como mudanças na qualidade da água no local de captação, ajustes nos compostos químicos empregados no processo de tratamento, precisão das bombas que dosam os produtos químicos e irregularidades nas práticas de monitoramento e operação no procedimento de tratamento. A avaliação da adequação da água para consumo humano é conduzida por meio de análises laboratoriais. Estas análises englobam testes físico-químicos e microbiológicos conforme a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021).

3 TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA

3.1 Coagulação

A coagulação é um processo fundamental no tratamento convencional de água, ela envolve a adição de produtos químicos chamados coagulantes para promover a formação de flocos a partir das partículas suspensas presentes na água.

O primeiro passo é a adição de um coagulante conforme a Figura 1, como por exemplo o sulfato de alumínio ou o cloreto férrico, na água bruta.



Figura 1. Adição do coagulante Sulfato de Alumínio na água bruta
Fonte: Acervo pessoal (ETA de Santa Helena de Goiás).

O coagulante é adicionado à água bruta na Calha Parshall logo no início do tratamento. As calhas Parshalls (Figura 2) possuem uma geometria característica que cria uma relação entre a altura da água na calha e a vazão do líquido. Essa relação pode ser usada para determinar a vazão com base nos níveis de água medidos nas calhas, desempenhando um papel importante no controle e monitoramento do processo de coagulação, permitindo que a dosagem do coagulante seja ajustada adequadamente para alcançar os resultados desejados no tratamento da água (NOVAES, 2020).



Figura 2. Calha Parshall em funcionamento
Fonte: Acervo pessoal (ETA de Santa Helena de Goiás).

Após a adição do coagulante, a água passa pela etapa de mistura rápida, onde é agitada. Isso faz com que o coagulante seja distribuído uniformemente na água e faz com que todas as partículas suspensas na água bruta, sejam expostas ao processo de coagulação (ALGETEC, 2021). Durante a mistura rápida, representada na Figura 3, é o início da formação de flocos aglutinados (maiores), eles são mais pesados e se tornam mais facilmente removíveis durante as etapas seguintes do tratamento (MIXTURA, 2023).



Figura 3. Mistura rápida
Fonte: Acervo pessoal (ETA de Santa Helena de Goiás).

Segundo Richter (2009), a coagulação altera parâmetros físico-químicos das partículas coloidais da água, as quais caracterizam a cor e turbidez, produzindo partículas removíveis por sedimentação. O emprego de coagulantes químicos tem o intuito de reduzir o bloqueio existente entre as partículas em suspensão.

3.1.2 Parâmetros de operação e controle

É de extrema importância a avaliação dos indicadores de qualidade da água bruta, como turbidez e pH. A dosagem de produtos químicos é de acordo com esses dois parâmetros físico-químicos. A turbidez é uma medida da quantidade de partículas suspensas na água, varia de tamanho desde grosseiros até o estado coloidal (RICHTER, 2009). Essas partículas podem incluir sedimentos, matéria orgânica e outros contaminantes. O pH é uma medida que indica a

acidez, alcalinidade ou neutralidade da água (DOS DANTOS, et al 2023). Durante o processo de coagulação, os coagulantes ajudam a aglutinar as partículas suspensas em flocos maiores, que podem ser mais facilmente removidos posteriormente nos processos de sedimentação e filtração.

Águas com maior turbidez geralmente requerem doses maiores de coagulante. A turbidez final após a coagulação também é um parâmetro importante a ser monitorado, pois indica a eficiência da remoção de partículas. De acordo com a Portaria N° 888, de 4 de maio de 2021, valores de turbidez mais baixos são desejáveis, e o valor máximo permitido de turbidez na água distribuída é de 5,0 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez). É importante realizar monitoramento regular desses parâmetros e ajustar as dosagens do coagulante conforme necessário para garantir um tratamento eficaz (BRASIL, 2021).

3.2 Floculação

De acordo com Libânio (2010), o mecanismo de floculação é o processo pelo qual as partículas suspensas na água se aglutinam para formar flocos maiores e mais pesados, facilitando assim a remoção dessas partículas nas próximas etapas do tratamento convencional de água (decantação e filtração).

3.2.1 Compressão da dupla camada

A dupla camada de coagulação, é uma teoria que explica o processo de coagulação e floculação em sistemas de tratamento de água. É a camada de íons que rodeia as partículas coloidais em suspensão na água (camada compacta e camada difusa). Essas camadas são compostas por íons carregados eletricamente e é influenciada pelas forças eletrostáticas e de atração de van de Waals, onde íons com cargas opostas se atraem e íons com a mesma carga se repelem (LIBÂNIO, 2010).

O primeiro mecanismo de coagulação consiste na compressão da dupla camada. Quando um coagulante é adicionado à água, ele neutraliza as cargas elétricas superficiais das partículas coloidais, levando à compressão da dupla camada. Como resultado, as partículas coloidais começam a se aproximar umas das outras (LIBÂNIO, 2010).

