



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MARIANE FERREIRA DA SILVA

**Estudo da viabilidade do uso do extrato aquoso da *Moringa oleifera* para
melhorar a qualidade físico-química de águas cinzas**

CARAÚBAS

2024

MARIANE FERREIRA DA SILVA

**Estudo da viabilidade do uso do extrato aquoso da *Moringa oleifera* para
melhorar a qualidade físico-química de águas cinzas**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Freitas Freire
Martins.

CARAÚBAS

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SS586 Silva, Mariane Ferreira.
e Estudo da viabilidade do uso do extrato aquoso da Moringa oleifera para melhorar a qualidade físico-química de águas cinzas / Mariane Ferreira Silva. - 2024.
69 f. : il.

Orientador: Daniel Freitas Freire Martins.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciências e Tecnologia, 2024.

1. biodegradável. 2. coagulante. 3. efluente.
4. tratamento. I. Martins, Daniel Freitas Freire, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARIANE FERREIRA DA SILVA

**Estudo da viabilidade do uso do extrato aquoso da *Moringa oleifera* para
melhorar a qualidade físico-química de águas cinzas**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 10 / 04 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Daniel Freitas Freire Martins, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Wilker Fernandes Soares, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

Joe Vitor Alves do Nascimento, Me. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, expresso minha gratidão a Deus por iluminar meu caminho, permitindo-me perseverar sem desistir. Mesmo diante das diversidades, seguindo firme em meus objetivos, abençoando minha vida com conquistas e pessoas admiráveis durante a minha jornada.

Agradeço profundamente a minha tia-mãe Maria Alves Pereira, por todo esforço, dedicação e carinho, por sempre me apoiar e incentivar a seguir no caminho do bem e por me proporcionar uma educação de qualidade. Agradeço ainda aos familiares mais próximos que acompanharam meu crescimento e nunca deixaram de me apoiar e incentivar.

Aos meus grandes e inesquecíveis amigos: Abinoã Praxedes Forte, Artêmio Gomes de Oliveira, Bruna Gabriela Sales de Freitas, Emanuela Ieda Chagas, Nadson Daniel de Oliveira, Joílson de Souza Felix, Luiz Gustavo, Daniel Santos, Italo Mandú de Almeida. Esses foram colegas e amigos os quais compartilhei momentos de alegria e aflições, vocês foram essenciais tornando o processo mais leve.

Ao meu parceiro e amigo de laboratório, Bruno Arcanjo Santiago, pela ajuda e troca de conhecimento durante a realização do presente trabalho, muito gratificante ter alguém tão dedicado e determinado nesse momento.

Ao meu orientador e amigo, Daniel Freitas Freire Martins, por ter mostrado que a universidade vai além da sala de aula. Pela disponibilidade e ter aceitando o convite de se ser meu orientador, assumindo esse papel de forma admirável e exercido com tanta maestria, agradeço por todos os ensinamentos, conselhos, paciência, dedicação e risadas.

Agradeço ao Grupo de Pesquisa em Química Ambiental e Tecnológica (GPQAT), pela oportunidade de fazer parte dessa equipe, em especial ao meu amigo Iranildo, os quais somaram em conhecimento e aprendizagem na minha vida acadêmica e pessoal. A pesquisa foi essencial para ampliar meus objetivos e perspectiva.

A banca examinadora pelas contribuições e disponibilidade para avaliação desse trabalho, e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, por todos os conhecimentos ofertados durante essa trajetória.

Comece onde você está, use o que você tem,
faça o que você pode.

