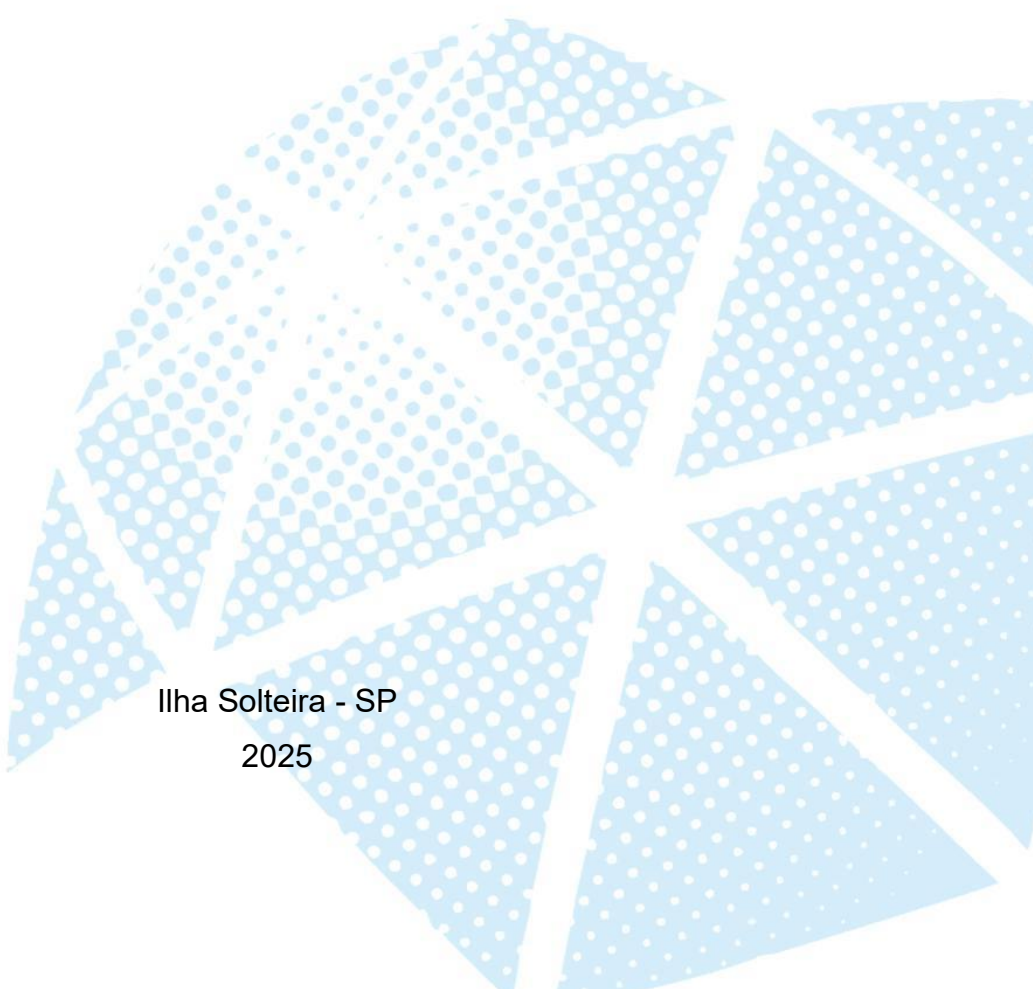


**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

VICTOR HUGO DE FREITAS CORREIA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL COAGULANTE DA *Moringa oleífera* NO
TRATAMENTO DE ÁGUAS EUTROFIZADAS**



Ilha Solteira - SP
2025

VICTOR HUGO DE FREITAS CORREIA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL COAGULANTE DA *Moringa oleífera* NO
TRATAMENTO DE ÁGUAS EUTROFIZADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), FEIS, Ilha Solteira, para
obtenção do título de Grau acadêmico
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia e
Tecnologia

Orientadora: Prof. Dra. Camila Gabriela
Alexandre Geromel Costa

Ilha Solteira - SP

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

C824a Correia, Victor Hugo de Freitas.
Avaliação do potencial coagulante da *Moringa oleifera* no tratamento de águas eutrofizadas / Victor Hugo de Freitas Correia. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
50 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2025

Orientador: Camila Gabriela Alexandre Geromel Costa
Inclui bibliografia

1. *Moringa oleifera*. 2. Eutrofização. 3. Tratamento de água. 4. Coagulante natural. 5. Jar Test.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Victor Hugo De Freitas Correia

Título: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL COAGULANTE DA *Moringa oleifera* NO TRATAMENTO DE ÁGUAS EUTROFIZADAS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA



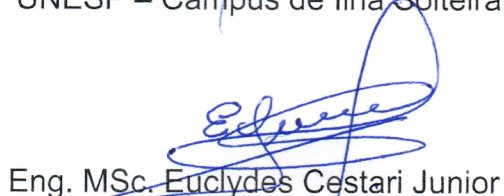
Profª Drª Camila Gabriela Alexandre Geromel Costa

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientadora)



Prof. Dr. Vinícius Borges de Moura Aquino

UNESP – Campus de Ilha Solteira



Eng. MSc. Euclides Cestari Junior

Ilha Solteira

Ilha Solteira, 11 de dezembro de 2025.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa valida experimentalmente o uso de *Moringa oleifera* como uma alternativa sustentável e eficiente aos coagulantes químicos, demonstrando sua capacidade de clarificar águas eutrofizadas sem alterar o pH, o que simplifica operações e reduz passivos ambientais. Alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 e 14), o estudo promove uma tecnologia limpa, biodegradável e de baixo custo, com alto potencial de aplicação em sistemas de tratamento *in loco* e descentralizados, oferecendo uma solução acessível para a melhoria da qualidade da água e da saúde pública, ao mesmo tempo em que fomenta a economia circular.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research experimentally validates the use of *Moringa oleifera* as a sustainable and efficient alternative to chemical coagulants, demonstrating its capacity to clarify eutrophic waters without altering the pH, which simplifies operations and reduces environmental liabilities. Aligned with the Sustainable Development Goals (SDG 6 and 14), the study promotes a clean, biodegradable, and low-cost technology, with high potential for application *decentralized and in situ treatment systems*, offering an accessible solution for improving water quality and public health, while fostering the circular economy.

Dedico este trabalho à minha mãe e à minha avó. A luta incansável de vocês para me criar foi a maior lição que já tive. Vocês foram o meu alicerce nos momentos difíceis e a força que garantiu meu sustento até aqui. Sou eternamente grato por tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele jamais caminharia tão longe. Um versículo em especial tem guiado meus passos: “Eis que faço uma coisa nova. Agora mesmo ela está saindo à luz. Será que vocês não o percebem? Eis que porei um caminho no deserto e rios nos lugares áridos” (Isaías 43:19). Nele, sinto que Deus está trazendo renovo, mudando situações, abrindo portas onde não existiam e trazendo vida onde parecia não haver esperança.

À minha família, em especial à minha mãe, Ana Patrícia de Freitas, e à minha avó, Nair Maria da Silva. Vocês me criaram superando todas as dificuldades impostas, me ensinaram o verdadeiro significado de resiliência e garra, e me mostraram o valor do conhecimento. Sem o alicerce de vocês, eu nada seria.

À minha namorada, Rebeca Juscelino, obrigado por todo o apoio. Sua inteligência e esforço me inspiram diariamente. Sua ajuda, especialmente na realização prática deste trabalho, foi vital para esta conquista.

Estendo meus agradecimentos à técnica de laboratório Natália Antoniali, pelo auxílio valioso durante os ensaios, e ao funcionário da prefeitura Jandir dos Santos, pelo apoio fundamental na coleta das amostras.

Por fim, agradeço a todos os professores presentes na minha formação, com um agradecimento especial à minha orientadora, Prof.^a Dra. Camila Gabriela Alexandre Geromel Costa, pela orientação, paciência e conhecimentos compartilhados.

RESUMO

A eutrofização dos corpos hídricos representa um desafio crescente para o saneamento, exigindo tecnologias de tratamento eficientes e sustentáveis. Neste contexto, a *Moringa oleifera* surge como uma alternativa promissora aos coagulantes químicos convencionais, que geram lodos tóxicos e alteram o pH da água. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial coagulante de sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água eutrofizada proveniente de efluentes de lagoas de estabilização. Foram realizados ensaios de coagulação/floculação (*Jar Test*) aplicando dosagens entre 500 e 1.750 mg/L, monitorando-se parâmetros físico-químicos como Sólidos Totais e suas frações, Demanda Bioquímica e Química de Oxigênio (DBO e DQO), pH e Condutividade Elétrica, além da análise visual da clarificação. Os resultados demonstraram que a semente de *Moringa oleifera* atuou eficazmente na desestabilização do material suspenso, dispensando o uso de corretores de pH. A dosagem ótima para remoção física foi identificada em 1.500 mg/L, alcançando remoções de 48,1% para Sólidos Totais e 50,0% para Sólidos Fixos, resultando em notável clarificação visual e formação de flocos sedimentáveis. Em relação à carga orgânica, a maior eficiência foi obtida na dosagem de 1.250 mg/L, com redução de 30,8% na DBO e 29,0% na DQO. Observou-se, contudo, que dosagens superiores a este limiar elevam a carga orgânica residual devido à liberação de compostos solúveis pela semente bruta. A estabilidade química foi confirmada como a principal vantagem operacional, mantendo o pH inalterado (média de 7,9). Conclui-se que a *Moringa oleifera* é técnica e ambientalmente viável como coagulante primário para clarificação de águas eutrofizadas, recomendando-se controle rigoroso da dosagem para mitigar o aporte de matéria orgânica.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*; Eutrofização; Tratamento de Água; Coagulante Natural; Jar Test.

ABSTRACT

The eutrophication of water bodies represents a growing challenge for sanitation, requiring efficient and sustainable treatment technologies. In this context, *Moringa oleifera* emerges as a promising alternative to conventional chemical coagulants, which generate toxic sludge and alter water pH. This study aimed to evaluate the coagulant potential of *Moringa oleifera* seeds in the treatment of eutrophic water from stabilization pond effluents. Coagulation/flocculation assays (Jar Test) were performed applying dosages between 500 and 1,750 mg/L, monitoring physicochemical parameters such as Total Solids and their fractions, Biochemical and Chemical Oxygen Demand (BOD and COD), pH, and Electrical Conductivity, in addition to visual analysis of clarification. The results demonstrated that the *Moringa oleifera* seed acted effectively in destabilizing suspended material, eliminating the need for pH correctors. The optimal dosage for physical removal was identified at 1,500 mg/L, achieving removals of 48.1% for Total Solids and 50.0% for Fixed Solids, resulting in remarkable visual clarification and the formation of settleable flocs. Regarding organic load, the highest efficiency was obtained at a dosage of 1,250 mg/L, with a reduction of 30.8% in BOD and 29.0% in COD. However, it was observed that dosages above this threshold increase the residual organic load due to the release of soluble compounds by the raw seed. Chemical stability was confirmed as the main operational advantage, keeping the pH unchanged (average of 7.9). It is concluded that *Moringa oleifera* is technically and environmentally feasible as a primary coagulant for the clarification of eutrophic waters, recommending rigorous dosage control to mitigate the input of organic matter.