3.2.2 Tipos de floculadores

São vários os tipos de flocladores utilizados no tratamento de água para promover a floclação das partículas suspensas. Cada tipo de floclador tem suas vantagens e limitações. De acordo com Richter (2009), o primeiro tipo de floclador utilizado no tratamento de água foi o floclador hidráulico. O conceito de floclação hidráulica foi introduzido por John W. Ellms em 1905. Ele desenvolveu um sistema em que a água era passada através de uma série de canais com diferentes velocidades de fluxo. A variação na velocidade do fluxo permitiu que as partículas suspensas na água se aglomerassem para formar flocos maiores, que pudessem ser mais facilmente removidos durante o processo de sedimentação.

Os flocladores hidráulicos de chicanas são os mais utilizados, são eles de fluxo vertical e fluxo horizontal, (RICHTER, 2009):

- Floclador de fluxo horizontal: nos flocladores de fluxo horizontal, representado na Figura 4, a água flui horizontalmente através de canais longos e largos. Esse fluxo horizontal permite uma distribuição uniforme dos produtos químicos coagulantes na água, facilitando a floclação das partículas suspensas. As chicanas são estrategicamente posicionadas ao longo do comprimento do floclador e são projetadas de modo a não interferir nos padrões de fluxo da água. Uma das vantagens dos flocladores de fluxo horizontal é a redução do cisalhamento, ou seja, a força que pode quebrar os flocos formados. Como a água se move suavemente através do floclador, os flocos têm menos probabilidade de serem desfeitos, o que resulta em uma melhor eficiência no processo de floclação.

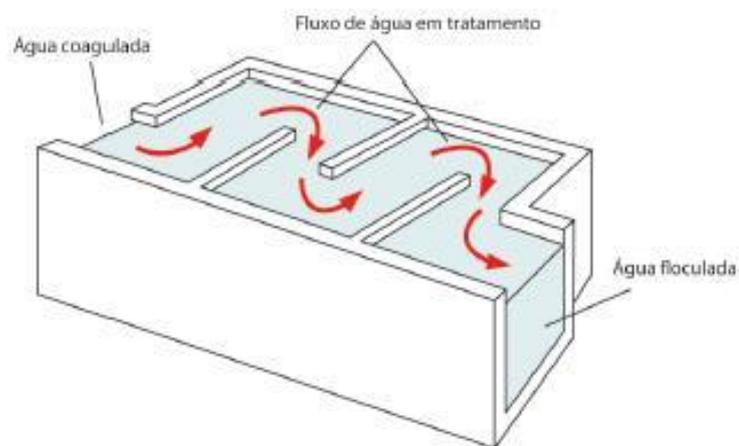


Figura 4. Representação de floclador de chicanas em fluxo horizontal
Fonte: Revista TAE (2013).

- Floculador de fluxo vertical: Nesse tipo de floculador (Figura 5), a água flui verticalmente através de canais e encontra obstáculos chamados chicanas. O movimento turbulento resultante ajuda na mistura eficaz de produtos químicos coagulantes com a água, promovendo a adesão das partículas suspensas, os flocos se tornam maiores e mais pesados, facilitando sua remoção posterior durante o processo de sedimentação.



Figura 5. Floculador de chicanas em fluxo vertical em funcionamento
Fonte: Acervo pessoal (ETA de Santa Helena de Goiás).

Conforme Richter (2009), as principais limitações dos floculadores hidráulicos presentes na literatura são:

1. Falta de flexibilidade: Os floculadores hidráulicos são frequentemente menos flexíveis quando se trata de mudanças na qualidade da água.

2. Dependência da Vazão: O desempenho dos flocladores hidráulicos é fortemente dependente da vazão da água. Variações na vazão podem variar em relação à eficiência da floclação.
3. Perda de Carga Significativa: Flocladores hidráulicos podem resultar em uma perda de carga significativa devido à resistência ao fluxo provocado pela estrutura do floclador. Isso pode afetar a eficiência energética do sistema.
4. Dificuldade na Limpeza: A manutenção e limpeza dos flocladores hidráulicos podem ser difíceis devido à sua complexa estrutura interna.

Segundo Richter (2009), a experiência demonstrou que, em alguns casos, os flocladores hidráulicos podem superar outros tipos de flocladores, mesmo em tempos de floclação relativamente curtos, como 10 ou 15 minutos. Isso ocorre devido à menor propensão a curtos circuitos e zonas mortas nos canais de floclação hidráulica, uma questão que frequentemente afeta os tanques de floclação mecânica.

3.3 Decantação

A decantação é um dos processos chave utilizados no tratamento convencional de água para remoção de partículas suspensas e flocos formados durante a coagulação e floclação. O processo de decantação ocorre em unidades chamadas decantadores, esses são projetados para promover a separação das partículas sedimentáveis da água.

Segundo Libânio (2010), na decantação os flocos que foram formados na coagulação e floclação, são depositados pela ação da gravidade. As partículas suspensas na água possuem massa e densidade superior à da água, quando a água é deixada em repouso, a gravidade faz com que essas partículas tendam a se mover para baixo, em direção ao fundo do tanque ou reservatório.