Arthur Ashe

RESUMO

A água desempenha um papel vital na vida humana e na preservação dos ecossistemas. A importância de reutilizar a água é ressaltada pela preocupação com sua disponibilidade, especialmente no caso das águas cinzas, que são os resíduos das atividades domésticas. Estas águas geralmente contêm impurezas e substâncias que podem prejudicar o meio ambiente se não forem tratadas adequadamente. Com isso, se faz necessário a busca por métodos alternativos e sustentáveis de tratamento de água, no quais oferecem meios de disponibilidade na natureza, para a produção de coagulante biodegradável. Assim, o uso das sementes de *Moringa oleifera* para a produção de extrato coagulante tem se destacado e ganhado espaço na atualidade. No entanto, a eficácia do extrato depende de fatores específicos, como tempo e concentração. Dessa forma, o presente estudo aborda a viabilidade do uso do extrato aquoso da *Moringa oleifera* para melhorar a qualidade físico-química das águas cinzas, utilizando duas amostras de água cinza distintas, a fim de conduzir uma investigação abrangente sobre a eficácia da utilização de extratos coagulantes, incluindo a preparação dos extratos e caracterização físico-química das águas cinzas através dos seguintes parâmetros: turbidez, pH, condutividade e salinidade. Foi realizado ainda um planejamento fatorial 2^2 com repetição para verificar quais os fatores eram mais significativos, finalizando com a caracterização físico-química das águas cinzas após a aplicação dos extratos coagulantes. Os resultados obtidos demonstraram que os efeitos do planejamento resultaram em um aumento na condutividade e salinidade de um nível para o outro, porém, os valores obtidos ainda foram inferiores aos da água bruta, indicando uma redução após o tratamento. Este estudo demonstra que a concentração do extrato foi o efeito mais significativo, resultando em uma redução significativa da turbidez. Além disso, foi revelado que o extrato não teve influência direta no pH da solução. Os ensaios mostraram que o extrato de MO foi eficaz no tratamento de água cinza, com diferentes concentrações e tempos de reação. Em conclusão, o estudo evidenciou que o planejamento fatorial 2^2 com repetição foi essencial para definir as melhores condições de concentrações e tempo de homogeneização para o tratamento. Com base nos resultados, foi possível determinar os melhores ensaios para cada parâmetro, levando em consideração todas as caracterizações discutidas, identificou-se que o parâmetro que apresentou a melhor resposta ao tratamento foi a turbidez, com uma redução bastante significativa. Dessa forma, sugere-se que, para o tratamento de água de turbidez elevada, sejam adotadas as condições do ensaio 4 (30 minutos e 10 g/L).

Palavras-chave: biodegradável; coagulante; efluente; tratamento.

ABSTRACT

Water plays a vital role in human life and ecosystem preservation. The importance of reusing water is highlighted by concerns about its availability, especially in the case of greywater, which is the waste from domestic activities. These waters typically contain impurities and substances that can harm the environment if not properly treated. With this, it becomes necessary to search for alternative and sustainable water treatment methods, which offer means of availability in nature, for the production of biodegradable coagulant. Thus, the use of *Moringa oleifera* seeds for coagulant extract production has been standing out and gaining prominence nowadays. However, the effectiveness of the extract depends on specific factors, such as time and concentration. Therefore, this study addresses the feasibility of using aqueous extract from *Moringa oleifera* to improve the physicochemical quality of greywater, using two distinct greywater samples, in order to conduct a comprehensive investigation into the effectiveness of coagulant extract utilization. This includes extract preparation and physicochemical characterization of greywater through the following parameters: turbidity, pH, conductivity, and salinity. Urthermore, a 2^2 factorial planning with repetition was conducted to ascertain which factors were most significant, culminating in the physicochemical characterization of greywater after the application of coagulant extracts. The results obtained demonstrated that the effects of the planning resulted in an increase in conductivity and salinity from one level to another. However, the values obtained were still lower than those of raw water, indicating a reduction after treatment. This study demonstrates that the concentration of the extract was the most significant effect, resulting in a significant reduction in turbidity. Additionally, it was revealed that the extract had no direct influence on the pH of the solution. The assays showed that the MO extract was effective in treating greywater, with different concentrations and reaction times. In conclusion, the study demonstrated that the 2^2 factorial planning with repetition was essential in defining the best conditions of concentrations and homogenization time for treatment. Based on the results, it was possible to determine the best assays for each parameter, taking into consideration all the discussed characterizations. It was identified that the parameter showing the best response to treatment was turbidity, with a significant reduction. Therefore, it is suggested that, for the treatment of highly turbid water, the conditions of assay 4 (30 minutes and 10 g/L) be adopted.