Keywords: *Moringa oleifera*; Eutrophication; Water Treatment; Natural Coagulant; Jar Test.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Árvore de <i>Moringa oleifera</i> e suas sementes	24
Figura 2 – Etapas do mecanismo de adsorção e neutralização de cargas da <i>Moringa oleifera</i>	25
Figura 3 – Etapas de preparo do coagulante: (a) sementes com casca, (b) sementes descascadas, (c) trituração e (d) pó peneirado	28
Figura 4 – Equipamento <i>de Jar Test</i>	30
Figura 5 – Ensaio de Sólidos Sedimentáveis (Cone de Imhoff) da água bruta	36
Figura 6 – Variação das concentrações de Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF) em função da dosagem de <i>Moringa oleifera</i>	38
Figura 7 – Variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) em função da dosagem de <i>Moringa oleifera</i>	40
Figura 8 – Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em função da dosagem de <i>Moringa oleifera</i>	42
Figura 9 – Variação do pH em função da dosagem de <i>Moringa oleifera</i>	44
Figura 10 – Variação da Condutividade Elétrica em função da dosagem de <i>Moringa oleifera</i>	45
Figura 11 – Comparação visual da clarificação nas dosagens ótimas	46
Figura 12 – Visualização dos flocos durante a etapa de sedimentação	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Metas e indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) aplicáveis ao trabalho.....	18
Quadro 2– Caracterização físico-química da amostra de água bruta (ETE Ilha Solteira)	35
Quadro 3 – Valores de Sólidos Totais, Voláteis e Fixos após o tratamento	37
Quadro 4 – Valores médios de DQO e eficiência de remoção após o tratamento	40
Quadro 5 – Valores de DBO e eficiência de remoção após o tratamento	42
Quadro 6 – Valores de pH e Condutividade Elétrica após o tratamento	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APHA	American Public Health Association
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
PAC	Cloreto de Polialumínio
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVO	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS).....	18
3.2	A DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DOS CORPOS HÍDRICOS	19
3.3	COAGULANTES CONVENCIONAIS E SUAS DESVANTAGENS	20
3.4	CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	21
3.4.1	Características Físicas.....	21
3.4.2	Características Químicas.....	22
3.5	<i>MORINGA OLEIFERA</i> COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL	23
3.5.1	A Planta e Suas Potencialidades	23
3.5.2	Componentes Ativos e Mecanismo de Coagulação.....	24
3.5.3	Vantagens no Tratamento de Água	25
3.5.4	Desafio e Limitações do Uso da Moringa.....	25
3.6	ANÁLISE DE DADOS.....	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	LOCAL DE COLETA DA AMOSTRA.....	27
4.2	PREPARO DO COAGULANTE NATURAL	27
4.2.1	Armazenamento Prévio e Extração dos Miolos	28
4.2.2	Secagem e Obtenção do Pó Coagulante.....	29
4.3	ENSAIO DE COAGULAÇÃO (JAR TEST)	29
4.4	ANÁLISES FÍSICAS	31
4.4.1	Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (STF) e Sólidos Voláteis (STV)	31
4.4.2	Sólidos Sedimentáveis (Cone de Imhoff)	31
4.4.3	Condutividade Elétrica.....	32
4.5	ANÁLISES QUÍMICAS	32
4.5.1	pH (Potencial Hidrogeniônico)	32
4.5.2	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	33
4.5.3	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA	35
5.2	AVALIAÇÃO DOS SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....	36

5.3	AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS	37
5.4	AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	39
5.5	AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	41
5.6	EFEITO DO TRATAMENTO NO PH E NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA..	43
5.7	ANÁLISE VISUAL DA CLARIFICAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO	46
6	CONCLUSÕES	48
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos (ODS 6) é um dos pilares dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. A urgência desta meta é acentuada pelo fato de que 2,2 bilhões de pessoas no mundo ainda carecem de acesso a serviços de água tratada de forma segura (WHO; UNICEF, 2023). No Brasil, os corpos hídricos superficiais são os principais mananciais para abastecimento, tornando o tratamento da água uma etapa indispensável para garantir que ela atenda aos padrões de potabilidade definidos pela Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021).

A tecnologia de tratamento mais difundida no país é a de ciclo completo, que envolve as etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração (DI BERNARDO et al., 2017). Um dos desafios mais complexos neste processo é a eutrofização de mananciais, que intensifica a proliferação de algas e cianobactérias, representando um risco sanitário crítico devido à potencial liberação de cianotoxinas.

A etapa de coagulação é crucial para a remoção dessas partículas. Tradicionalmente, são utilizados coagulantes inorgânicos como o sulfato de alumínio e alternativas mais modernas como o cloreto de polialumínio (PAC). Contudo, o uso destes compostos está associado à geração de lodo químico de difícil descarte e a debates sobre seus impactos ambientais e na saúde. Como alternativa, a *Moringa oleífera* – espécie originária da Índia e bem adaptada ao clima brasileiro, emerge como uma solução promissora e sustentável. Suas sementes contêm proteínas catiônicas que atuam como polieletrólitos naturais de alta eficiência na clarificação de águas turvas (NDABIGENGESERE et al., 1995).

Estudos demonstram a eficácia da *Moringa oleífera* na remoção de turbidez (NDABIGENGESERE; NARASIAH, 1998) e, especificamente, na clarificação de águas com elevadas cargas de microalgas (BARRADO-MORENO et al., 2016). Apesar dos avanços, a aplicação prática da *Moringa* no tratamento de águas eutrofizadas ainda demanda maior detalhamento experimental. Nesse contexto, o presente trabalho investiga o desempenho de sementes de *Moringa oleífera* trituradas no tratamento de amostras de água eutrofizada, verificando parâmetros de dosagem e clarificação de modo a fornecer dados experimentais que reforcem seu potencial como um coagulante natural, viável e sustentável.

2 OBJETIVO

Avaliar a eficiência do coagulante natural obtido a partir de sementes de *Moringa oleifera* no tratamento físico-químico de águas eutrofizadas, verificando seu potencial na remoção de biomassa algal e na melhoria dos parâmetros de qualidade da água.

Objetivos específicos:

- Realizar ensaios de coagulação e floculação (*Jar Test*) aplicando diferentes dosagens do coagulante natural para determinar as faixas de atuação.
- Quantificar a remoção de material particulado e biomassa algal através da análise de Sólidos Totais e suas frações (Sólidos Fixos e Voláteis), bem como a sedimentabilidade via Cone de Imhoff.
- Monitorar o comportamento da carga orgânica (DBO e DQO) e a estabilidade química (pH e Condutividade Elétrica) da água tratada em comparação à água bruta.
- Determinar a dosagem ótima de *Moringa oleifera* que proporcione o melhor equilíbrio entre clarificação da água e remoção de carga orgânica.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

A água é um componente fundamental na dinâmica da natureza, impulsionando todos os ciclos e sendo um dos principais elementos para a vida no planeta Terra. Além de seu papel vital, os recursos hídricos são indispensáveis para a produção de energia, alimentos e para o desenvolvimento industrial, agrícola e econômico (TUNDISI, 2003). Nesse contexto, o saneamento é definido como um conjunto de ações sobre o meio ambiente que visam garantir condições de salubridade às populações, protegendo a saúde e proporcionando bem-estar físico, mental e social (HELLER E PÁDUA, 2006).

Diante dessa relevância, a comunidade internacional estabeleceu, através da Agenda 2030, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), um apelo universal à ação para proteger o planeta e garantir a prosperidade. A urgência dessas metas é acentuada pelo fato de que 2,2 bilhões de pessoas no mundo ainda não dispõem de serviços de água tratada de forma segura. Dentre os 17 objetivos, o ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e o ODS 14 (Vida na Água) se conectam diretamente com a presente pesquisa, conforme detalhado no Quadro 1.

Quadro 1 – Metas e indicadores dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) aplicáveis ao trabalho.

Indicador	Informações
Indicador 6.1.1	Apresentar a proporção da população que utiliza serviços de água potável gerenciados de forma segura, o que envolve a remoção de contaminações químicas e biológicas, como as florações de algas
Indicador 6.3.2	Medir a proporção de corpos hídricos com boa qualidade ambiental. O tratamento de águas eutrofizadas contribui diretamente para a melhoria e recuperação desses ecossistemas aquáticos.
Indicador 14.1.1	Informar o índice de eutrofização. Este processo, caracterizado pelo enriquecimento da água por nutrientes como nitrogênio e fósforo, é a causa direta das florações algais que este trabalho busca mitigar.

Fonte: Adaptado de Silveira (2021).

No Brasil, a Lei nº 11.445 de 2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento, baseada no princípio de universalização do acesso. Apesar dos avanços, o cenário ainda é desafiador. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2012), indicavam um índice médio de atendimento urbano

por redes de água de 93,2%. Contudo, garantir a conexão à rede não é o mesmo que garantir a qualidade da água. A situação do tratamento da água distribuída é consideravelmente mais precária, especialmente nas regiões Norte, Centro-Oeste e interior do Nordeste.

Essa deficiência no tratamento, somada ao lançamento de esgoto não tratado em rios e lagos, agrava a poluição dos mananciais superficiais, que são os mais utilizados para o abastecimento público no país. Para ser considerada potável, a água para consumo humano deve ter seus parâmetros microbiológicos, físicos e químicos atendendo ao padrão de potabilidade, de modo a não oferecer riscos à saúde. Por isso, a aplicação de tecnologias de tratamento eficazes, como as investigadas neste estudo, é essencial para adequar a qualidade da água ao padrão vigente, estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

3.2 A DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DOS CORPOS HÍDRICOS

A qualidade da água de abastecimento é frequentemente comprometida por contaminantes provenientes, em grande parte, de resíduos gerados pelas indústrias e pela própria população. Em países em desenvolvimento, é comum que a água de mananciais utilizada para consumo humano seja altamente turbida, sobretudo na estação chuvosa, contendo elevada concentração de material sólido em suspensão, bactérias e outros microrganismos. Essa contaminação representa um grave risco à saúde pública, sendo causa de infecções que vitimizam milhões de crianças anualmente nesses países (PATERNIANI, MANTOVANI, SANT'ANNA, 2009).

Um dos processos de degradação mais significativos dos corpos hídricos é a eutrofização, um fenômeno desencadeado pelo enriquecimento excessivo da água por nutrientes (BARROS, 2017). Esse excesso de nutrientes na água atua como um fertilizante, causando a proliferação descontrolada de microalgas e cianobactérias, conhecida como floração (BARROS, 2017). Essa biomassa algal é a principal fonte de matéria orgânica que, ao morrer e se decompor, eleva drasticamente a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) (FRANCO, 2010), além de constituir os Sólidos Totais que necessitam ser removidos.

Para remover essas impurezas, a etapa de coagulação química se torna a mais importante no processo de tratamento. A adição de um agente coagulante tem como objetivo desestabilizar as partículas coloidais e finamente divididas, diminuindo as

forças que as mantêm separadas (FERREIRA FILHO, 2017). Essa desestabilização promove a aglomeração das partículas (floculação), formando agregados maiores e mais pesados que podem ser posteriormente removidos por sedimentação, flotação ou filtração (LIBÂNIO, 2010).

3.3 COAGULANTES CONVENCIONAIS E SUAS DESVANTAGENS

A etapa de coagulação no tratamento de água convencional é predominantemente realizada com o uso de coagulantes químicos inorgânicos. No Brasil, os mais utilizados são os sais de alumínio e ferro, como o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), o cloreto férrico (FeCl_3) e o sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Tais compostos são amplamente empregados por sua elevada eficiência na remoção de partículas em suspensão, facilidade de manuseio e custo relativamente baixo (SENEDA; GARCIA; DOS REIS, 2021). Além dos sais tradicionais, polímeros inorgânicos mais modernos, como o cloreto de polialumínio (PAC), também são comuns e possuem alta disponibilidade no mercado nacional (KAMIWADA et al., 2020).

Apesar da sua eficácia, a utilização desses coagulantes químicos apresenta desvantagens significativas. Um dos principais problemas é a geração de grandes quantidades de lodo não biodegradável, o que torna seu tratamento e descarte um complexo e custoso passivo ambiental para as estações de tratamento. Outra desvantagem operacional é o forte impacto que os coagulantes inorgânicos exercem sobre o pH da água, tornando-a mais ácida e exigindo a adição de outros produtos químicos para sua posterior correção (GANDIWA et al., 2020). Em contrapartida, a *Moringa oleifera* se destaca por não alterar significativamente o pH da solução, sendo esta uma de suas grandes vantagens como coagulante (YAMAGUCHI et al., 2021).