Em casos de um mau funcionamento, especialmente relacionados às etapas de coagulação e floclação, a eficácia da unidade de decantação é comprometida. Isso pode ocorrer devido a problemas operacionais ou quando a água bruta possui uma baixa concentração de partículas (HELLER; PÁDUA, 2010).

3.3.1 Decantadores

De acordo com Richter (2009), os primeiros decantadores foram os de fluxo horizontal, suas principais vantagens são as características simples, alta eficiência e pouca sensibilidade a condições de sobrecarga, isso faz com que ele seja muito utilizado até hoje. No decantador de fluxo horizontal, a água entra na parte central do tanque e flui radialmente em direção às bordas. Esse tipo de decantador é eficiente na remoção de partículas sedimentáveis e permite uma distribuição uniforme do fluxo de água.

Para evitar a ressuspensão e o arraste dos flocos decantados, a velocidade do escoamento é limitada a determinado valor, decantadores convencionais devem estar entre 3,5 e 4,5 metros de profundidade. Há também o decantador tubular ou de alta taxa (Figura 6), que se projetado da maneira correta, pode ter eficiência superior aos decantadores de fluxo horizontal (RICHTER, 2009).

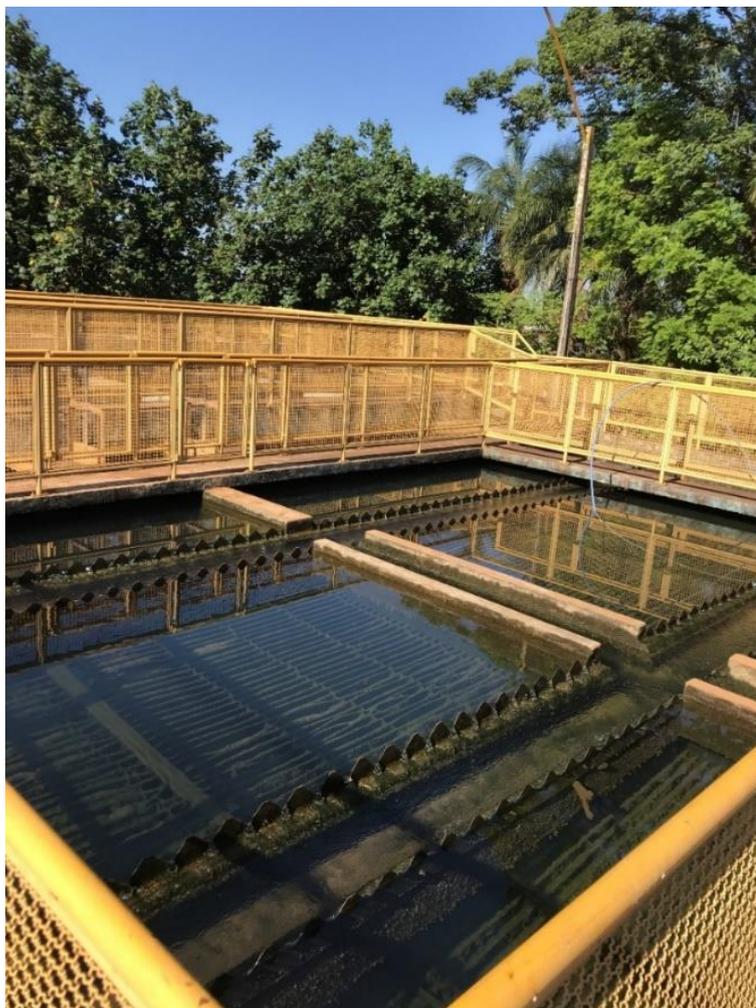


Figura 6. Decantador de alta taxa em funcionamento
Fonte: Acervo pessoal (ETA de Santa Helena de Goiás).

Os decantadores tubulares surgiram como uma evolução. A eficiência da sedimentação está diretamente relacionada à área designada para o processo de decantação e à profundidade do tanque. A disposição de placas no interior do decantador tubular cria um caminho mais longo para o fluxo do líquido, aumentando assim o tempo de residência das partículas. Facilitando a sedimentação e permitindo que partículas mais densas se depositem no fundo do tanque. Um tempo de residência muito curto pode resultar em uma eficiência reduzida na sedimentação, pois as partículas podem não ter tempo suficiente para serem depositadas completamente (RICHTER, 2009).

3.4 Filtração

Segundo Libânio (2010), a filtração é o processo que tem a função de remover as partículas presentes na água, responsáveis pela cor e turbidez, que conseqüentemente atrapalham a desinfecção. Neste processo, as partículas sólidas presentes na água são retidas por um meio poroso ou granular, permitindo que a água clarificada passe através deles.

O meio poroso pode ser constituído por diferentes materiais, como areia, carvão ativado, antracito etc, (RICHTER, 2009).

