



SISTEMA DE CLARIFICAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS UTILIZANDO JAR-TEST

CLARIFICATION SYSTEM IN WATER TREATMENT PLANT USING JAR-TEST

Georgeano Dantas Maciel

Faculdade UniSapiens - Porto Velho, RO, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6362-0026>
E-mail: georgeano.maciel@gruposapiens.com.br

Matheus Lucas Maciel Leal

Universidade Federal de Rondônia - UNIR, Brasil
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8098-7612>
E-mail: matheus.leal@gruposapiens.com.br

Submetido: 9 set. 2024.

Aprovado: 21 jan. 2025.

Publicado: 6 mar. 2025.

E-mail para correspondência:

matheus.leal@gruposapiens.com.br

Resumo: O tratamento de água para consumo humano exige a aplicação de processos físico-químicos eficientes para remoção de impurezas. O presente estudo investigou a aplicação do Teste de Jarros (Jar Test) em Estações de Tratamento de Água (ETA) para determinar a dosagem ótima de coagulantes utilizados no processo de clarificação. O objetivo foi avaliar a influência da concentração de sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) no controle da turbidez e cor da água. Utilizou-se uma abordagem experimental com ensaios sistematizados para identificação das melhores condições de tratamento. Os resultados indicaram que a concentração ótima de coagulante foi de 22,4 mg/L, associada a um pH ideal de 8,1, favorecendo a remoção eficiente de turbidez e cor. Conclui-se que o Teste de Jarros é uma ferramenta essencial para otimização do processo de coagulação, garantindo maior eficiência e segurança no tratamento de água.

Palavras-chave: Tratamento de água. Coagulação. Clarificação. Teste de Jarros.

Abstract: The treatment of water for human consumption requires the application of efficient physical-chemical processes to remove impurities. The present study investigated the application of the Jar Test in Water Treatment Plants (WTP) to determine the optimal dosage of coagulants used in the clarification process. The objective was to evaluate the influence of aluminum sulfate concentration ($Al_2(SO_4)_3$) on the control of turbidity and water color. An experimental approach was used with systematized trials to identify the best treatment conditions. The results indicated that the optimal concentration of coagulant was 22.4 mg/L, associated with an ideal pH of 8.1, favoring the efficient removal of turbidity and color. It is concluded that the Jar Test is an essential tool for optimizing the coagulation process, ensuring greater efficiency and safety in water treatment.



Keywords: Water treatment. Coagulation. Clarification. Jug Testing.

Introdução

O Brasil é reconhecido por sua vasta disponibilidade hídrica, contudo, a crescente urbanização e a ausência de infraestrutura adequada comprometem a qualidade dos mananciais. A presença de materiais particulados, cor e turbidez na água exigem processos de tratamento eficientes para garantir a potabilidade dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente ⁽¹⁾.

Nesse sentido, o Teste de Jarros (Jar Test) ⁽²⁾ é amplamente utilizado para determinar a dosagem ótima de coagulantes empregados na clarificação da água, permitindo ajustes nos parâmetros físico-químicos do tratamento ⁽³⁾.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do Teste de Jarros na otimização do processo de coagulação em ETAs, identificando a melhor concentração de sulfato de alumínio para remoção de turbidez e cor da água. Para isso, foram realizados ensaios laboratoriais variando-se os parâmetros de concentração de coagulante e pH, a fim de determinar as condições ideais para o processo de clarificação ⁽³⁾. Outrossim, a pesquisa baseou-se em diretrizes atualizadas e parâmetros normativos que regulamentam a potabilidade da água no Brasil.

Diante da importância de desenvolver a pesquisa, nota-se que diante o crescimento desordenado da população, principalmente nas áreas urbanas, iniciou-se um processo de lançamento de esgotos *in natura* nos corpos aquáticos, comprometendo a qualidade dos mananciais e, conseqüentemente, da água que é fornecida à população. Dados do Instituto Trata Brasil ⁽⁴⁾ mostram que no ano de 2017 cerca de 16,6% da população brasileira não tinha acesso à água tratada. Na região norte esse número tornava-se assustador, chegando à 42,7% da população sem acesso a esse recurso.

Para agravar a situação, nessa mesma região, praticamente 90% de todo o esgoto gerado sequer era recolhido, além disso, é lançado diretamente sobre as coleções de água, ou em fossas sanitárias. Assim, a água pode naturalmente conter microrganismos ou substâncias que a torne imprópria para o consumo humano.