Além das questões ambientais e operacionais, existem preocupações relacionadas à saúde pública. O uso de coagulantes à base de alumínio pode deixar uma concentração de alumínio residual na água tratada. Estudos apontam que a presença de íons Al^{3+} na água de consumo pode estar associada a efeitos nocivos à saúde, incluindo o desenvolvimento de doenças gastrointestinais, cardíacas, insuficiência renal crônica e, ainda, uma possível correlação com doenças neurodegenerativas como o mal de Alzheimer e Parkinson (MIRZA et al., 2017; SANTOS, 2017). Diante dessas desvantagens, a busca por coagulantes naturais, de

baixa toxicidade e que gerem resíduos biodegradáveis, torna-se uma área de pesquisa de grande relevância.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água pode ser representada por um conjunto de parâmetros que traduzem suas características físicas, químicas e biológicas. A partir do conhecimento desses parâmetros, é possível identificar as técnicas e operações adequadas para o seu tratamento e avaliar se a água distribuída é segura do ponto de vista sanitário e legislativo (HELLER E PÁDUA, 2006).

3.4.1 Características Físicas

As características físicas da água para abastecimento geram impacto imediato ao consumidor devido à sua percepção direta, não devendo apresentar turbidez, cor, sabor e odor fora dos padrões de potabilidade.

Entre os principais parâmetros físicos, destacam-se os sólidos. Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), os sólidos totais (ST) correspondem a todo o material residual presente na água, englobando tanto as partículas em suspensão quanto as substâncias dissolvidas. Esta medida é subdividida em duas frações principais que indicam a natureza dos constituintes: os Sólidos Voláteis, que representam a matéria orgânica (como biomassa algal) passível de volatilização em altas temperaturas, e os Sólidos Fixos, que correspondem à matéria inorgânica e mineral inerte (LIBÂNIO, 2010; VON SPERLING, 2005).

Ainda no contexto dos sólidos, a sedimentabilidade das partículas é avaliada através da determinação dos sólidos sedimentáveis, realizada com o auxílio do Cone de Imhoff. Este parâmetro quantifica volumetricamente a matéria que se deposita por ação exclusiva da gravidade em um período determinado (geralmente uma hora), permitindo avaliar a estabilidade da suspensão e a necessidade de agentes coagulantes para promover a decantação (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Por fim, a condutividade elétrica é o parâmetro que indica a capacidade da água de transmitir corrente elétrica, o que ocorre devido à presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em cátions e ânions. Sua medição está diretamente

relacionada à quantidade de sais dissolvidos e permite estimar a quantidade de sólidos totais dissolvidos na amostra (LIBÂNIO, 2010).

3.4.2 Características Químicas

As características químicas permitem classificar a água por seu conteúdo mineral, determinar o grau de contaminação e avaliar o equilíbrio bioquímico necessário para a manutenção da vida aquática. Em águas eutrofizadas, os principais indicadores de poluição estão ligados à matéria orgânica, que pode ser quantificada pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e pela Demanda Química de Oxigênio (DQO).

O pH (Potencial Hidrogeniônico) é um parâmetro utilizado para indicar a acidez ou alcalinidade de uma solução. Em sistemas de abastecimento, ele é monitorado com frequência por sua grande influência nos processos de tratamento, desde a aplicação de coagulantes até a desinfecção química (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro quantitativo que mede a quantidade total de oxigênio necessária para oxidar quimicamente quase toda a matéria orgânica, seja ela biodegradável ou não, além de compostos inorgânicos oxidáveis presentes na água (VON SPERLING, 2005). Conforme estabelecido no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), a análise utiliza um agente oxidante químico forte, como o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), em meio ácido e a alta temperatura ($150^\circ C$). O resultado representa a carga orgânica total máxima da amostra. Em águas eutrofizadas, o valor da DQO é fortemente influenciado pela massa de algas (biomassa) presente.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), por outro lado, mede especificamente a porção da matéria orgânica que é biodegradável. Este parâmetro quantifica o oxigênio consumido por microrganismos, principalmente bactérias, durante a decomposição aeróbia dessa matéria (VON SPERLING, 2005). O teste padrão, conhecido como $DBO_{5,20}$, mede esse consumo durante um período de incubação de cinco dias a uma temperatura de $20^\circ C$, no escuro (LIBÂNIO, 2010). A DBO é o indicador clássico do potencial de poluição de um efluente: um alto valor de DBO significa que, ao ser lançada em um corpo d'água, essa matéria orgânica será

decomposta por bactérias que consumirão rapidamente o oxigênio dissolvido, podendo levar à morte de peixes e outros organismos aquáticos.

A relação entre esses dois parâmetros (DBO_5/DQO) é um índice crucial na engenharia sanitária, pois indica o quão "tratável" por métodos biológicos é uma amostra de água. Uma relação DBO_5/DQO alta (ex: $> 0,5$) sugere que a maior parte da matéria orgânica é biodegradável e pode ser facilmente removida em uma estação de tratamento biológico. Uma relação baixa (ex: $< 0,3$) indica que a matéria orgânica é de difícil degradação (recalcitrante) ou tóxica, exigindo tratamentos químicos mais avançados.

3.5 MORINGA OLEIFERA COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL

A busca por coagulantes naturais extraídos de fontes vegetais, como a *Moringa oleifera*, tem ganhado destaque na pesquisa científica. Esses materiais apresentam vantagens importantes frente aos coagulantes sintéticos, como biodegradabilidade, baixa toxicidade e menor produção de lodo, seja no tratamento de águas de abastecimento ou residuárias (YAMAGUCHI et al., 2021).

3.5.1 A Planta e Suas Potencialidades

A *Moringa oleifera* é uma espécie da família *Moringaceae*, originária da Índia e de regiões dos Himalaias. É uma árvore de médio porte e rápido crescimento, amplamente distribuída e bem adaptada a países de clima tropical, incluindo o Brasil, especialmente nas regiões nordestinas (SILVEIRA, 2021). Suas diferentes partes são utilizadas para diversos fins, como medicinais e farmacêuticos, devido às suas propriedades antimicrobianas e anti-inflamatórias, além do uso na nutrição e na indústria de cosméticos (MAGALHÃES et al., 2021). No tratamento de água, suas sementes se destacam por apresentarem resultados satisfatórios na clarificação de águas turvas, com eficiência similar à dos coagulantes sintéticos (VALVERDE et al., 2018). A Figura 1 ilustra a aparência da árvore e de suas sementes.

Figura 1 – Árvore de *Moringa oleifera* e suas sementes

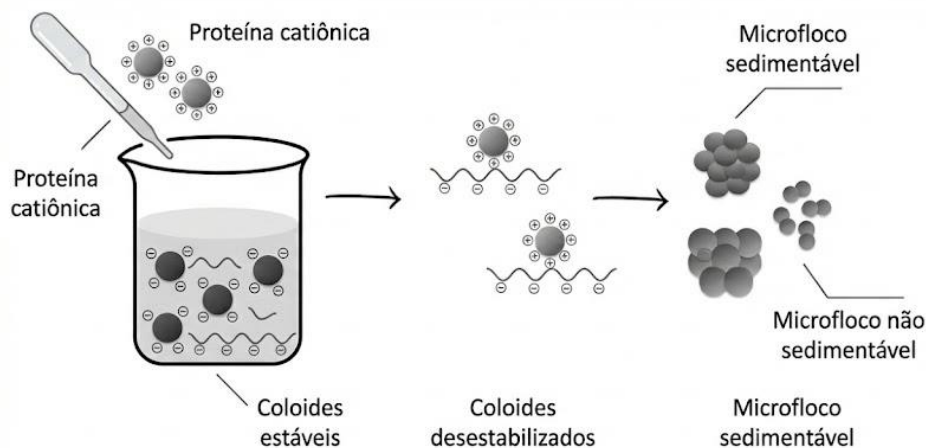
Fonte: Autoria Própria (2025).

3.5.2 Componentes Ativos e Mecanismo de Coagulação

A capacidade coagulante da semente de *Moringa oleifera* é atribuída aos seus componentes ativos, que são proteínas catiônicas (de carga positiva) solúveis em água. Estudos de fracionamento proteico identificaram que as frações de albumina e globulina são os principais componentes responsáveis pela coagulação (BAPTISTA et al., 2017). Essas proteínas possuem um ponto isoelétrico em faixa alcalina (pH entre 10 e 11) e um peso molecular que varia na faixa de 6,5 a 37 kDa (NDABIGENGESERE; NARASIAH; TALBOT, 1995).

O principal mecanismo de coagulação atribuído a essas proteínas é o de adsorção e neutralização de cargas. As impurezas presentes na água bruta, como argilas, microalgas e outros colóides, possuem carga superficial predominantemente negativa. Ao adicionar o coagulante de *Moringa*, suas proteínas de carga positiva são adsorvidas pela superfície dos colóides, neutralizando as cargas negativas. Esse processo desestabiliza as partículas, que antes se repeliam, permitindo que elas se agreguem para formar microflocos que podem ser removidos posteriormente (NDABIGENGESERE; NARASIAH; TALBOT, 1995). A Figura 2 ilustra esquematicamente as etapas deste mecanismo.

Figura 2 – Etapas do mecanismo de adsorção e neutralização de cargas da *Moringa oleifera*



Fonte: Adaptado de Chales (2022).

3.5.3 Vantagens no Tratamento de Água

O uso da *Moringa oleifera* apresenta vantagens competitivas significativas em relação aos coagulantes sintéticos. A mais notável é a sua estabilidade de pH. Diferente dos sais de alumínio, a *Moringa* não consome a alcalinidade da água e, por isso, não altera significativamente o seu pH (YAMAGUCHI et al., 2021). Isso elimina a necessidade de etapas de correção com produtos alcalinizantes, o que reduz custos operacionais e simplifica o tratamento (MADRONA, 2010).

Outra vantagem crucial é a menor produção de lodo. Estudos comparativos demonstram que a *Moringa* gera um volume de lodo residual consideravelmente inferior ao produzido pelo sulfato de alumínio e pelo PAC. Além disso, o lodo gerado pela *Moringa* é orgânico e biodegradável, enquanto o lodo químico é um passivo ambiental de difícil e custoso descarte (YAMAGUCHI et al., 2021).

3.5.4 Desafio e Limitações do Uso da *Moringa*

Apesar das vantagens, a *Moringa oleifera* não é uma solução perfeita e apresenta desafios que devem ser considerados. Uma das principais limitações é o aumento da Carga Orgânica Residual, medida pelo parâmetro de Carbono Orgânico Total (COT), devido à sua rica composição em compostos orgânicos que são liberados na água (NDABIGENGESERE; SUBBA NARASIAH, 1998). Essa matéria orgânica residual é indesejável, pois pode servir de nutriente para o crescimento de

microrganismos na rede de distribuição e pode formar subprodutos tóxicos durante a etapa de desinfecção com cloro (BAPTISTA et al., 2017). Estudos demonstram que o aumento do COT na água tratada está diretamente relacionado ao aumento da dosagem do coagulante de *Moringa* aplicado (JUNG et al., 2018).