Os filtros rápidos, representado na Figura 7, são os tipos de filtros mais comumente usados no tratamento convencional de água. A principal característica dos filtros rápidos é sua alta taxa de filtração, o que os torna ideais para o tratamento de grandes volumes de água em um curto período de tempo. De acordo com Testbook (2023), algumas desvantagens dos filtros rápidos em comparação aos filtros lentos são:

1. Requerem limpeza e retro lavagem frequentes para manter a eficiência;
2. Podem ter um custo operacional mais elevado;
3. Menos eficiência na remoção de microrganismos e partículas muito pequenas.



Figura 7. Filtro rápido em funcionamento
Fonte: Acervo pessoal (ETA de Santa Helena de Goiás).

3.4.1 Controle da taxa de filtração e lavagem

Conforme Heller e Pádua (2010), a filtração rápida em meio granular é influenciada por três mecanismos principais: transporte, aderência e desprendimento. Os processos de transporte têm a função de conduzir as partículas suspensas na água em direção à superfície dos grãos no meio filtrante, também conhecidos como coletores. Quando as partículas se aproximam dos coletores, são aplicadas forças de atração superficial que se fixam à superfície dos grãos ou a outras partículas já aderidas, removendo-as da água. À medida que o processo de filtração se avança, as partículas capturadas se acumulam na superfície dos coletores, ocupando os espaços intergranular e aumentando as forças de cisalhamento atuando sobre o material depositado. As partículas presentes na água são capturadas pelo meio filtrante, o que eventualmente resulta no aumento da perda de carga no filtro.

Existem duas condições que exigem retirar um filtro de operação: quando ele passa a produzir água que não atende ao padrão de potabilidade; quando a perda de carga devido à retenção de impurezas atinge o valor máximo estabelecido no projeto. Do ponto de vista técnico, a situação ideal para encerramento da carreira de filtração é aquela em que as duas condições-limite são atingidas simultaneamente, mas em nenhuma hipótese deve-se permitir a distribuição de água que não atende ao padrão de potabilidade, de modo que os filtros devem ser sempre retirados de operação quando houver deterioração da qualidade da água, mesmo que a perda de carga máxima admissível seja inferior à estabelecida em projeto. (HELLER; PÁDUA 2010, p. 551)

De acordo com a NBR, 12216/1992, o tempo mínimo de lavagem do filtro deve ser de 10 min e a velocidade da água de lavagem não devendo ser inferior a 60 cm/min. Para filtro de fluxo ascendente, a velocidade mínima de lavagem deve ser de 80 cm/min e o tempo de lavagem mínimo, de 15 min.

3.4.2 Materiais filtrantes e camadas de filtração

A Norma Brasileira NBR 12216/1992 estabelece diretrizes para o projeto de estações de tratamento de água destinadas ao abastecimento público. No contexto dessa norma, os filtros rápidos são identificados como unidades específicas projetadas para a remoção de partículas em suspensão na água. Esses filtros podem ser classificados como de camada simples ou dupla, e seu fluxo pode ser ascendente ou descendente.

De acordo com a NBR 12216/1992, existem especificações para a camada filtrante simples, deve ser composta por areia, sendo recomendada uma espessura mínima de 45 centímetros. Além disso, o tamanho efetivo das partículas de areia deve situar-se entre 0,45 e 0,55 mm, e o coeficiente de uniformidade deve variar de 1,4 a 1,6. Deve ser construída uma camada suporte de forma a proporcionar suporte adequado à camada filtrante principal.

Conforme as diretrizes estabelecidas na norma NBR 12216/1992, a camada suporte em filtros de estações de tratamento de água deve apresentar uma espessura mínima igual a duas vezes a distância entre os bocais do fundo do filtro, assegurando que não seja inferior a 25 cm. O material desta camada deve ser distribuído em estratos com granulometria decrescente de baixo para cima, sendo a espessura de cada estrato igual ou superior a duas vezes e meia a dimensão característica dos seixos maiores que o constituem, não podendo ser inferior a 5 cm. Cada estrato deve ser formado por seixos cujo tamanho máximo seja maior ou igual ao dobro do tamanho dos menores. No estrato imediatamente acima dos bocais, os seixos devem possuir pelo menos duas vezes o tamanho dos bocais, com dimensão mínima estipulada em 1,0 cm. Já

o estrato em contato direto com a camada filtrante deve ser composto por material de tamanho mínimo menor ao tamanho máximo do material da camada filtrante adjacente. Adicionalmente, para o dimensionamento de filtros simples, a taxa de filtração deve ser considerada como no máximo $180\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, para filtro de camada dupla, $360\text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{dia}$. Essas orientações visam garantir a eficiência e estabilidade do sistema de filtração.

3.5 Desinfecção

De acordo com Libânio (2010), a desinfecção é a finalização do processo de potabilização da água. É na desinfecção quando os microrganismos patogênicos são inativados.