Porém, o lançamento de esgotos sem tratamento agrava o problema, pois, em geral, pode haver a presença de organismos patogênicos que causarão doenças como cólera,



giardíase, hepatite A, leptospirose, febre tifoide, disenterias e verminoses. Tais doenças, dependendo da intensidade com que ocorram e com a fragilidade do sistema imunológico do hospedeiro, podem facilmente levar à morte, ou deixar graves sequelas ⁽⁵⁾.

Outrossim, as águas naturais necessitam de processos físico-químicos de clarificação para remover principalmente a cor e a turbidez presentes e atingir os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação.

Desse modo, o respectivo estudo investigativo teve como objetivo geral mostrar o método chamado de Teste de Jarros – (JAR TEST), nas Estações de Tratamento de Água (ETA), para a determinação das dosagens ótimas dos coagulantes a serem empregados. Isto é, a determinação da melhor concentração de sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ para o controle da cor e turbidez, em que se realizam vários ensaios de simulação da mesma quantidade de água bruta, variando a concentração de alcalinidade e do coagulante.

Todavia, este tipo de ensaio vem sendo utilizado também para a determinação de parâmetro básico na elaboração do projeto de uma Estação de Tratamento de Água, determinando assim, a condição ótima para floculação de uma amostra de água caracterizada pelo tempo e agitação necessária. Para tanto, uma vez determinada a dosagem ótima dos coagulantes, deve-se verificar qual o tempo, e qual o gradiente de velocidade ótimo para se flocular a amostra que está sendo tratada na estação de tratamento em estudo.

O sulfato de alumínio ⁽⁶⁾ é um ácido com características corrosivas. Portanto, deve-se ter muito cuidado no seu manuseio e armazenamento. Sua fórmula química é $Al_2(SO_4)_3$ podendo ser encontrado no mercado em forma líquida, sólida em pó ou em pedras.

Tão logo, a sua aplicação deve ter um bom conhecimento acerca da alcalinidade e do pH da água, pois o produto químico irá consumir a alcalinidade baixando o pH do meio. Sua relação estequiométrica de consumo de alcalinidade é de aproximadamente 1,0 mg/L de coagulante para 0,5 mg/L de alcalinidade em $CaCO_3$, ou seja, para cada concentração que será aplicada no tratamento da água, o ideal é que o meio tenha, pelo menos, a metade da concentração em alcalinidade natural ou artificial.

Com o contexto exposto, o artigo seguiu uma ordenação utilizando uma metodologia com orientações de uma pesquisa de natureza básica, com objetivo exploratório-descritivo através da abordagem qualitativa que permitiu uma revisão bibliográfica apresentada em 04 (três) seções sistematizadas na introdução que apresenta a estruturação da pesquisa, o



desenvolvimento ao contextualizar o campo epistemológico, as evidências dos resultados, e finalizando com a conclusão.

Destarte com essa estrutura o leitor terá a compreensão discursiva da teoria e a prática ao ser inserido o método chamado de Teste de Jarros – (JAR TEST), nas Estações de Tratamento de Água (ETA).

Desenvolvimento

O volume total de água na Terra é estimado em 1.386 Mkm³, sendo 2,5% ou cerca de 35,0 106 km³ constituídos de água doce e, destes, apenas 0,3% representam a água doce contida nos rios e lagos ⁽⁷⁾.

Segundo a Constituição Federal (CF) de 1988, a água é um bem de domínio da União ou dos Estados ⁽⁸⁾. Com a publicação da Lei nº 9.433/1997 (Lei das Águas), a água é descrita como um bem de domínio público ⁽⁹⁾. Esses instrumentos legais constituem os principais argumentos que sustentam a implementação da chamada outorga de direito de uso de recursos hídricos.

Diante deste cenário, o ensaio de coagulação é um procedimento de rotina em Estações de Tratamento de Água (ETA) para determinar a dosagem dos produtos químicos utilizados no tratamento. Pode-se dizer que é uma simulação do que ocorre na ETA.

Ressalta-se que o uso da água para diluição está diretamente ligado ao enquadramento do recurso hídrico, ou seja, é o instrumento da legislação de recursos hídricos que possui como principal objetivo assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas ⁽¹⁰⁾.

Para realizar esse ensaio é necessário que se conheça previamente as seguintes características da água bruta: cor, turbidez, alcalinidade, pH e temperatura; além de parâmetros hidráulicos da estação de tratamento, tais como: vazão, tempo de detenção nos floculadores, velocidade de sedimentação no decantador, e etc.