Keywords: biodegradable; coagulant; effluente; treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Moringa oleifera</i>	26
Figura 2 – A) Vagem com as sementes. B) Sementes com casca. C) Sementes sem casca.	27
Figura 3 – Estrutura do glucosinolatos.	28
Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos.	30
Figura 5 – Processo após a coleta das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	32
Figura 6 – Processo de produção do estrato coagulante.	33
Figura 7 – Amostras de água cinza.	33
Figura 8 – Teste de turbidez.	36
Figura 9 – Teste de pH.	36
Figura 10 – Eletrodo de condutividade.	37
Figura 11 – Planilha do Excel para obter os valores dos efeitos de primeira e segunda ordem.	38
Figura 12 – Exemplificação do teste de Tukey realizado utilizando o programa Origin 2018.	38
Figura 13 – Teste de Tukey para turbidez das amostras sem tratamento.	41
Figura 14 – Teste de Tukey para pH das amostras sem tratamento.	42
Figura 15 – Teste de Tukey para condutividade das amostras sem tratamento.	43
Figura 16 – Teste de Tukey para turbidez das amostras sem tratamento.	44
Figura 17 – Teste de Tukey para pH das amostras sem tratamento.	45
Figura 18 – Teste de Tukey para condutividade das amostras sem tratamento.	46
Figura 19 – Gráfico de superfície de resposta para turbidez da água 1.	49
Figura 20 – Gráfico de superfície de resposta referente a turbidez da água 2.	51
Figura 21 – Gráfico de superfície de resposta para condutividade da água 1.	55
Figura 22 – Gráfico de superfície de resposta para condutividade da água 2.	57
Figura 23 – Gráfico de superfície de resposta para salinidade da água 1.	59
Figura 24 – Gráfico de superfície de resposta para salinidade da água 2.	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vidrarias e materiais.....	31
Quadro 2 – Equipamentos.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores e níveis utilizados no experimento.....	34
Tabela 2 – Coeficientes de contraste para um planejamento fatorial 2^2	34
Tabela 3 – Ensaios para o planejamento fatorial 2^2	34
Tabela 4 – Caracterização inicial físico-química inicial da água 1.	40
Tabela 5 – Caracterização físico-química inicial da água 2.	44
Tabela 6 – Fatores e níveis utilizados no experimento.....	47
Tabela 7 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 com repetição em relação a turbidez.	48
Tabela 8 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação a turbidez.....	48
Tabela 9 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 com repetição em relação a turbidez.	50
Tabela 10 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à turbidez.....	50
Tabela 11 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 em relação ao pH.....	52
Tabela 12 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação ao pH.....	52
Tabela 13 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 em relação a salinidade.	53
Tabela 14 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.	53
Tabela 15 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 com repetição em relação a condutividade.	54
Tabela 16 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à condutividade.	54
Tabela 17 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 em relação a condutividade.....	56
Tabela 18 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.	56
Tabela 19 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 com repetição em relação a salinidade.	58
Tabela 20 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.	58

Tabela 21 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 com repetição em relação a salinidade.....	60
Tabela 22 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANOVA	Análise da variância
APHA	Standard Methods of.
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de alumínio.
ETA	Estação de Tratamento de Água.
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes.
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.
MO	Moringa Oleifera.
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras.
NTU	Unidades nefelométricas de turbidez.
ONU	Organização das Nações Unidas.
pH	Potencial hidrogeniônico.
SNIS	Sistema Nacional de Informações em Saúde.

LISTA DE SÍMBOLOS

% Porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVO ESPECIFICO	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA	18
3.1.1 Recurso hídrico no mundo	18
3.1.2 Recurso hídrico no brasil	19
3.1.3 Recurso hídrico no semiárido	19
3.1.4 Água cinza	20
3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO	21
3.2.1 Coagulação/floculação	21
3.2.2 Sedimentação	22
3.2.3 Filtração	22
3.2.4 Desinfecção	22
3.2.5 Armazenamento e distribuição	23
3.3 COAGULAÇÃO	23
3.4 COAGULANTES: ABORDAGEM ENTRE QUÍMICOS E NATURAIS	24
3.4.1 Coagulante químico	24
3.4.2 Coagulantes naturais	25
3.5 <i>MORINGA OLEIFERA</i>	25
3.5.1 <i>Moringa oleifera</i> no Brasil e na região semiárida	27
3.5.2 <i>Moringa oleifera</i> como coagulante sob diferentes análises químicas.	28
4. METODOLOGIA	30
4.1 EQUIPAMENTOS	30
4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	32
4.2.1 Coleta e tratamento das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	32
4.2.2 Obtenção dos extratos da semente	32
4.2.3 Coleta e caracterização das amostras de água cinza antes e após tratamento...	33
4.2.4 Realização dos testes de coagulação	34