Conforme Heller e Padúa (2010), a desinfecção da água é tanto corretiva quanto preventiva. No contexto corretivo, o objetivo é eliminar organismos patogênicos que possam estar presentes na água, como bactérias, protozoários e vírus. É mantido um resíduo do agente desinfetante na água fornecido à água a população, agindo de forma preventiva para o caso de qualquer contaminação na rede de distribuição, além de servir como indicador da qualidade da água distribuída. Na Figura 8, é possível ver como é feita a adição de cloro na caixa de cloração.



Figura 8. Adição de cloro
Fonte: Acervo pessoal (ETA de Santa Helena de Goiás).

3.5.1 Método de desinfecção

Entre os agentes de desinfecção, o processo mais utilizado é a cloração, sendo o cloro disponível em estado sólido, líquido e gasoso. O cloro gasoso (Figura 9) é a maneira mais eficaz e barata, geralmente as estações de tratamento de água utilizam o cloro gasoso que é armazenado na forma líquida, sob pressão, em cilindros de aço (RICHTER, 2009).

No entanto, é importante mencionar suas desvantagens, como a periculosidade do gás, que é venenoso e corrosivo, sendo letal em concentrações no ar da ordem de 0,1% em volume. Além disso, podem ocorrer problemas de odor e sabor na presença de fenóis. Porém, por conta da fácil aplicação e as rígidas normas de segurança, o que contribui para a proteção dos sistemas de distribuição, o cloro gasoso é a melhor alternativa (RICHTER, 2009).



Figura 9. Cilindros de cloro
Fonte: Acervo pessoal (ETA de Santa Helena de Goiás).

3.5.2 Eficiência na inativação de patógenos

É complexo e praticamente impossível identificar através de análises individuais os organismos patogênicos, então é realizado o método do número mais provável para a determinação de coliformes, estes não são necessariamente bactérias patogênicas, mas funcionam como um parâmetro indireto para indicar a probabilidade de contaminação biológica (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo Heller e Pádua (2010), considera-se que a ausência de coliformes indica à ausência de organismos patogênicos.

Os agentes desinfetantes atuam por meio de um ou mais dos seguintes mecanismos: a) destruição da estrutura celular; b) interferência no metabolismo com inativação de enzimas; c) interferência na biossíntese e no crescimento celular, impedindo a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas. (HELLER; PÁDUA, 2010, p. 554).

É importante destacar que a destruição não é necessariamente total em todas as formas de vida, o objetivo principal é eliminar os organismos patogênicos. A erradicação completa das formas de vida é conhecida como esterilização (HELLER; PÁDUA, 2010).

3.5.3 Formação de subprodutos da desinfecção

Adicionado à água, o cloro pode reagir com compostos orgânicos presentes como ácidos húmicos e fúlvicos, assim formando subprodutos de cloração, por exemplo os trihalometanos (THMs), ácidos haloacéticos, halocitronitrilas e outros (RICHTER, 2009).

Os THMs incluem compostos como clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio, entre outros. Estes compostos são considerados potencialmente cancerígenos para os seres humanos. A Agência Internacional para a Pesquisa sobre o Câncer (IARC), que faz parte da Organização Mundial da Saúde (OMS), classifica o clorofórmio como possivelmente carcinogênico para humanos (Grupo 2B), com base em evidências limitadas em humanos e evidências suficientes em animais (CETESB, 2022).

A qualidade da água é regulamentada pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, que estabelece padrões de potabilidade da água para consumo humano. Embora os THM não sejam especificamente mencionados, a portaria inclui um limite para a matéria orgânica total (MOT), que abrange uma variedade de compostos orgânicos, incluindo alguns subprodutos de cloração (BRASIL, 2017).

De acordo com Richter (2009), é necessário um tempo de contato para ocorrer a reação do cloro com os compostos orgânicos e assim a formação de THM, fazer a análise de TMH logo após a saída da água tratada, pode não apontar sua presença. A concentração de TMH aumenta com aumento do cloro, temperatura e pH.

3.5.4 Controle de dose e tempo de contato

A Portaria nº 888 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021) dispõe que após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre em qualquer ponto da rede de distribuição. Recomenda-se que a cloração tenha um tempo de contato mínimo de 30 minutos, e seja realizada com pH inferior a 8.

O Cloro residual na rede de distribuição tem função de proteção das ferrobactérias, que extraem o ferro da canalização e formam hidróxido de ferro gelatinoso, eles aderem às paredes provocando corrosão e também produz sabor e odor (RICHTER, 2009).

É na bomba dosadora de cloro (Figura 10), onde é feito o controle de dosagem do cloro que é adicionado na água tratada.



Figura 10. Bomba dosadora de cloro
Fonte: Acervo pessoal (ETA de Santa Helena de Goiás).

4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DOS MÉTODOS CONVENCIONAIS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Embora os métodos convencionais de tratamento de água sejam bastante utilizados e eficazes, eles também apresentam alguns desafios e limitações.