Dessa forma, o ensaio de coagulação não é uma operação muito simples, pois devem ser consideradas algumas variáveis do processo, como a cor e turbidez da água bruta; se a alcalinidade natural da água é suficiente, se o pH está dentro da faixa ótima de floculação, o tipo de coagulante empregado, etc.



Nesse exemplo prático, consideram-se apenas os parâmetros: cor, turbidez, pH e alcalinidade total, já que o objetivo principal do teste é a remoção da cor e turbidez da água, aplicando-se uma menor quantidade de coagulante. O produto químico utilizado é o sulfato de alumínio, sendo o mais comum.

Não obstante, frisa-se que basicamente, o equipamento busca imitar uma ETA em pequena escala. Além disso, na ETA há tanques e dispositivos específicos para a coagulação, floculação e decantação, enquanto no jar-test isso tudo ocorrerá dentro de cada jarro.

Ademais, os jarros são preparados com diferenças na concentração de coagulante ou no pH de forma a realizar uma varredura de possibilidades de trabalho, sempre buscando a melhor concentração de coagulante a ser aplicada na água bruta e o melhor pH de trabalho do coagulante. Sendo assim, essencial compreender como é efetivado o desenvolvimento do ensaio inicial na subseção à frente pelos aportes que tratam especificamente do ensaio de Jar-test.

Metodologia

O ensaio de Jar-test envolve diversos procedimentos que são realizados antes e após a agitação, como exemplificado pela determinação dos parâmetros de ensaio, das concentrações, volumes de coagulante, correção de alcalinidade, etc. ⁽¹¹⁾.

Nesse sentido, uma série de decisões precisam ser tomadas em razão dos resultados possíveis, logo, é quase impossível abranger todas as possibilidades em uma única aula teórica ou em exemplos que apresentem todas as ocorrências laboratoriais.

Para realizar esse ensaio é necessário que se conheça previamente as seguintes características da água bruta: cor, turbidez, alcalinidade, pH e temperatura, além de parâmetros hidráulicos da estação de tratamento, tais como: vazão, tempo de detenção no floculador, velocidade de sedimentação no decantador ⁽¹¹⁾.

O ensaio de coagulação não é uma operação muito simples, pois devem ser consideradas algumas variáveis do processo, como a cor e turbidez da água bruta; se a alcalinidade natural da água é suficiente, se o pH está dentro da faixa ótima de floculação, o tipo de coagulante empregado ⁽¹¹⁾.

Em função disso, mostrar-se-á de forma prática 01 (uma) situação que buscam abranger o máximo possível o desenvolvimento do ensaio e as decisões que são tomadas



nas práticas de laboratórios realizadas na estação de tratamento de água, identificadas como situação amostral 1 como mostra a tabela.

Tabela 1. Valores dos parâmetros da água bruta

Parâmetros	Valores	Unidades
Cor	50	uH
Turbidez	98	uT
Alcalinidade	29	mg/L CaCO ₃
pH	6,5	Adimensional

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com isso foi realizado um ensaio de jar-test para determinar a melhor concentração de coagulante e o melhor pH para o tratamento da água. Utilizando uma concentração do coagulante sulfato de alumínio ferroso de 10.000 mg/L e concentração do alcalinizante Ca(OH)₂ de 5.000 mg/L⁽¹²⁾.

Realizadas as estimativas de dosagem ideal de coagulante e pH ótimo de trabalho para um equipamento de jar-test com 6 jarros e 2,0 litros de água bruta em cada jarro. Primeiramente, verificamos na literatura qual a faixa de concentração de coagulante para essas condições de cor (50 uH) e turbidez (98 uT) para determinarmos a dosagem inicial. Utilizando a tabela abaixo, sendo encontrado a Turbidez abaixo de 10 NTU, inicialmente usaremos a dosagem a partir de 5 PPM.

Tabela 2. Turbidez dosagem de sulfato de alumínio – em PPM

Em N.T.U	Mínimo	máxim	médio
10	5	17	10
15	8	20	14
20	11	22	17
40	13	25	19
60	14	28	21
80	15	30	22

100	16	32	24
150	18	27	27
200	19	42	30
300	21	51	36
400	22	62	39
500	24	65	42
600	26	67	47
700	28	69	50
800	30	71	53
900	32	73	55
1000	34	75	56

Fonte: Azevedo (1987).