3.6 ANÁLISE DE DADOS

A interpretação dos resultados será realizada por meio de estatística descritiva simples, abordagem utilizada em trabalhos semelhantes, como o de Franco (2010). Para as amostras analisadas em duplicata, serão calculados os valores médios e o desvio padrão. A eficiência de remoção para cada parâmetro será calculada utilizando a seguinte equação:

$$\text{Eficiência (\%)} [(Valor\ Inicial - Valor\ Final) / Valor\ Inicial] \times 100 \quad (1)$$

Os resultados serão apresentados em forma de tabelas e gráficos para facilitar a comparação entre as diferentes dosagens do coagulante e as diferentes características da água inicial.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE COLETA DA AMOSTRA

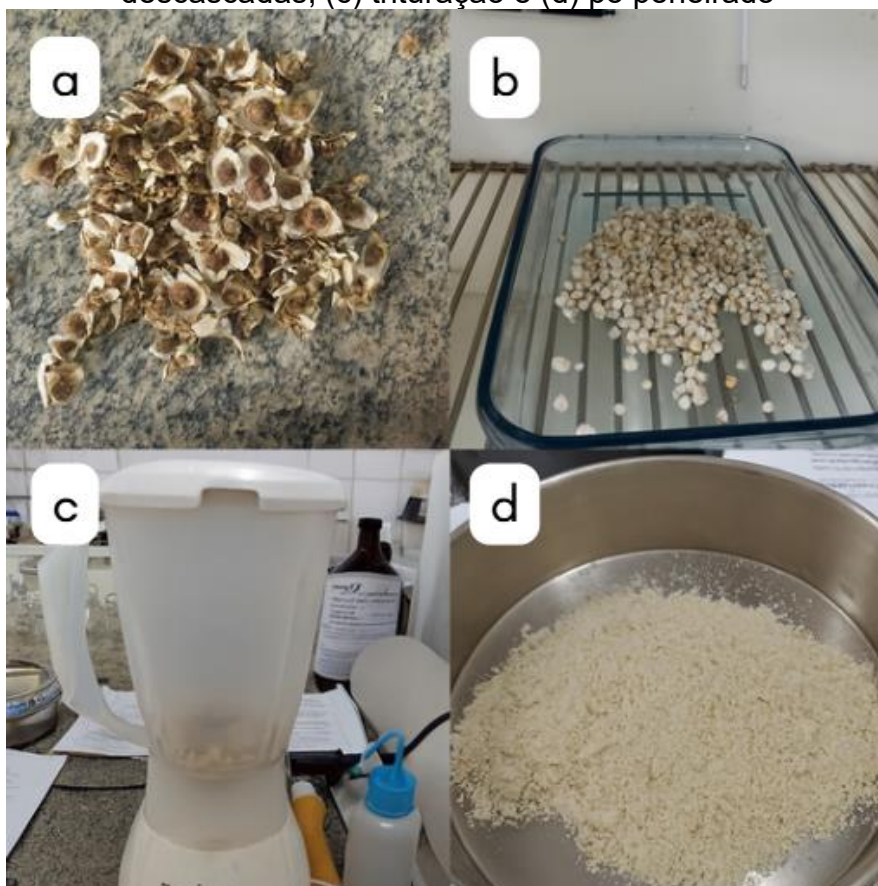
A água bruta foi coletada nas comportas de saída das lagoas de estabilização da ETE de Ilha Solteira - SP. A escolha deste ponto justifica-se por representar o efluente final, caracterizado por elevada densidade de biomassa algal que compõe a maior parte dos Sólidos Totais e da matéria orgânica (DBO e DQO), sendo o alvo principal do processo de coagulação estudado.

Os procedimentos seguiram o *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras* (CETESB; ANA, 2011). A coleta foi realizada utilizando frascos de polietileno previamente higienizados e submetidos à ambientação no local (três enxágues com a própria água antes do preenchimento). Imediatamente após, as amostras foram acondicionadas em caixa térmica com gelo, mantendo-se a temperatura próxima a 4°C e ao abrigo da luz para minimizar a atividade biológica durante o transporte até o laboratório para a realização dos ensaios.

4.2 PREPARO DO COAGULANTE NATURAL

O preparo do coagulante natural a partir das sementes de *Moringa oleifera* foi realizado seguindo uma adaptação da metodologia descrita por Barros (2017). As etapas consistiram no armazenamento prévio, descascamento manual, secagem em estufa, trituração e peneiramento, conforme detalhado a seguir e ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Etapas de preparo do coagulante: (a) sementes com casca, (b) sementes descascadas, (c) trituração e (d) pó peneirado



Fonte: Autoria Própria (2025).

4.2.1 Armazenamento Prévio e Extração dos Mioslos

As sementes de *Moringa oleifera* foram mantidas sob refrigeração em seu estado natural (com casca) desde a coleta até o momento do processamento, visando preservar suas características. Para a obtenção do material coagulante, as sementes foram retiradas da refrigeração e descascadas manualmente com o auxílio de um martelo. A remoção completa da casca marrom é uma etapa fundamental, pois esta fração não possui propriedades coagulantes significativas e representa matéria orgânica residual indesejada no tratamento. Desta forma, apenas o miolo branco da semente foi aproveitado para as etapas subsequentes.

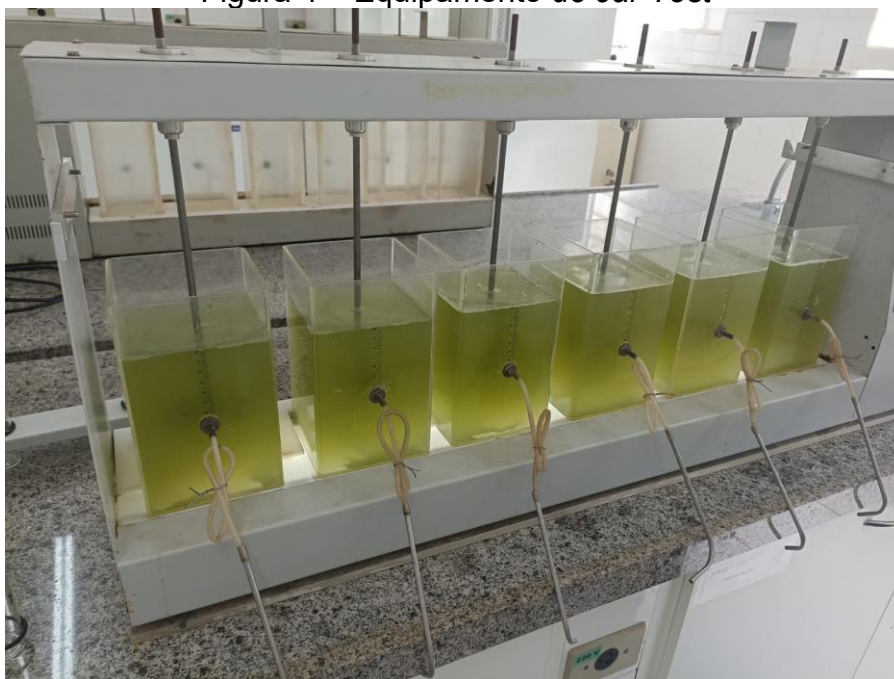
4.2.2 Secagem e Obtenção do Pó Coagulante

Após o descascamento, os miolos brancos foram submetidos a um processo de secagem em estufa com circulação de ar a 65°C por um período de 2 horas. Esta etapa visa a redução do teor de umidade, facilitando a trituração posterior e a conservação do material.

Em seguida, os miolos secos foram triturados com o auxílio de um liquidificador até a obtenção de uma farinha grossa. Este material triturado foi então peneirado em uma malha de aço inoxidável com abertura de 0,85 mm, para garantir a padronização da granulometria do coagulante. O pó fino resultante desta etapa, utilizado diretamente nos ensaios de tratamento, foi imediatamente acondicionado em recipiente hermeticamente fechado e mantido sob refrigeração para preservar sua atividade coagulante até o momento do uso.

4.3 ENSAIO DE COAGULAÇÃO (JAR TEST)

Para determinar a eficiência do coagulante natural e a dosagem ótima para o tratamento da água em estudo, foram realizados ensaios de coagulação, floculação e decantação em um equipamento de Teste de Jarros (Jar Test) com seis cubas, ilustrado na Figura 4. O procedimento foi baseado nas metodologias de Silveira (2021) e Barros (2017).

Figura 4 – Equipamento de *Jar Test*

Fonte: Autoria Própria (2025).

O ensaio foi conduzido utilizando um equipamento de *Jar Test*, cujas seis cubas foram preenchidas com 2 litros da amostra de água bruta eutrofizada, previamente homogeneizada. As diferentes massas do pó de semente de *Moringa oleifera* (obtido conforme descrito no Item 4.2) foram calculadas, pesadas e adicionadas simultaneamente às cubas para estabelecer o gradiente de concentrações de 500, 750, 1000, 1250, 1500 e 1750 mg/L.

Imediatamente após a dosagem, o sistema foi acionado na etapa de mistura rápida, ajustada para uma rotação de 150 rpm por 2 minutos, com o objetivo de promover a dispersão uniforme do coagulante e garantir o choque das partículas com o agente químico (DI BERNARDO E DANTAS, 2005). Sequencialmente, a rotação foi reduzida para a etapa de mistura lenta (floculação), mantendo-se a 50 rpm por 25 minutos. Esta agitação suave visou promover o transporte e a colisão entre as partículas previamente desestabilizadas, favorecendo a formação e o crescimento de flocos com tamanho e densidade adequados para a sedimentação (RICHTER, 2009).

Ao final da agitação, o sistema foi desligado e mantido em repouso para a etapa de sedimentação por um período de 60 minutos. Após esse tempo, alíquotas da água clarificada foram coletadas de cada cuba, com cuidado para não ressuspender os sedimentos, sendo encaminhadas para as respectivas análises físico-químicas.

4.4 ANÁLISES FÍSICAS

4.4.1 Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (STF) e Sólidos Voláteis (STV)

A determinação da série de sólidos foi realizada pelo método gravimétrico, seguindo os procedimentos 2540 B (Sólidos Totais) e 2540 E (Sólidos Fixos e Voláteis) descritos pela APHA (2017).

Este método quantifica a massa de resíduo remanescente após a evaporação da água e a subsequente calcinação da amostra. Para a análise, foram utilizados cápsulas de porcelana, banho-maria (ou chapa aquecedora), estufa de secagem (103–105°C), forno mufla (550°C), dessecador e balança analítica de precisão.

O procedimento iniciou-se com o preparo das cápsulas de porcelana, que foram previamente lavadas, calcinadas na mufla a 550°C por 60 minutos para remoção de quaisquer resíduos orgânicos, resfriadas em dessecador e pesadas em balança analítica para obtenção da massa inicial (tara).

Para a determinação dos Sólidos Totais (ST), um volume conhecido de amostra homogeneizada foi transferido para a cápsula e submetido à evaporação em estufa a 103–105°C até a secagem completa e obtenção de massa constante. Após o resfriamento em dessecador, a cápsula foi pesada novamente. A concentração de ST foi calculada pela diferença entre a massa seca e a tara da cápsula, dividida pelo volume da amostra.

Para a diferenciação das frações, a cápsula contendo o resíduo seco (Sólidos Totais) foi levada ao forno mufla a uma temperatura de $550 \pm 50^\circ\text{C}$ por 20 minutos. Nesta etapa, a matéria orgânica é volatilizada e oxidada, restando apenas o resíduo inorgânico. Após o resfriamento em dessecador, a cápsula foi pesada para determinar a massa dos Sólidos Fixos (STF). A concentração de Sólidos Voláteis (STV), que corresponde à fração orgânica perdida na ignição, foi obtida pela diferença entre os Sólidos Totais e os Sólidos Fixos. Todos os resultados foram expressos em miligramas por litro (mg/L).

4.4.2 Sólidos Sedimentáveis (Cone de Imhoff)

A determinação de sólidos sedimentáveis foi realizada pelo método volumétrico utilizando cones de Imhoff, seguindo o procedimento 2540 F descrito pela APHA

(2017). Este ensaio avalia o volume de sólidos que decantam pela ação da gravidade em um período determinado.