4.1 Desenvolvimento de Subprodutos de Desinfecção

Quando não há uma remoção eficiente da matéria orgânica antes da desinfecção, ao adicionar o cloro à água, ele reage com a matéria orgânica presente na água, podendo ser resíduos de plantas, algas e outros compostos orgânicos, essa ocorrência gera subprodutos, sendo os THMs um grupo significativo deles. Se caso a água for consumida, causa impacto direto nos tecidos do trato respiratório, agredindo os olhos, manifestando-se por meio de lacrimejamento, tosse, dor de cabeça, dificuldade respiratória e sensibilidade à luz (CETESB, 2022).

Reis Neto (2020), examinou o impacto de variáveis como tempo de contato, dosagem e tipo de carvão ativado pulverizado na eficiência da adsorção de matéria orgânica em água bruta aplicada ao processo de tratamento de água, tanto em condições com pré-oxidação da água quanto sem. O estudo utilizou cinco tipos de carvões ativados pulverizados de origem mineral, vegetal e animal. Os carvões ativados de origem vegetal foram influentes ao tempo de contato e à dosagem na remoção de matéria orgânica, medida em termos de carbono orgânico total. Dosagens mais elevadas e tempos de contato mais longos resultaram em melhores eficiências, sendo que dosagens de 30 mg/L em um tempo de contato de 25 minutos alcançaram os melhores resultados, com eficiências de remoção em torno de 90% e concentração de carbono orgânico total inferior a 3,0 mg/L. Além disso, a pré-oxidação com cloro não se mostrou vantajosa na remoção de matéria orgânica.

Pesquisadores também exploram inovações tecnológicas para desinfetar água como alternativa aos desinfetantes à base de cloro, evitando a geração de subprodutos prejudiciais à saúde humana.

Alves (2021), realizou um estudo referente à operação de um fotorreator ultravioleta (UV-C) para desinfecção de água proveniente da lagoa da Messejana, localizada em Fortaleza, Ceará. Utilizando uma amostra de 50 litros de água, foram feitos dois experimentos em laboratório, um com uma vazão de 4 litros por minuto e o outro com 8 litros por minuto. Durante os experimentos, foram coletadas amostras a cada 3 minutos de funcionamento, encerrando cada experimento após 18 minutos. As amostras foram submetidas à análise dos parâmetros de turbidez, pH e TDS com equipamentos de bancada. A cor foi inalterada em relação à água bruta, registrando 100 uH, o que era esperado, pois a radiação UV-C visa inativar microrganismos, e não sobre a cor da água. A turbidez da água tratada apresentou uma redução de 36%, porém, ainda chegou a cerca de 16% acima do limite previsto pela Portaria nº 888, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Segundo Alves (2021), a tecnologia do fotorreator, que combina radiação ultravioleta com filtração por membrana de polipropileno em um tempo de detenção de 1 min e 43 segundos, atuando como alternativa para desinfecção, resultou na completa inativação dos indicadores de contaminação microbiológica (*Escherichia coli* e Coliformes Totais 100% de remoção). Os dados experimentais respaldam a conclusão de que a aplicação da radiação ultravioleta emerge como uma efetiva alternativa na desinfecção de águas com elevada concentração de microalgas.

4.2 Ideias Para Aprimorar o Tratamento Convencional de Água e contribuir para a Preservação Ambiental

A gestão dos resíduos provenientes das Estações de Tratamento de Água é alvo de diversas pesquisas, a água utilizada na limpeza dos filtros nas ETAs contém impurezas, sedimentos e produtos químicos provenientes do próprio processo de tratamento da água. Se essa água for descartada de maneira indiscriminada no meio ambiente, pode resultar em diversos problemas ambientais (LUSTOSA et al., 2017).

Ismail e Pires (2021), avaliou a viabilidade de recirculação para o início do sistema após um tratamento prévio, a água de lavagem de filtro (ALF). Foram conduzidos testes de clarificação na ALF de uma ETA, utilizando diferentes taxas de sedimentação. A coleta das amostras de água ocorreu durante o mês de março de 2019, no período de chuvas. Em seguida, foram feitas análises físico-química e microbiológica da água clarificada. Após realizar as análises, foram conduzidos testes de clarificação, esses testes incluíram variações com e sem a adição de polímeros catiônicos. Os testes foram conduzidos em equipamento de jarreste. Constatou-se que a recirculação da água de lavagem de filtro não é viável sem um bom tratamento prévio, por motivos de elevado grau de patogenicidade. O tratamento com a adição de polímero catiônico, demonstrou ser aceitável, resultando na remoção de 97,8% da turbidez e alcançando valores inferiores aos da água bruta. Além disso, observou-se uma remoção de até 100% de ferro total e 97,5% de *Escherichia coli*.

Na decantação, as partículas sólidas suspensas sedimentam no fundo do tanque, formando um lodo. A classificação do lodo de ETA é como resíduo sólido Classe II A – não inerte, e sua disposição segundo a NBR 10004, indicam que esse tipo de resíduo pode conter substâncias que apresentam riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Diversos estudos estão sendo realizados para explorar formas seguras e eficientes de reutilizar o lodo da ETA, minimizando os impactos ambientais.