A partir da tabela evidenciada por Azevedo pode-se contextualizar a imagem abaixo que exemplifica com marcações ao referendar a turbidez com a dosagem de sulfato de alumínio (mg/L) e a cor (mg Pt/L) pela dosagem de sulfato de alumínio (mg/L).

Figura 1. Marcações

Turbidez (NTU)	Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)	Cor (mg Pt/L)	Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)
10	05 a 17	10	08
15	08 a 20	20	10
20	11 a 22	30	13
40	13 a 25	40	16
60	14 a 28	50	18
80	15 a 30	60	21
100	16 a 32	70	24
150	18 a 37	80	26
200	19 a 42	90	29
300	21 a 51	100	32
400	22 a 62	140	42
500	23 a 70	180	53

Fonte: Silva (2021) ⁽¹²⁾.

De acordo com a tabela acima para o valor de análise físico-química da amostra da água de cor de 50 uH utilizamos uma quantidade de coagulante de 18 mg/L, porém para uma turbidez encontrada de 98uT utilizamos uma faixa de 16 a 32 mg/L.

Com isso o valor de 18mg/L previsto para remoção da cor estava automaticamente previsto dentro da faixa de 16 a 32, portanto, não foi necessário ajustar os limites de varredura.

Caracterização físico-química da água bruta

Para realização das análises instrumentais, foram utilizados o turbidímetro, medidor de pH e medidor de cor. Na metodologia da titulação por neutralização para determinação de alcalinidade foi realizado por um titulante ácido e reagentes químicos existentes no laboratório de análise de águas da estação de tratamento de águas (ETA). Para encontrar os valores de varredura foi aplicado a diferença entre a maior concentração e a menor concentração dividido pela diferença dos números de jarros menos 1, chamado também de Razão de coagulante.

$$\text{Razão de coagulante} = (\text{Maior concentração} - \text{Menor concentração}) / (\text{n}^\circ \text{ de jarros} - 1) = (16 - 32) / 5 = 3,2 \text{ mg/L} \quad \text{Eq.1}$$

Com isso a alcalinidade da água bruta foi de 29 mg/L CaCO₃. Caso algum resultado seja maior que esse valor a alcalinidade deve ser corrigida. Para o jarro 1, cuja dose de coagulante será de 16 mg/L, a alcalinidade mínima requerida será de:

$$\text{Alcalinidade solicitada} = 16 \times 0,50 = 8,0 \text{ mg/L CaCO}_3 \quad \text{Eq. 2}$$

Determinação do pH

A análise desse parâmetro, foi utilizado um medidor de pH de bancada marca Medidor de pH/mV/EC/TDS/NaCl/Temp de Bancada com Registro – MW180 ilustrado na Figura 1, que após calibrado com solução tampão pH 7 e pH 4 foi feito a leitura das amostras de água bruta e água tratada no jar- test ⁽¹³⁾.

Figura 2. Medidor de pH marca Medidor de pH/mV/EC/TDS/NaCl/Temp de Bancada com Registro – MW180



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Determinação da Turbidez

Para determinação da turbidez foi utilizado turbidímetro marca HACH modelo TL2300 conforme ilustra Figura 2, que depois de calibrado com os padrões foi feita a leitura das amostras, tendo resultado expresso em NTU ⁽¹³⁾:

Figura 3. Medidor de turbidez marca Hach modelo TL 2300



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Determinação da Cor

A análise desse parâmetro, foi utilizado um Colorímetro marca DEL LAB ilustrado na Figura 3, que depois de calibrado com os padrões foi feita a leitura das amostras, tendo resultado expresso em uC ⁽¹³⁾:

Figura 4. Medidor de Cor marca DEL LAB modelo DLA-COR



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).



Determinação da Alcalinidade

Para análise de alcalinidade das amostras, foi utilizada a metodologia da titulação por neutralização, por um titulante ácido. A partir da análise foram transferidos 100 mL da amostra de água para 3 Erlenmeyer e adicionadas três gotas de Metil Orange como indicador, que ao ser titulada com H₂SO₄ 0,02 N teve a cor de viragem de amarelo para alaranjado, como mostra os valores na Figura 4 ⁽¹³⁾.

Para o cálculo de alcalinidade aplicou-se a seguinte fórmula aos resultados dos volumes gastos na viragem da titulação:

$$T = A \times 10 = \text{mg/L de CaCO}_3 \quad \text{Eq.3}$$

Onde: A= volume gasto para viragem com alaranjado de metila como indicador e T= Alcalinidade

Com toda sistematização foi efetivado o experimento e alcançado os dados que referenciam a maneira correta dos processos físico-químicos ao buscar uma clarificação que remove a cor e a turbidez da água e viabiliza o emprego exigido de forma legal das diretrizes brasileiras.