4.3	APLICAÇÃO DE COAGULANTE DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	35
4.3.1	Análise de turbidez	36
4.3.2	Análise de pH	36
4.3.3	Análise de condutividade elétrica e salinidade.....	37
4.4	TRATAMENTO ESTÁTISTICO	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA ANTES DO TRATAMENTO	39
5.1.1	Água 1	40
5.1.2	Água 2	43
5.2	PLANEJAMENTO FATORIAL 2 ² COM REPETIÇÃO	46
5.2.1	Turbidez.....	47
5.2.1.1	Água 1	47
5.2.1.2	Água 2	50
5.2.2	pH	52
5.2.2.1	Água 1	52
5.2.2.2	Água 2	53
5.2.3	Condutividade	54
5.2.3.1	Água 1	54
5.2.3.2	Água 2	56
5.2.4	Salinidade	58
5.2.4.1	Água 1	58
5.2.4.2	Água 2	60
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS	64

1. INTRODUÇÃO

A água é um bem natural de grande importância e é considerado um solvente universal em função da sua polaridade. Essa propriedade permite que ela solubilize uma grande diversidade de substâncias, inclusive aquelas que possam contaminá-la. A água compõe cerca de 70 % do nosso peso corporal e está envolvida na regulação da temperatura corporal e na manutenção da vida. Para o perfeito equilíbrio orgânico, o ser humano precisa consumir pelo menos 2 litros de água por dia, quantidade necessária para as reações vitais das células, e para repor as perdas que ocorrem pela respiração, sudorese, saliva, urina, fezes, etc (Marin-Morales *et al.*, 2014).

O Brasil possui 2,8 % da população mundial e 12 % da água doce na terra. No entanto, 70% encontra-se na água da Bacia Amazônica, onde tem a menor densidade populacional do país. Por outro lado, as regiões mais secas e pobres da região Nordeste do Brasil (o semiárido), onde vive cerca de 30 % da população, uma porcentagem bem significativa, possui apenas 5 % de seus recursos de água doce. Alguns fatores interferem na escassez de água de qualidade como, altas densidades populacionais, poluição, agricultura, indústrias de uso intensivo de energia e desmatamento. No Sul e Sudeste, cerca de 60% da população tem disponibilidade de 12,5 % de água doce (Augusto *et al.*, 2012).

Quando é articulado e dado ênfase no assunto sobre a água, logo é abordado o descaso direcionado a esse bem natural, pois é constante o descarte de efluentes na mesma, que afeta também o ambiente a qual está localizada, descarte esse que dificulta a sua restauração natural. Nesse contexto, questões cruciais, como a escassez de recursos naturais, incluindo a escassez de água, são frequentemente negligenciadas. O Brasil, notavelmente, destaca-se com uma taxa alarmante de 37% de perda de água devido a vazamentos, o que representa uma porcentagem significativa desse problema emergente. (Automare, 2015).

O descarte de efluentes sem tratamento adequado, gera danos irreversíveis ao meio ambiente, apesar da existência de uma rede de saneamento básico, responsável por encarregar esse descarte de forma eficiente e adequado, ainda existem várias regiões e municípios que não possuem 100% de instalação de saneamento básico ou que nem iniciaram esse processo. Diante desses fatores, desencadeia a liberação de resíduos em locais inapropriados, comprometendo a qualidade do ambiente onde esse descarte é realizado (Bohn, 2014).