O procedimento consistiu em transferir 1,0 litro de amostra homogeneizada para um cone de Imhoff graduado, posicionado em um suporte estável. A amostra foi mantida em repouso por um período total de 60 minutos (1 hora). Após os primeiros 45 minutos, realizou-se uma leve agitação próxima às paredes internas do cone para desprender os sólidos aderidos, permitindo que sedimentassem nos 15 minutos finais. A leitura do volume de lodo compactado no fundo do cone foi realizada diretamente na escala graduada, e os resultados foram expressos em mililitros por litro (mL/L).

4.4.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica foi determinada em laboratório seguindo o método eletrométrico, conforme o procedimento 2510 B descrito pela APHA (2017). Para a medição, utilizou-se o medidor multiparâmetro portátil (modelo SX836, *Apera Instruments*).

Para cada análise, a célula de condutividade foi imersa na amostra de água, previamente homogeneizada e em temperatura ambiente. Aguardou-se a estabilização da leitura no visor do equipamento, que realiza a compensação automática de temperatura para o valor de referência de 25°C.

Os valores de condutividade elétrica foram registrados e expressos em microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

4.5 ANÁLISES QUÍMICAS

4.5.1 pH (Potencial Hidrogeniônico)

A determinação do Potencial Hidrogeniônico (pH) das amostras foi realizada pelo método eletrométrico, seguindo o procedimento 4500-H⁺ B descrito pela APHA (2017). Utilizou-se o medidor multiparâmetro portátil (modelo SX836, *Apera Instruments*), devidamente calibrado.

O procedimento iniciou-se com a calibração do equipamento, utilizando-se no mínimo duas soluções tampão padrão de pH conhecido (ex: pH 4,01 e 7,01) para ajustar e verificar a resposta do eletrodo. Entre cada medição de calibração e de

amostra, o eletrodo foi cuidadosamente lavado com água destilada e seco. Para a análise, o eletrodo foi imerso na amostra de água, previamente homogeneizada, e aguardou-se a estabilização da leitura no visor do aparelho antes de registrar o valor. O resultado é expresso na escala adimensional de pH.

4.5.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi realizada seguindo o método de incubação de 5 dias, conforme o procedimento 5210 B descrito pela APHA (2017). Este método mede o oxigênio dissolvido (OD) consumido por microrganismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica biodegradável na amostra, em duplicata.

Primeiramente, foram preparadas as soluções estoque de nutrientes, em escala reduzida de 100 mL, conforme as diretrizes da APHA (2017). A solução tampão fosfato (pH 7,2) foi preparada dissolvendo 0,85 g de KH_2PO_4 , 2,175 g de K_2HPO_4 , 3,34 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 0,17 g de NH_4Cl em água deionizada, aferindo-se o volume para 100 mL e armazenando sob refrigeração. A solução de sulfato de magnésio foi feita dissolvendo 2,25 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ em água deionizada até 100 mL. A solução de cloreto de cálcio foi feita dissolvendo 2,75 g de CaCl_2 anidro em água deionizada até 100 mL. A solução de cloreto férrico foi feita dissolvendo 0,025 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ em água deionizada até 100 mL. As soluções de magnésio, cálcio e ferro foram armazenadas em temperatura ambiente.

Para o ensaio, a água de diluição foi preparada aerando-se água deionizada por no mínimo 1 hora e acondicionando-a a 20°C. No momento do uso, para cada litro de água aerada, foi adicionado 1 mL de cada uma das quatro soluções nutrientes. Considerando a carga orgânica estimada da amostra, foram preparadas duas faixas de diluição distintas utilizando esta água de diluição: 1:5 (20% de amostra) e 1:20 (5% de amostra).

Os frascos de DBO foram completamente preenchidos com as amostras diluídas, evitando a formação de bolhas. A concentração de Oxigênio Dissolvido inicial (OD_0) foi verificada no momento zero (Dia 0) em alíquotas de cada lote de diluição, utilizando o medidor multiparâmetro portátil *Apera Instruments* (modelo SX836), devidamente calibrado. Imediatamente após a medição do (OD_0), os frascos foram vedados hermeticamente com selo d'água e incubados no escuro em estufa a 20°C

por 5 dias. Após 5 dias, o OD final (OD_5) dos frascos incubados foi medido. Foram consideradas válidas as diluições com depleção de $OD \geq 2,0$ mg/L e $OD_5 \geq 1,0$ mg/L. A DBO foi calculada pela diferença entre OD_0 e OD_5 , corrigida pelo fator de diluição. Os resultados foram expressos em mg/L.

4.5.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A determinação da DQO foi realizada pelo método do refluxo fechado colorimétrico, conforme o procedimento 5220 D descrito pela APHA (2017).

Os reagentes foram preparados em escala reduzida (100 mL) e armazenados em frascos âmbar ao abrigo da luz. A Solução Catalítica foi preparada na capela, dissolvendo 1,012 g de Ag_2SO_4 P.A. em 100 mL de H_2SO_4 concentrado. A Solução Digestora foi preparada na capela dissolvendo 1,0216 g de $K_2Cr_2O_7$ (seco) em 50 mL de água deionizada; adicionando-se lentamente 16,7 mL de H_2SO_4 concentrado; e dissolvendo 3,33 g de $HgSO_4$ P.A. na mistura quente. A solução foi resfriada e aferida para 100 mL em balão volumétrico.

A curva de calibração foi preparada no mesmo dia da análise das amostras. Uma Solução Estoque (2.000 mg DQO/L) foi feita dissolvendo 0,851 g de KHP P.A. (seco em estufa a 103-105°C por 2h e resfriado em dessecador) em água deionizada, aferindo-se para 500 mL. Padrões de trabalho (ex: 90 a 900 mg/L) foram preparados em balões de 10 mL por diluição da solução estoque, sendo feitos em duplicata.

O procedimento experimental foi realizado na capela de exaustão. Em tubos de digestão de DQO numerados, foram adicionados 1,25 mL da solução correspondente (amostra homogeneizada/diluída, padrão da curva ou água deionizada para o Branco). Em seguida, foram adicionados 0,75 mL da Solução Digestora e, lentamente, 1,75 mL da Solução Catalítica. Os tubos foram imediatamente tampados, invertidos para misturar e levados ao bloco digestor pré-aquecido a 150°C, onde permaneceram por 120 minutos (2 horas).

Após o resfriamento completo ao abrigo da luz, a absorbância de cada tubo foi lida em espectrofotômetro a 600 nm, após zerar o equipamento com o Branco. A concentração das amostras foi determinada por interpolação na curva de calibração. Os resíduos tóxicos contendo mercúrio e cromo foram descartados em recipiente apropriado. Os resultados foram expressos em mg/L.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

O primeiro passo do estudo experimental consistiu na caracterização físico-química da amostra de água bruta coletada na ETE de Ilha Solteira. Esta análise é fundamental para estabelecer a linha de base ("tempo zero") da qualidade da água, servindo como referência para o cálculo da eficiência de remoção dos parâmetros avaliados.

As análises foram realizadas em duplicata, conforme descrito na metodologia. Os valores médios obtidos para os parâmetros selecionados (Sólidos Suspensos Totais, Condutividade Elétrica, pH, DBO e DQO) estão consolidados no Quadro 2.

Quadro 2– Caracterização físico-química da amostra de água bruta (ETE Ilha Solteira)

Parâmetro	Unidade	Valores
pH	(adimensional)	7,93
Condutividade Elétrica	$\mu\text{S/cm}$	772
Sólidos Sedimentáveis	ml/L	0,20
Sólidos Totais	mg/L	1080
Sólidos Voláteis	mg/L	640
Sólidos Fixos	mg/L	440
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20})	mg/L	98,8
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	mg/L	293

Fonte: Autoria Própria (2025).

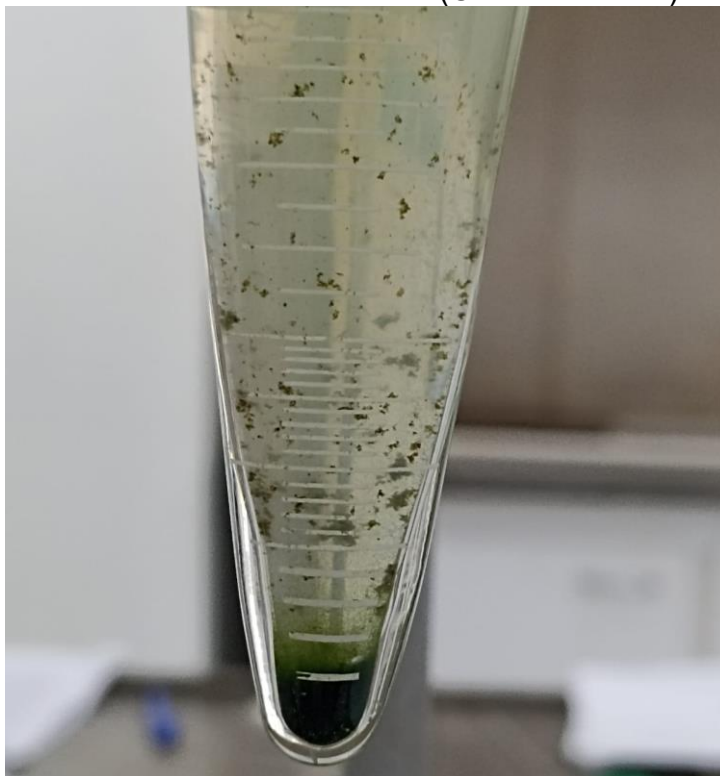
Os valores apresentados no quadro 2 confirmam a natureza eutrofizada da amostra. O elevado valor de Sólidos Suspensos Totais está diretamente relacionado à alta densidade de microalgas, responsável pela coloração verde intensa observada no ponto de coleta. Consequentemente, os altos valores de DBO e DQO também são esperados, indicando uma carga orgânica significativa proveniente, em sua maior parte, da própria biomassa algal. A relação DBO/DQO inicial foi de 0,34, sugerindo que a matéria orgânica presente é de média biodegradabilidade.

5.2 AVALIAÇÃO DOS SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS

Antes de proceder aos ensaios de coagulação, foi realizada a análise volumétrica de sólidos sedimentáveis utilizando o método do Cone de Imhoff. O objetivo desta etapa foi caracterizar a estabilidade intrínseca da amostra bruta, quantificando o volume de lodo que sedimentaria unicamente pelo efeito da gravidade. A literatura aponta que a biomassa algal possui baixa sedimentabilidade natural devido às suas propriedades coloidais e densidade próxima à da água (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Após 60 minutos de repouso da água bruta no cone, obteve-se um volume de material sedimentado de apenas 0,2 mL/L, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Ensaio de Sólidos Sedimentáveis (Cone de Imhoff) da água bruta



Fonte: Autoria Própria (2025).

Este resultado de 0,2 mL/L demonstra que a amostra bruta possui uma baixa sedimentabilidade natural. Apesar da coloração verde intensa e da turbidez visual, o material presente na água apresenta alta estabilidade, permanecendo disperso e não decantando espontaneamente em um período de uma hora.

Esta constatação é fundamental para justificar a escolha do tratamento, pois confirma que a remoção das impurezas (microalgas) não ocorreria por simples gravidade em um decantador convencional, sendo indispensável a aplicação de um agente coagulante, como a *Moringa oleifera*, para desestabilizar as partículas e promover a formação de flocos com peso suficiente para sedimentar.

5.3 AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS

A determinação de Sólidos Totais (ST) foi realizada pelo método gravimétrico com evaporação total da amostra, permitindo quantificar a massa total de resíduos presentes, englobando tanto os sólidos em suspensão quanto os dissolvidos. A diferenciação entre Sólidos Totais Voláteis (STV) e Sólidos Totais Fixos (STF) permitiu distinguir, respectivamente, a fração orgânica (associada à biomassa algal) e a fração inorgânica (material mineral, silte e argila) presentes na água.