Resultados e Discussão

Repetindo o procedimento para todos os outros jarros, verifica-se que em nenhum deles será necessário corrigir a alcalinidade, pois em todos a alcalinidade natural é maior que a alcalinidade solicitada conforme tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos jarros de 1º ensaio

JARRO	1	2	3	4	5	6
COR INICIAL (UH)	50	50	50	50	50	50
TURBIDEZ INICIAL (UT)	98	98	98	98	98	98
PH INICIAL	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
ALCALINIDADE (MG/L CaCO ₃)	29	29	29	29	29	29
CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTE (MG/L)	16,0	19,2	22,4	25,6	28,8	32,0



VOLUME DO COAGULANTE (ML)	3,2	3,84	4,48	5,12	5,76	6,4
CORREÇÃO DE ALCALINIDADE	Não	Não	Não	Não	Não	Não
VOLUME DE ALCALINIDADE (ML)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Conforme os valores obtidos na tabela 4 os jarros 3 e 4 foram os que informarem os melhores resultados na remoção da turbidez e cor, com isso escolheremos os resultados com menores valores de concentrações de coagulante, pois deixa a solução menos concentrada de sulfato de alumínio.

Tabela 4. Resultados obtidos dos jarros de ensaio da 1ª batelada

JARRO	1	2	3	4	5	6
COR INICIAL (UH)	50	50	50	50	50	50
COR FINAL (UH)	25	17	5	9	18	16
PH INICIAL	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
PH FINAL	6,0	5,8	5,5	5,4	5,2	5,0
TURBIDEZ INICIAL (UT)	98	98	98	98	98	98
TURBIDEZ FINAL (UT)	25	16,5	2,7	2,8	6,8	12
CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTE (MG/L)	16,0	19,2	22,4	25,6	28,8	32,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na tabela contextualiza que foi encontrada a melhor concentração ótima de coagulante, foram realizados uma 2ª batelada de varredura para valores de pH da água bruta, utilizando a mesma concentração de coagulante para todos os jarros conforme tabela 5 a seguir.

Tabela 5. Resultados obtidos dos jarros de 2° ensaio

JARRO	1	2	3	4	5	6
COR INICIAL (UH)	50	50	50	50	50	50
TURBIDEZ INICIAL (UT)	98	98	98	98	98	98
PH INICIAL	6,5	6,9	7,5	7,8	8,6	9,5
ALCALINIDADE (MG/L CaCO₃)	29	29	29	29	29	29
CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTE (MG/L)	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4
VOLUME DO COAGULANTE (ML)	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48
CORREÇÃO DE ALCALINIDADE	Não	Não	Não	Não	Não	Não
VOLUME DE ALCALINIDADE (ML)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Por conseguinte, delinea-se a tabela 6 abaixo, no qual os jarros 4,5 e 6 retiraram boa parte da cor e turbidez presente na água bruta, com isso, o jarro 4 com pH inicial obtido de 8,1 foi o melhor resultado, por ter utilizado uma quantidade menor de coagulante em relação aos jarros 5 e 6.

Tabela 6. Resultados obtidos dos jarros de ensaio da 2ª batelada

JARRO	1	2	3	4	5	6
COR INICIAL (UH)	50	50	50	50	50	50
COR FINAL (UH)	2	5	3	1	1	1
PH INICIAL	6,9	7,5	7,9	8,1	8,7	9,2
PH FINAL	6,0	6,2	6,7	7,2	7,4	7,9
TURBIDEZ INICIAL (UT)	98	98	98	98	98	98
TURBIDEZ FINAL (UT)	13,8	8,5	5,2	0,7	0,8	0,8
CONCENTRAÇÃO DE COAGULANTE (MG/L)	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).



Os resultados deste estudo demonstraram que a aplicação do Teste de Jarros é fundamental para a otimização dos processos de clarificação em estações de tratamento de água. A concentração de 22,4 mg/L de sulfato de alumínio, associada a um pH de 8,1, foi considerada ideal para remoção da turbidez e da cor, garantindo a qualidade da água dentro dos padrões de potabilidade ⁽³⁾.

No entanto, este estudo possui algumas limitações. Primeiramente, a pesquisa foi conduzida em ambiente controlado, podendo apresentar variações quando aplicada em condições operacionais reais em ETAs de diferentes localidades. Além disso, não foram considerados fatores sazonais que podem influenciar a qualidade da água bruta e, conseqüentemente, a eficácia do tratamento.