Da Silva, Dervanoski e Vargas (2021), estudaram a viabilidade de utilizar o lodo originado da ETA da CORSAN na Cidade de Erechim no Rio Grande do Sul, como base para o desenvolvimento de um adsorvente, com o objetivo de remover contaminantes que incluem p-nitrofenol e azul de metileno. O lodo proveniente da ETA foi sujeito a diferentes temperaturas: 350, 450 e 550 °C, durante períodos de exposição de 30, 60 e 120 minutos, utilizando uma mufla. Esse processo é chamado pirolise, no qual é feito o adsorvente. Foi essencial identificar as condições experimentais ideais em termos de pH e massa. No que diz respeito aos testes de

pH, foram empregadas 9 amostras de lodo para o processo de pirolise. Após estabelecer os valores de pH e massa específicos para cada amostra e identificar o lodo mais eficaz, a etapa seguinte envolveu a realização de testes cinéticos. Amostras do efluente foram coletadas em intervalos regulares para avaliar a remoção dos contaminantes após o processo adsorvente e determinar a eficácia na adsorção do p-nitrofenol e do azul de metileno. Todas as análises foram conduzidas em triplicata para assegurar a consistência dos resultados. Conclui-se que o lodo apresentou eficácia ao remover ambos os compostos analisados. Notavelmente, observou-se uma maior eficiência em tempos de ensaio mais curtos na adsorção do contaminante azul de metileno em comparação ao p-nitrofenol.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho proporcionou uma análise dos métodos convencionais de tratamento de água, destacando seus processos fundamentais, tais como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Embora essas técnicas tenham sido a espinha dorsal da purificação de água por décadas, foi possível identificar desafios e limitações inerentes a esses métodos tradicionais.

Na busca por soluções mais eficientes, existem diversas estratégias em estudo. Em relação à prevenção da formação de subprodutos da cloração, é necessário a implementação de medidas proativas, como o controle prévio da matéria orgânica e a consideração de alternativas de desinfecção menos propensas à geração de subprodutos. Essas práticas não apenas preservam a qualidade da água tratada, mas também mitigam os potenciais riscos associados à exposição a subprodutos indesejados.

A reutilização da água proveniente das lavagens de filtro e do lodo de decantadores, emerge como uma abordagem sustentável e economicamente viável. Ao empregar sistemas descentralizados e métodos inovadores de reutilização de lodo, é possível minimizar o desperdício de recursos hídricos e transformar subprodutos do processo em recursos valiosos.

Destaca-se o papel crucial da pesquisa e da inovação na melhoria contínua do tratamento convencional de água e para minimizar os impactos ambientais. A convergência de métodos convencionais com essas tecnologias avançadas e práticas inovadoras representam um caminho promissor para enfrentar os desafios atuais e futuros no fornecimento de água potável segura e de qualidade para o consumo humano.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10004, Resíduos sólidos - Classificação**, ABNT, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. ABNT, 2017. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/JacquelineSchultz2/nbr-12216-92-projeto-de-estao-de-tratamento-de-gua-para>. Acesso em: 26 out. 2023.

ALVES, I. A. **Radiação ultravioleta aplicada à desinfecção de águas superficiais urbanas**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.unichristus.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1196/1/Indemberg%20Araujo%20Alves.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2023

ALGETEC. **Determinação de vazamento com a Calha Parshall: laboratório de sistema de tratamento de efluentes**. 2021. ALGETEC. Disponível em: https://www.virtuaslab.net/ualabs/ualab/756/img_conteudo/sumarioteorico/pdf/arquivo.pdf?modo=embed. Acesso em: 22 out. 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. Lei do Saneamento Básico**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 29 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20192022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 29 nov. 2023.

BRASIL. **Capítulo VII do Meio Ambiente, art. 225**. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em:

<https://portal.stf.jus.br/constituicaosupremo/artigo.asp?abrirBase=CF&abrirArtigo=225#:~:text=Do%20Meio%20Ambiente,Art.,as%20presentes%20e%20futuras%20gera%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 28 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Guia de Vigilância em Saúde**. Brasília, 2014. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_vigilancia_saude_3ed.pdf. Acesso em: 12 out. 2023.

BRASIL. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília - DF: FUNASA, 2014. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bfc87>. Acesso em: 13 out. 2023.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfeda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 20 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de Setembro de 2017**. Disponível em: https://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 28 out. 2023

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 888**, de 04 de maio de 2021. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html#:~:text=1%C2%BA%20Esta%20Portaria%20disp%C3%B5e%20sobre,28%20de%20setembro%20de%20017. Acesso em: 02 nov. 2023.

CESAR, C.; ABDALA, L.; KRESK, S. **ODS 6 Água potável e saneamento**. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eventos/bisus/lagua_potavel_saneamento.pdf. Acesso em: 13 out. 2023.