A coagulação de água turva ou colorida é um processo de tratamento de água cuja finalidade básica é formar partículas eletricamente desestabilizadas. A floculação é caracterizada pela agregação das partículas resultantes desta coagulação, como substâncias

finamente divididas com impurezas que se dispersam na água e lhe confere cor e turbidez. Na prática, esses fenômenos ocorrem quase simultaneamente. Por esse motivo, não são considerados os tratamentos separadamente (Silva, 2005).

Um segmento essencial no tratamento de água é o coagulante, sendo o sulfato de alumínio o coagulante inorgânico mais comumente empregado no tratamento de água pública no Brasil devido à sua alta eficácia na remoção de partículas em suspensão e ao custo acessível (Coral *et al.*, 2019). De acordo com Carvalho (2008), os coagulantes naturais tornaram-se uma temática notabilizada nos últimos anos, expandindo-se na área de pesquisa, com o principal intuito de fundamentar o processo de coagulação com materiais orgânicos.

A *Moringa oleifera* é uma árvore nativa do norte da Índia pertencente à família *Moringaceae*, possuindo inúmeros benefícios. Essa espécie vem sendo apontada como alternativa para o tratamento de água, atuando diretamente como coagulante natural. A moringa vem sendo implementada em estudos científicos, por suas diversas aplicações, dando ênfase no uso como coagulante. O principal ponto que se destaca é o quesito de ser uma planta de fácil cultivo e de baixo custo de produção e, conseqüentemente, de alto rendimento (Santos, 2010).

A disparidade na distribuição de recursos hídricos no Brasil é um dos pontos que motiva a investigação aprofundada sobre métodos de tratamento de água, particularmente em regiões como o Nordeste, onde a escassez é mais pronunciada. O tratamento desses efluentes desempenha um papel fundamental na redução da poluição do ambiente receptor, concentrando-se principalmente na melhoria das características físico-químicas dos efluentes.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma investigação abrangente sobre a eficiência da utilização de extratos da *Moringa oleifera* obtida sob diferentes condições experimentais, a fim de avaliar sua viabilidade como um coagulante natural para o tratamento de água cinza.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar os extratos coagulante em água com diferentes concentrações.
- Fazer a caracterização físico-química da água cinza bruta através da determinação do pH, turbidez, condutividade e salinidade.
- Realizar o tratamento da água cinza utilizando um planejamento fatorial 2^2 com repetição.
- Realizar a caracterização físico-química da água cinza após a aplicação dos extratos coagulantes através dos mesmos parâmetros já analisados.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA

3.1.1 Recurso hídrico no mundo

A Organização das Nações Unidas (ONU) verificou que aproximadamente 26 % da população mundial não possuem acesso a água potável e que 46 % da população global carecia de acesso a saneamento básico. Isso equivale a cerca de 3,6 bilhões de pessoas. Essa situação destaca a amplitude do desafio existente para assegurar que bilhões de indivíduos tenham acesso às condições básicas de água limpa, instalações sanitárias adequadas, conforme preconizado pelos objetivos estabelecidos (ONU, 2023)

Essa situação destaca a amplitude do desafio existente para assegurar que bilhões de indivíduos tenham acesso às condições básicas de água limpa. Cerca de 69 % do consumo de água no mundo advém da agricultura, principalmente para irrigação, 19 % pela indústria (incluindo geração energia elétrica) e 12 % pelos municípios (AQUASTAT, 2016). A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) afirma que a produção de alimentos irrigados irá aumentar em mais de 50 % até 2050, entretanto, a quantidade necessária de água para tal acréscimo não está disponível (FAO, 2017).

De acordo com Marin-Morales *et al.* (2016), a água é o mais eficiente solvente do planeta, característica essa que viabiliza a sua associação a diversas substâncias, incluindo aquelas que são capazes de contaminá-la. Pelo fato dessa fácil associação com a maioria das substâncias, pode-se dizer que as águas dos rios têm uma maior chance de contaminação e geração de efluentes, pelo fato da associação que ocorre entre a água e o poluente. Diante destes aspectos pode-se afirmar que a água pode ser saudável ou nociva para o consumo humano, dependendo da sua composição.