A água bruta da ETE apresentou uma concentração inicial de 1.080 mg/L de Sólidos Totais, composta majoritariamente por Sólidos Voláteis (640 mg/L, correspondendo a cerca de 59,3% do total). Essa predominância da fração volátil confirma a característica eutrofizada da amostra, indicando que a maior parte da massa sólida é constituída por biomassa algal e matéria orgânica, enquanto a fração inorgânica (sólidos fixos) representa os 40,7% restantes (440 mg/L).

Os resultados obtidos após o tratamento com diferentes dosagens de *Moringa oleifera* são apresentados no Quadro 3.

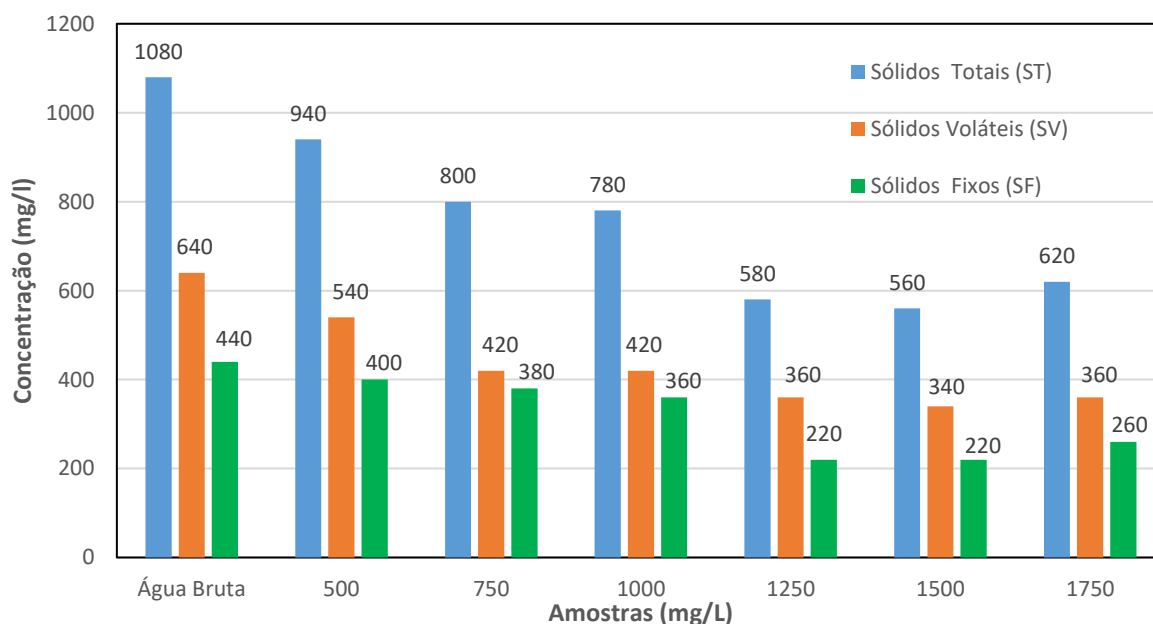
Quadro 3 – Valores de Sólidos Totais, Voláteis e Fixos após o tratamento

Dosagem (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Eficiência ST (%)	Sólidos Voláteis (mg/L)	Eficiência SV (%)	Sólidos Fixos (mg/L)	Eficiência SF (%)
Água Bruta	1080	-	640	-	440	-
500	940	13,00%	540	15,60%	400	9,10%
750	800	25,90%	420	34,40%	380	13,60%
1000	780	27,80%	420	34,40%	360	18,20%
1250	580	46,30%	360	43,80%	220	50,00%
1500	560	48,10%	340	46,90%	220	50,00%
1750	620	42,60%	360	43,80%	260	40,90%

Fonte: Autoria Própria (2025).

Para facilitar a visualização do comportamento das diferentes frações de sólidos ao longo do tratamento, os dados foram compilados graficamente na Figura 6. O gráfico permite observar simultaneamente a redução da carga total e a variação específica das frações orgânica e inorgânica.

Figura 6 – Variação das concentrações de Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF) em função da dosagem de *Moringa oleífera*



Fonte: Autoria Própria (2025).

A análise dos dados demonstra um comportamento característico de coagulação para os Sólidos Totais, com uma queda acentuada até a dosagem de 1500 mg/L e uma inversão na tendência na dosagem de 1750 mg/L, caracterizando o ponto de superdosagem. A aplicação da *Moringa oleífera* resultou em uma redução progressiva da concentração de sólidos até a dosagem de 1500 mg/L, que se configurou como o ponto de dosagem ótima. Nesta condição, a concentração de Sólidos Totais foi reduzida de 1.080 mg/L para 560 mg/L, alcançando uma eficiência máxima de remoção de 48,1%. Vale destacar que a dosagem de 1250 mg/L também apresentou resultados muito próximos (remoção de 46,3%), indicando uma faixa operacional eficiente entre 1250 e 1500 mg/L.

Ao analisar as frações específicas na dosagem ótima (1500 mg/L), observa-se um comportamento distinto entre a remoção de matéria orgânica e inorgânica. Para os Sólidos Voláteis (Orgânicos/Algas), houve uma redução de 640 mg/L para 340 mg/L, representando uma remoção de 46,9%. Já para os Sólidos Fixos

(Inorgânicos/Minerais), a redução foi de 440 mg/L para 220 mg/L, correspondendo a uma remoção superior, de 50,0%.

A maior eficiência na remoção da fração inorgânica pode ser explicada pela densidade das partículas, uma vez que minerais como argila e silte possuem densidade superior à da água e das células algais, facilitando sua sedimentação após a desestabilização. As microalgas, por possuírem densidade próxima à da água e mecanismos de flutuação, apresentam maior resistência à sedimentação, justificando a eficiência ligeiramente inferior observada para a fração volátil.

Um fenômeno importante foi observado na dosagem de 1750 mg/L, onde ocorreu a inversão na tendência de remoção. A concentração de Sólidos Totais aumentou para 620 mg/L, reduzindo a eficiência global do tratamento. Esta piora na qualidade da água final pode ser atribuída à reestabilização das partículas pelo excesso de polímero catiônico e, principalmente, à adição de carga orgânica pelo próprio coagulante. Observa-se que os Sólidos Voláteis aumentaram de 340 mg/L (na dosagem ótima) para 360 mg/L na superdosagem, enquanto os Sólidos Fixos também subiram de 220 para 260 mg/L.

Este comportamento corrobora os estudos de Soriani (2015), que também observou que o aumento excessivo da dosagem de *Moringa* pode elevar a carga de sólidos residuais devido à fração orgânica não ativa presente na semente integral. Da mesma forma, Ndabigengesere e Narasiah (1998) alertam para as desvantagens do uso da semente bruta, que libera compostos orgânicos solúveis na água tratada, elevando a concentração de sólidos residuais em dosagens excessivas. Portanto, os resultados confirmam a eficiência da *Moringa* como coagulante primário, mas ressaltam a importância crítica do controle da dosagem para evitar a recontaminação da água.

5.4 AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi monitorada para avaliar a capacidade do tratamento em remover a carga orgânica total presente na água eutrofizada. A água bruta da ETE apresentou uma DQO média inicial de 293 mg/L, valor que reflete a alta concentração de biomassa algal e matéria orgânica presente na amostra.

Os resultados obtidos após o tratamento com as diferentes dosagens de *Moringa oleifera* são apresentados no Quadro 4.

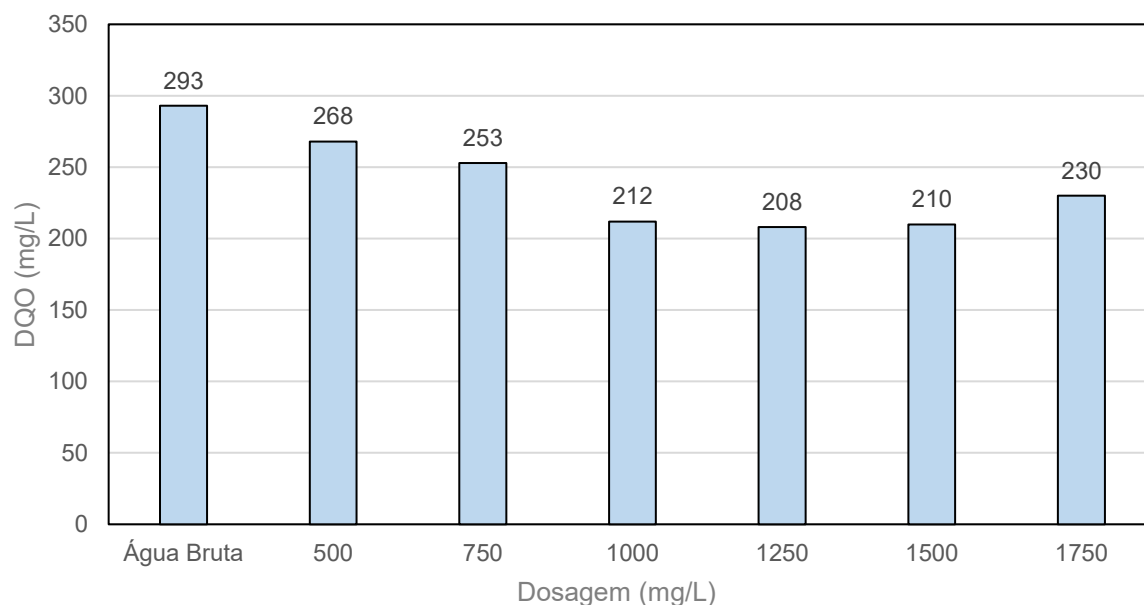
Quadro 4 – Valores médios de DQO e eficiência de remoção após o tratamento

Dosagem (mg/L)	DQO Média (mg/L)	Eficiência de Remoção (%)
Água Bruta	293	-
500	268	8,50%
750	253	13,70%
1000	212	27,60%
1250	208	29,01% (Máxima)
1500	210	28,30%
1750	230	21,50%

Fonte: Autoria Própria (2025).

Para facilitar a análise do comportamento da DQO em função da dosagem, os dados foram compilados graficamente na Figura 7.

Figura 7 – Variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) em função da dosagem de *Moringa oleifera*



Fonte: Autoria Própria (2025).

A análise dos dados revela que a eficiência de remoção de DQO apresentou uma tendência de melhora progressiva até a dosagem ótima, seguida por uma inversão na superdosagem. A máxima eficiência foi alcançada na dosagem de 1250 mg/L, com uma redução de 29,01%, baixando a DQO de 293 mg/L para 208 mg/L.

Nas dosagens subsequentes, observou-se o início do fenômeno de reestabilização e adição de carga orgânica. Na dosagem de 1500 mg/L, a eficiência caiu para 28,3%, e na dosagem máxima de 1750 mg/L, a DQO residual aumentou para 230 mg/L, reduzindo a eficiência para 21,5%.

Embora o perfil de remoção tenha sido consistente, a eficiência global (máximo de 29,01%) foi inferior à observada para a remoção física de sólidos, essa limitação na remoção de DQO, mesmo quando há clarificação visual da água, pode ser explicada pela natureza orgânica do próprio coagulante. Conforme relatado por Vega Andrade et al. (2021), o uso da semente de *Moringa oleifera* adiciona carga orgânica solúvel (proteínas, óleos e carboidratos) à água tratada. Durante o processo de coagulação, ocorre um balanço: enquanto a *Moringa* remove a DQO particulada (células de algas e sólidos suspensos), ela simultaneamente libera DQO solúvel no meio.

O aumento da DQO residual nas dosagens mais elevadas (1500 e 1750 mg/L) corrobora esse efeito. Vega Andrade et al. (2021) observou comportamentos similares, atribuindo esse fenômeno à ausência de etapas prévias de purificação da proteína coagulante. Portanto, os resultados indicam que a *Moringa oleifera* atua eficientemente na remoção física de partículas (como evidenciado na análise de sólidos), mas sua contribuição para a redução da carga orgânica química total é limitada pelo aporte de material orgânico da própria semente.