CETESB. **Fixa de informações toxicológicas: clorofórmio**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cloroformio.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

CETESB. **Fixa de informações toxicológicas: cloro**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cloro.pdf>. Acesso em: 29 out. 2023

CORNWELL, D., BROWN, R. e MCTIGUE, N. Controle dos parâmetros de qualidade da água com regras de chumbo e cobre. **Jornal - American Water Works Association**, v.107, n.2, p.86-96, 2015. DOI:10.5942/jawwa.2015.107.0011

DA SILVA, T. C.; VARGAS, G. D. L. P.; DERVANOSKI, A. **Tratamento de efluentes por processo de adsorção utilizando lodo de ETA**. Jornada de iniciação científica e tecnológica, v. 1, n. 11, 2021. Disponível em: <https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/JORNADA/article/view/15318>. Acesso em: 26 nov. 2023.

DI BERNARDO, L; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Brasil). **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas_de_abastecimento.pdf. Acesso em: 02 dez. 2023.

DOS SANTOS, T. I. O. et al. Avaliação da qualidade d'água de corpos hídricos monitorados pela agência nacional de água em São Luís-MA. **Revista Interfaces: Saúde, Humanas e Tecnologia**, v. 11, n. 3, p. 2829-2838, 2023. Disponível em:

<https://interfaces.unileao.edu.br/index.php/revista-interfaces/article/view/1383/1009>. Acesso em: 20 out. 2023.

FERNANDES, L. F. **Estação de Tratamento de Água em escala Piloto**. 2020. 8 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Hidráulica, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/983/1/TCC2%20LUIZ%20FINAL.pdf>. Acesso em: 13 out. 2023.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. 871 p. Disponível em: https://www.academia.edu/40298749/Abastecimento_de_agua_para_consumo_humano_volume?email_work_card=view-paper. Acesso em: 20 out. 2023.

ISMAIL, I. A. L.; PIRES, E. C. Avaliação do tratamento por clarificação **da água de lavagem de filtros de estação de tratamento de água convencional**. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, v. 15, n. 2, p. 745-756. Disponível em: <https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/79426>. Acesso em: 22 nov. 2023.

INSTITUTO TRATA BRASIL EX ANTE CONSULTORIA ECONÔMICA. **A vida sem saneamento – Para quem falta e onde mora essa população?** 2023. FERNANDO GARCIA DE FREITAS e ANA LELIA MAGNABOSCO. 2023. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/11/Estudo-ITB-A-vida-sem-saneamento-Para-quem-falta-e-onde-mora-essa-populacao-V.-2023-11-14.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2024.

LUSTOSA, J. B. et al. Tratamento e aproveitamento de água de lavagem de filtro em estação de tratamento de água. *Revista Dae*, v. 65, n. 206, p. 44-61, 2017. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_206_n_1671.pdf. Acesso em: 22 nov. 2023

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

MIXTURA Equipamentos Hidráulicos LTDA. **Quais as etapas da estação de tratamento de água.** 2023. Disponível em: <https://mixtura.ind.br/quais-as-etapas-da-estacao-de-tratamento-de-agua/>. Acesso em: 22 out. 2023.

NOVAES Engenharia Sustentável. **Reforma e Otimização da Estação de Tratamento de Água do Distrito de Três Pontes – Amparo - SP.** 2020. Disponível em: https://ecrie.com.br/sistema/conteudos/arquivo/a_47_0_1_28012022113647.pdf. Acesso em: 20 out. 2012.

OLIVEIRA, M. L. V. M. **Gestão de águas, territórios e desenvolvimento econômico.** ACTA Geográfica, Boa Vista, v.11, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/365461280_GESTAO_DE_AGUAS_TERRITORI_O_E_DESENVOLVIMENTO_ECONOMICO. Acesso em: 20 set. 2023.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento.** Editora Blucher, 2009.

RODRIGUES, L. N.; DOMINGUES, A. F. **Agricultura Irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável.** Brasília, Df: Inovagri, 2017. 327 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168474/1/Agricultura-Irrigada.pdf>. Acesso em: 13 out. 2023.

REIS NETO, A. F. **Influência das condições de aplicação do carvão ativado pulverizado na eficiência de remoção de matéria orgânica no tratamento de água em ciclo completo.** 2020. Disponível em: <https://umbu.uft.edu.br/bitstream/11612/2317/1/Adalcino%20Fernandes%20Reis%20Neto%20-%20Disserta%20a7%20a3o.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2023

TESTBOOK. **Filtros para estações de tratamento de água: filtro de areia lento e filtro de areia rápido.** 2023. Disponível em: <https://testbook.com/civil-engineering/filters-for-water-treatment-plants#:~:text=Rapid%20sand%20filters%20use%20fine,simpler%20and%20naturally%20self%20cleaning>. Acesso em: 24 out. 2023.

TAE. **Ação dos floculadores**. 2013. Cristiane Rubim. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Noticia/68572/acao-dos-floculadores>. Acesso em: 16 out. 2023.