O crescimento populacional e a industrialização exacerbaram a poluição das fontes de águas superficiais e subterrâneas, levando ao aumento da escassez de água. A natureza tem uma forte capacidade de restauração e seus recursos são suficientes para proporcionar ao ser humano uma qualidade de vida satisfatória, mas essa capacidade não é infinita, uma vez que os recursos naturais sendo degradados, podem levar centenas de anos para restaurar suas características originais (Carvalho, 2008).

Estima-se que 80 % das águas residuais proveniente de residenciais e indústrias são lançadas no ambiente sem qualquer tratamento, e uma grande proporção destas águas

residuais, que podem conter poluentes e substâncias nocivas, não é adequadamente tratada antes de ser descartada. Isto terá sérios impactos na qualidade da água e no ambiente, levantando problemas ambientais e de saúde pública (WWAP, 2017).

3.1.2 Recurso hídrico no Brasil

O Brasil possui 2,8 % da população mundial e 12 % da água doce na terra. No entanto, 70 % encontra-se na Bacia Amazônica, onde tem a menor densidade populacional do país. Por outro lado, as regiões mais secas e pobres da região nordeste do Brasil (o semiárido), onde vive cerca de 30 % da população, uma porcentagem bem significativa, possui apenas 5 % de seus recursos de água doce. Alguns fatores interferem na escassez de água de qualidade como, altas densidades populacionais, poluição, agricultura, indústrias de uso intensivo de energia e desmatamento (Augusto *et al.*, 2012).

Segundo dados de 2022 do Sistema Nacional de Informações em Saúde (SNIS), o Brasil possui 753,2 mil quilômetros de redes de fornecimento de água e 365 mil quilômetros de redes de esgoto. A cobertura da rede adutora de abastecimento de água varia de 57,5 % na região Norte a 91,1 % na região Sudeste. O recolhimento de resíduos sólidos urbanos também é um aspecto importante da gestão da água (BRASIL, 2022).

Alguns aspectos relevantes da distribuição de água no Brasil incluem os recursos hídricos, bacias hidrográficas, desafios de distribuição, entidades gestoras, uma vez que além de agências nacionais e comitês de bacias hidrográficas, o país conta com agências governamentais como a Agência Nacional de Águas responsáveis pela coordenação e monitoramento dos recursos hídricos dentro do uso do território (BRASIL, 2020).

3.1.3 Recurso hídrico no semiárido

O semiárido brasileiro é composto por 1.477 municípios dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. A região abriga mais de 26 milhões de pessoas, ou 12 % da população do país. A população nas áreas rurais ultrapassa 9,6 milhões, representando 36,88 % de toda a população da área semiárida (IBGE, 2022).

O acesso à água no Semiárido é tópico importante, afetando o abastecimento das comunidades rurais. Com baixas médias de chuvas e altas taxas de evapotranspiração que excedem os 3.000 mm por ano, há um déficit hídrico na região. O Semiárido apresenta o

menor percentual de água armazenada no país, aproximadamente 3 %. Nesse contexto, a água proveniente das chuvas, entre 400 e 800 mm ao ano, é a principal fonte de água doce, sendo os recursos necessários para o fornecimento às cidades (BRASIL, 2019).

A escassez de recursos hídricos é um problema global, porém, no semiárido, essa falta é mais evidente devido às frequências de seca. Em contraste, em muitas áreas urbanas, a percepção da deficiência é menor ou até mesmo inexistente. Isso é ilustrado pelos dados da Agência Nacional de Águas, que mostram uma porcentagem de pessoas atendidas pelo abastecimento de água em diferentes regiões: 90 % na bacia do Parnaíba, 96,2 % na bacia do São Francisco, 84,9 % na bacia do Parnaíba Atlântico Nordeste Oriental e 97 % na bacia do Atlântico Leste. Essas quatro bacias cobrem a maior parte da região Nordeste e todo o semiárido nordestino (BRASIL, 2009).

3.1.4 Água cinza

As águas cinzas são os efluentes provenientes de atividades domésticas, tais como banhos, lavagem de louças/roupas em máquinas. Essas águas, embora contenham impurezas, podem ser reaproveitadas em várias situações práticas, como para dar descarga em sanitários, limpar calçadas e regar jardins. O tratamento das águas cinzas é de suma importância devido à diversidade das fontes de sua geração e aos diferentes usos possíveis do líquido tratado (como seu destino para reutilização). A etapa de tratamento é crucial para remover substâncias biodegradáveis presentes nessas águas, garantindo assim sua qualidade e segurança para os fins a que se destinam (Junho *et al.*, 2020).