5.5 LAVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}) foi avaliada para quantificar a fração biodegradável da matéria orgânica presente na água eutrofizada. A água bruta da ETE apresentou uma DBO média inicial de 98,8 mg/L, valor que confirma a característica eutrofizada do corpo hídrico e a necessidade de tratamento.

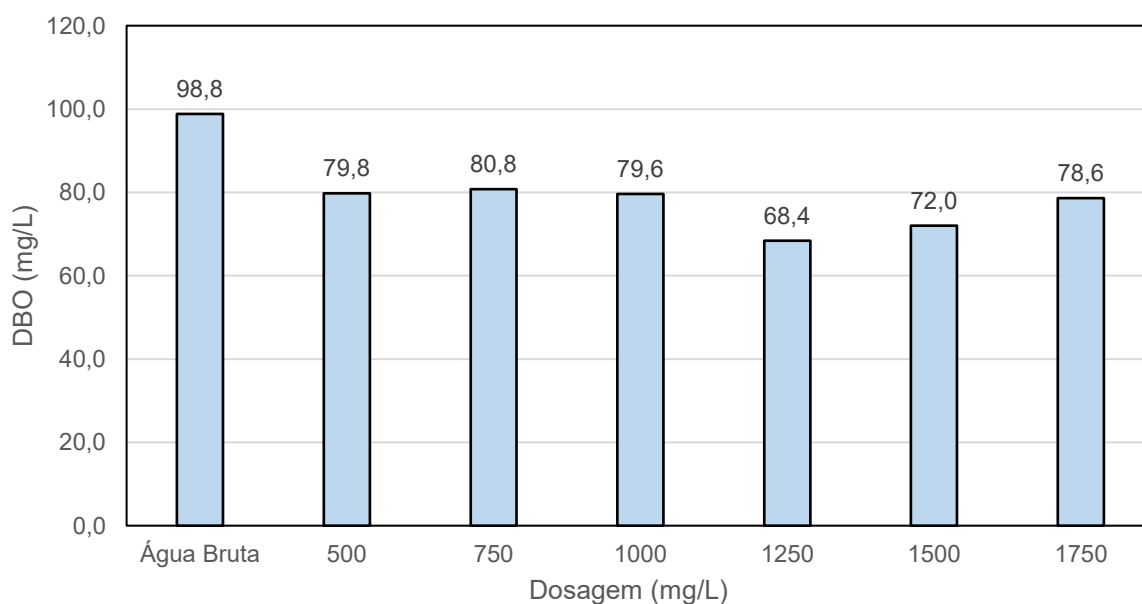
Os resultados obtidos após o tratamento com as diferentes dosagens de *Moringa oleifera*, calculados com base na diluição válida (1:20), são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Valores de DBO e eficiência de remoção após o tratamento

Dosagem (mg/L)	DBO Média (mg/L)	Eficiência de Remoção (%)
Água Bruta	98,8	-
500	79,8	19,20%
750	80,8	18,20%
1000	79,6	19,40%
1250	68,4	30,8% (Máxima)
1500	72,0	27,10%
1750	78,6	20,40%

Fonte: Autoria Própria (2025).

O comportamento da remoção de DBO em função da dosagem pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 – Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em função da dosagem de *Moringa oleifera*

Fonte: Autoria Própria (2025).

A análise dos dados revela um comportamento característico de tratamentos com coagulantes naturais brutos. Nas dosagens iniciais (500, 750 e 1000 mg/L), a eficiência de remoção manteve-se em um patamar estável próximo a 19%, indicando uma remoção parcial da carga orgânica. O sistema atingiu seu ponto de máxima eficiência na dosagem de 1250 mg/L, onde a DBO residual foi reduzida para 68,4 mg/L, representando uma remoção de 30,8%. Este resultado indica que, nesta

dosagem, obteve-se o melhor equilíbrio entre a remoção física da biomassa algal e a introdução de matéria orgânica pelo coagulante.

Contudo, para dosagens superiores a 1250 mg/L, observou-se uma inversão na tendência de melhoria da qualidade da água. Nas dosagens de 1500 mg/L e 1750 mg/L, a DBO residual voltou a subir para 72,0 mg/L e 78,6 mg/L, respectivamente, reduzindo a eficiência do tratamento para patamares próximos aos iniciais (cerca de 20%).

Este fenômeno de piora na qualidade do efluente em dosagens elevadas corrobora os estudos de Vega Andrade et al. (2021) e Chales (2022). Esses autores destacam que a semente de *Moringa oleifera*, por ser um material orgânico rico em proteínas e óleos, atua como uma "faca de dois gumes": ela remove a DBO particulada (algas), mas, em contrapartida, libera compostos orgânicos solúveis e biodegradáveis na água. Em condições de superdosagem, a quantidade de matéria orgânica adicionada pelo coagulante supera os benefícios da remoção adicional, resultando em um aumento da DBO residual, conforme observado nas dosagens mais altas deste estudo.

Em suma, os resultados demonstram que a *Moringa oleifera* é capaz de remover cerca de 31% da carga orgânica biodegradável na sua dosagem ótima (1250 mg/L), mas seu uso exige controle rigoroso, visto que o excesso de coagulante compromete a qualidade final do efluente devido ao aporte de DBO solúvel.

5.6 EFEITO DO TRATAMENTO NO pH E NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A estabilidade química da água tratada é um fator crucial para a viabilidade de qualquer coagulante. Diferentemente dos coagulantes inorgânicos tradicionais (como sulfato de alumínio e cloreto férrico), que consomem a alcalinidade da água e reduzem drasticamente o pH, os coagulantes naturais são frequentemente citados na literatura por sua capacidade de manter o pH estável.

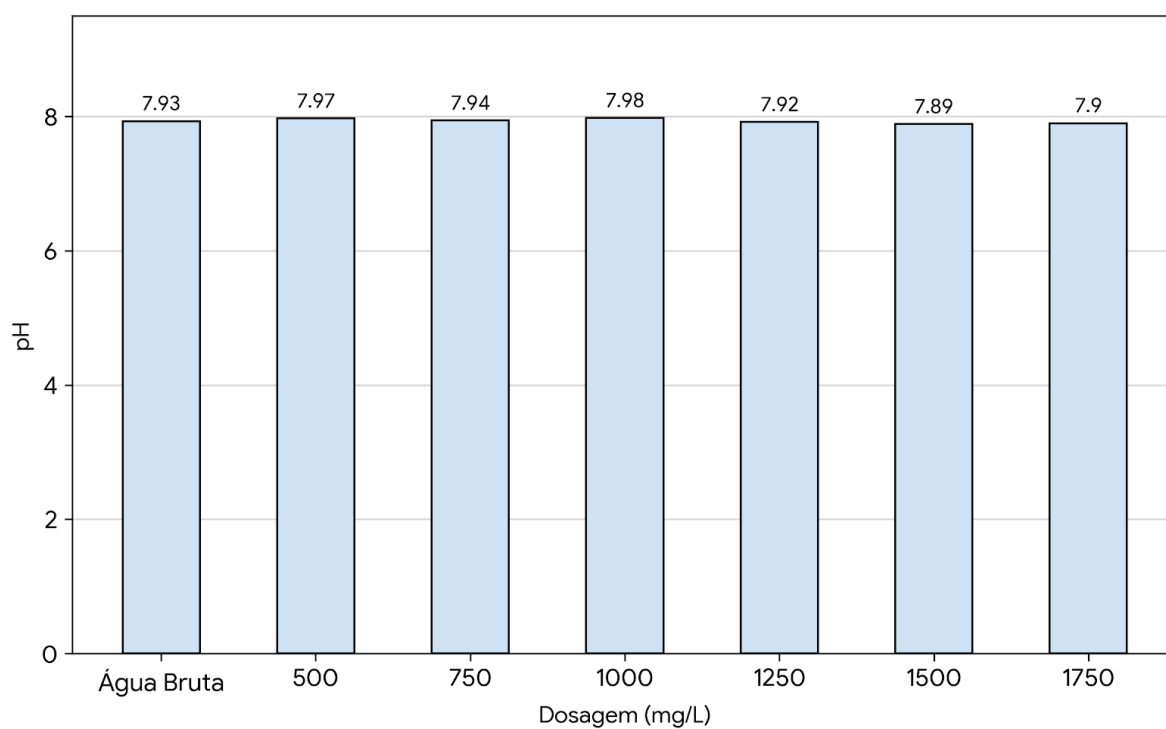
Os valores médios de pH e Condutividade Elétrica obtidos após o tratamento com *Moringa oleifera* são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Valores de pH e Condutividade Elétrica após o tratamento

Dosagem (mg/L)	pH	Condutividade Elétrica (µS/cm)
Água Bruta	7,93	772
500	7,97	756
750	7,94	753
1000	7,98	750
1250	7,92	772
1500	7,89	743
1750	7,90	747

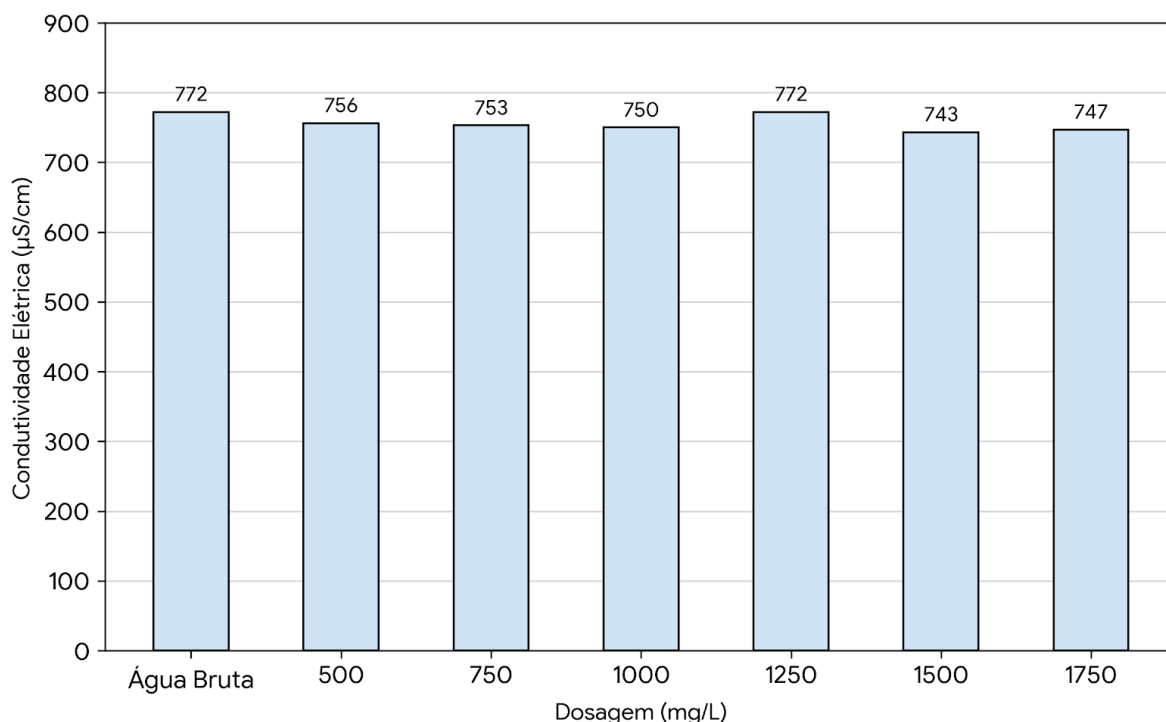
Fonte: Autoria Própria (2025).

O comportamento desses parâmetros em função da dosagem pode ser visualizado nos gráficos exibido nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Variação do pH em função da dosagem de *Moringa oleifera*

Fonte: Autoria Própria (2025).