A aplicabilidade prática dos resultados é evidente, visto que a otimização do processo reduz custos operacionais e melhora a eficiência do tratamento. A metodologia pode ser replicada em outras ETAs, adaptando-se às características específicas de cada manancial. Além disso, a implementação da dosagem ideal pode minimizar impactos ambientais ao reduzir a quantidade de resíduos químicos gerados no processo de clarificação.

Considerações Finais

A partir desta pesquisa, verificou-se a importância de demonstrar cientificamente que através das diretrizes que norteiam os quesitos dos recursos hídricos no país, bem como do saneamento básico que deveriam ser prioritários é possível delinear uma clarificação da água.

Pois discorre-se no estudo de uma problemática que ainda se faz corriqueira no cenário urbano, em que o tratamento da água se faz primordial, assim ao utilizar Jar-test vislumbrou que é possível remover a cor e a turbidez da água e viabilizar o emprego exigido conforme promulga o escopo legal instituído, sendo salutar a propagação do método pela ETA, concluindo uma concentração ótima do coagulante para água bruta em torno dos 22,4 mg/L e um pH ideal de 8,1 para se trabalhar nas etapas de processos de coagulação e floculação para a obtenção de uma água potável utilizando uma quantidade menor de produtos químicos na estação de tratamento de águas para toda a população.

Do ponto de vista prático, a pesquisa fornece subsídios para a melhoria da eficiência operacional em ETAs, permitindo a redução do consumo de produtos químicos e a otimização do tempo de tratamento. Além disso, a metodologia aplicada pode ser replicada em diferentes



cenários e condições hídricas, promovendo maior segurança no abastecimento de água tratada.

A implementação das concentrações ideais identificadas neste estudo pode contribuir para um melhor controle dos parâmetros físico-químicos da água, reduzindo custos operacionais e impactos ambientais, uma vez que a aplicação otimizada de coagulantes minimiza o uso excessivo de produtos químicos e resíduos gerados no processo de clarificação.

Dessa forma, recomenda-se que futuras pesquisas explorem a eficácia de diferentes coagulantes, bem como a influência de variáveis climáticas e características regionais da água bruta, de modo a aperfeiçoar continuamente os processos de tratamento de água e assegurar padrões de qualidade elevados para o consumo humano.

Referências

1. Campos TR, Oliveira FS, Pereira ML. Avaliação da eficiência do sulfato de alumínio na clarificação da água. *Rev Bras Eng Sanit Ambient.* 2020;25(3):35-48.
2. Ferreira AC, Almeida JP. Otimização do processo de coagulação-floculação em ETAs. *Eng Ambient Sanit.* 2022;30(2):28-39.
3. Souza DH, Mendes CF. Coagulação e floculação: uma abordagem prática para o tratamento de água. *Rev Tecnol Sustent.* 2021;15(1):42-55.
4. Trata Brasil. A vida sem saneamento – para quem falta e onde mora essa população? [citado 20 dez. 2023]. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/a-vida-sem-saneamento-para-quem-falta-e-onde-mora-essa-populacao/>.
5. Rocha JCC, Rosa AH, Cardoso AA. Introdução à química ambiental. Porto Alegre: Bookman; 2004.
6. Richter C. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Blucher; 2009.
7. Shiklomanov I. World fresh water resources. In: Gleick PH, editor. *Water in Crisis. A Guide to the World's Fresh Water Resources.* Stockholm: Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security; 1998.
8. Brasil. Constituição Federal de 1988. Brasília: Presidência da República; 1988.
9. Brasil. Presidência da República. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília, DF: Presidência da República; 1997. [citado 15 de dez. 2023]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm.



10. Stein RT. Manejo de bacias hidrográficas. Porto Alegre: SAGAH; 2017.
11. Brasil. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água. Brasília: Funasa; 2013. [citado 15 de dez. 2023]. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf.
12. Silva FN. Sistemas de abastecimento e tratamento de água para técnicos. Campinas, SP: UICLAP; 2021.
13. American Public Health Association (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC: American Public Health Association; 1999.



10.31072/rcf.v15i2.1457

Este é um trabalho de acesso aberto e distribuído sob os Termos da *Creative Commons Attribution License*. A licença permite o uso, a distribuição e a reprodução irrestrita, em qualquer meio, desde que creditado as fontes originais.



Open Access