Figura 10 – Variação da Condutividade Elétrica em função da dosagem de *Moringa oleifera*.



Fonte: Autoria Própria (2025).

A análise dos resultados revela uma notável estabilidade do pH ao longo de todas as dosagens testadas. O pH da água bruta (7,93) manteve-se praticamente inalterado, oscilando minimamente entre 7,89 e 7,98 nas amostras tratadas. Esta característica é uma das principais vantagens competitivas da *Moringa oleifera*.

Este resultado está em total concordância com a literatura clássica sobre coagulantes naturais. Ndabigengesere e Narasiah (1998) e Muyibi e Evison (1995) relataram que o uso de *Moringa oleifera* não altera significativamente o pH do meio, pois o mecanismo de coagulação (adsorção e neutralização de cargas) não envolve as reações de hidrólise ácida típicas dos sais metálicos. Ao contrário do sulfato de alumínio, que libera íons H^+ e reduz a alcalinidade da água, exigindo muitas vezes uma etapa posterior de correção (alcalinização) para enquadramento nos padrões de potabilidade ou lançamento, o uso da *Moringa* dispensa o uso de agentes corretivos, simplificando a operação e reduzindo custos operacionais.

A condutividade elétrica apresentou uma leve tendência de manutenção ou redução em relação à água bruta (772 µS/cm). Os valores oscilaram entre 743 e 772 µS/cm, sem apresentar o aumento significativo que muitas vezes é associado ao uso de extratos salinos de *Moringa* (devido ao NaCl da extração).

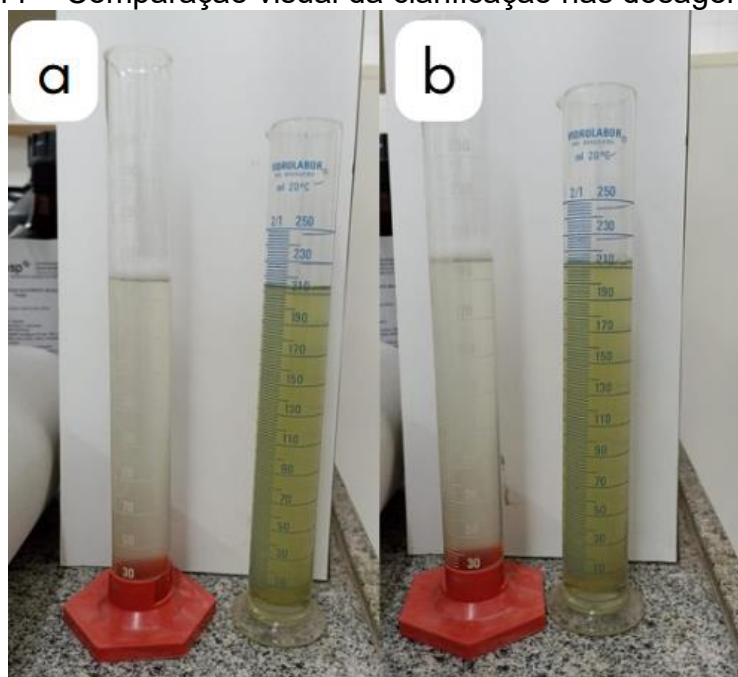
Como neste estudo utilizou-se o pó da semente diretamente (sem extração salina prévia), a introdução de íons dissolvidos foi mínima. Chales (2022) observou que o uso da farinha de *Moringa* não altera significativamente a condutividade, ao contrário dos extratos salinos que podem elevar este parâmetro drasticamente. A ligeira redução observada em algumas dosagens (ex: 743 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na dosagem de 1500 mg/L) pode ser atribuída à remoção de íons que estavam adsorvidos nas partículas de algas sedimentadas.

Em conclusão, o tratamento com *Moringa oleifera* demonstrou ser quimicamente estável, não exigindo ajustes de pH e não elevando a salinidade da água, o que reforça sua viabilidade como uma alternativa sustentável e de operação simplificada.

5.7 ANÁLISE VISUAL DA CLARIFICAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO

A eficácia do tratamento foi ratificada através da inspeção visual comparativa. A Figura 11 apresenta o contraste entre a qualidade da água bruta e a água tratada nas dosagens ótimas (1.250 e 1.500 mg/L). Nas imagens (a) e (b), a proveta da direita contém a água bruta, enquanto a proveta da esquerda contém a amostra coletada após o tratamento no *Jar Test*.

Figura 11 – Comparação visual da clarificação nas dosagens ótimas

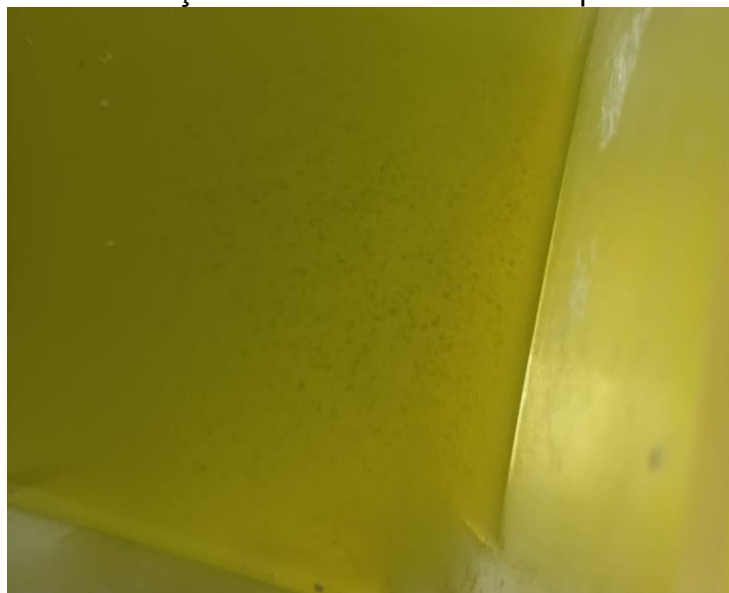


Fonte: Autoria Própria (2025).

A diferença visual é notável, a água bruta mantém sua coloração verde-amarelada intensa e aspecto turvo, evidenciando a alta concentração de algas. Em contrapartida, as amostras tratadas (à esquerda em ambas as fotos) apresentam-se visivelmente mais claras, com redução drástica da cor e da turbidez. Essa mudança límpida no aspecto da água comprova a eficácia do tratamento na remoção dos coloides que davam cor à amostra.

Além do resultado final da clarificação, foi possível registrar a presença dos flocos formados. A Figura 12 apresenta o detalhe dos agregados dispersos na água durante a etapa de sedimentação do *Jar Test*.

Figura 12 – Visualização dos flocos durante a etapa de sedimentação



Fonte: Aatoria Própria (2025).

A imagem revela a presença de pequenas partículas aglutinadas (flocos) dispersas no meio líquido. A formação destes agregados comprova que as proteínas da *Moringa oleifera* atuaram efetivamente na desestabilização dos coloides, permitindo que as microalgas, antes dispersas, se unissem em flocos maiores, facilitando a decantação e a clarificação observada no final do processo.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho confirmou a viabilidade técnica do uso de sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de águas eutrofizadas. Os resultados demonstraram que a semente atua eficazmente como coagulante primário, dispensando o uso de auxiliares químicos ou corretores de pH.

A faixa ótima de dosagem foi identificada entre 1.250 mg/L e 1.500 mg/L. Nesta condição, obteve-se a máxima eficiência na remoção física, reduzindo os Sólidos Totais em 48,1% e os Sólidos Fixos em 50,0%, resultando em uma água visualmente clarificada e com flocos sedimentáveis.

Em relação à carga orgânica, a remoção foi parcial. Na dosagem de 1.250 mg/L, alcançou-se as eficiências máximas de 29,0% para DQO e 30,8% para DBO. Contudo, o aumento da dosagem para níveis superiores elevou a matéria orgânica residual, confirmando que a semente bruta libera compostos solúveis na água, o que exige controle para evitar a recontaminação.

Por outro lado, a estabilidade química destacou-se como a maior vantagem operacional. O pH manteve-se inalterado (média de 7,9) e a condutividade elétrica estável, simplificando significativamente o processo de tratamento.

Conclui-se, portanto, que a *Moringa oleifera* não se limita a ser apenas uma alternativa sustentável, mas apresenta-se como uma solução técnica robusta e de alto potencial para a remediação ambiental direta. Devido à sua capacidade de coagulação eficiente sem alteração do pH e à sua origem natural biodegradável, a semente demonstra plena viabilidade para ser aplicada *in loco* no tratamento de rios e reservatórios eutrofizados. Essa aplicação direta permitiria a recuperação da qualidade da água em ecossistemas degradados de forma simplificada e descentralizada, dispensando a complexa infraestrutura das estações convencionais e oferecendo uma ferramenta poderosa para o enfrentamento da crise de eutrofização nos recursos hídricos

REFERÊNCIAS

WHO (World Health Organization); UNICEF (United Nations Children's Fund). **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2022: special focus on gender**. Geneva: World Health Organization, 2023.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington, D.C.: APHA, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 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 União: seção 1, Brasília, DF, 7 maio 2021.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 8 jan. 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2012**. Brasília: MCIDADES/SNSA, 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. M. **Tratamento de água para abastecimento**. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2017.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. **Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera***. Water Research, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S. **Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds**. Water Research, v. 32, n. 3, p. 781-791, 1998.

BARRADO-MORENO, M. M.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; MARTÍN-GALLARDO, J. **Microalgae removal with *Moringa oleifera***. Toxicon, v. 110, p. 68-73, 2016.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RiMa; IIE, 2003.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de (org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. **Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 765-771, 2009.

BARROS, S. G. de. **Influência de *Moringa oleifera* L. na remoção de cianobactérias na filtração lenta com manta não tecida**. 2017. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

FRANCO, M. **Uso de *Moringa oleifera* como auxiliar no tratamento de água por filtração em múltiplas etapas**. 2010. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

FERREIRA FILHO, S. S. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

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

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

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico e ao tratamento de águas residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005.

MAGALHÃES, E. R. B. *et al.* **Effect of oil extraction on the composition, structure, and coagulant effect of *Moringa oleifera* seeds**. Journal of Cleaner Production, v. 279, p. 123819, 2021.

SILVEIRA, M. K. da. **Estudo comparativo entre o uso do coagulante extraído das sementes de *Moringa oleifera* e os coagulantes químicos no tratamento de água**. 2021. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2021.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.

VALVERDE, K. C. *et al.* **Preparation of *Moringa oleifera* seeds as coagulant in water treatment**. Environmental Engineering and Management Journal, v. 17, n. 5, p. 1123-1129, 2018.

YAMAGUCHI, N. U. *et al.* **A review of *Moringa oleifera* seeds in water treatment: trends and future challenges**. Process Safety and Environmental Protection, v. 147, p. 405-420, 2021.

BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. **Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* lam and its application in superficial water treatment**. Separation and Purification Technology, v. 180, p. 114-124, 2017.

JUNG, Y. *et al.* **Evaluation of *Moringa oleifera* seed extract by extraction time: effect on coagulation efficiency and extract characteristic.** Journal of Water and Health, v. 16, n. 6, p. 904-913, 2018.

MADRONA, G. S. **Extração/purificação do composto ativo da semente da *Moringa oleifera* Lam e sua utilização no tratamento de água para consumo humano.** 2010. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

SORIANI, M. **Eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento.** 2015. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

CHALES, G. G. **Efeito dos métodos de extração no uso da semente de *Moringa oleifera* como coagulante primário.** 2022. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2022.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. **Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds.** Water Research, v. 29, n. 12, p. 2689-2695, 1995.

VEGA ANDRADE, P. *et al.* **Use of *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant in domestic wastewater tertiary treatment: physicochemical, cytotoxicity and bacterial load evaluation.** Journal of Water Process Engineering, v. 40, p. 101859, 2021.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO; ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.** São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.