Figueirêdo e Sousa (2023), enfatiza em sua pesquisa a importância da reutilização de água cinza de esgotos domésticos, estudo esse relevante para o meio hídrico, pois a escassez hídrica é um fator preponderando em algumas regiões do Brasil. A pesquisa e as orientações para o uso de água cinza em residências podem incentivar a ideia de sustentabilidade a partir do aproveitamento planejado desse efluente. Considerando que as águas cinzas que surgem nos processos domésticos de lavagem de roupa, louça e banho são volumes expressivos do esgoto residencial, tornou-se relevante investigar e avaliar a capacidade de aproveitamento.

A prática de reutilizar água está ganhando crescente reconhecimento como uma das opções mais sensatas para otimizar o uso dos recursos hídricos. O reuso de água refere-se ao aproveitamento do efluente após ser devidamente tratado. Não é necessário tratar todo o volume de esgoto gerado para possibilitar sua reutilização; isso dependerá do uso final

pretendido, exigindo tratamentos específicos conforme a destinação planejada (Telles; Costa, 2010).

O tratamento da água cinza é essencial para sua reutilização segura e eficiente. Existem diversas tecnologias disponíveis para esse fim, cada uma adequada às características específicas da água a ser protegida e ao uso planejado para sua reutilização. Os processos físicos, químicos e biológicos são comuns nesse tratamento. Os métodos físicos, como coagulação, sedimentação e filtração têm o objetivo de eliminar partículas sólidas, sedimentos e impurezas. Na filtração, a água passa por materiais porosos, como areia ou carvão ativado, que retêm as partículas. A sedimentação, por sua vez, utiliza a gravidade para separar as partículas mais pesadas, deixando a água clarificada na parte superior para ser removida (Zuffo; Veiga Junior, 2016).

A Resolução CNRH 54/05 estabelece diretrizes para a aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos, incluindo critérios de qualidade da água e padrões de lançamento de efluentes. Nesse contexto, o reuso de águas residuais é destacado como prática essencial para a sustentabilidade hídrica (BRASIL, 2005). Paralelamente, a norma NBR 13969 da ABNT define requisitos para sistemas de aproveitamento de águas pluviais urbanas, contribuindo indiretamente para a gestão eficiente dos recursos hídricos. Esses documentos, junto com outras leis e normas, fornecem orientações para práticas sustentáveis de gestão da água no Brasil (NBR, 1997).

3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO

3.2.1 Coagulação

A coagulação é um processo que visa desestabilizar as partículas coloidais ao introduzir um coagulante na solução. Esse processo provoca um aumento no tamanho das partículas, seguido geralmente pela floculação das partículas instáveis. Durante a floculação, as partículas se unem para formar flocos maiores, facilitando sua remoção da solução. Essa abordagem é eficaz para eliminar sólidos suspensos e partículas coloidais, tornando a água mais limpa e segura para diversas aplicações (Kurniawan *et al.*, 2006).

De acordo com as informações de Cacheira *et al.* (2012), este processo implica na introdução de agentes químicos, tais como sulfato de alumínio ou cloreto férrico, com o propósito de aglomerar partículas suspensas na água, resultando na formação de flocos que podem ser removidos com maior eficiência. O aumento no peso e tamanho dos flocos facilita

sua deposição por gravidade, permitindo, assim, que sejam separados da água em etapas subsequentes, como decantação e filtração.

3.2.2 Sedimentação

Conforme destacado por Lervolino (2022), tanto na Estação de Tratamento de Água (ETA) quanto na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), a sedimentação emerge como um processo físico crucial, visando separar as partículas sólidas presentes na água. Esse procedimento se realiza mediante a atuação da gravidade e a disparidade de densidade entre a água e as partículas sólidas. A atuação da gravidade é fundamental, uma vez que, a água contenha partículas sólidas ao entrar em um ambiente de repouso, as partículas sólidas mais pesadas tendem a se depositar no fundo do recipiente devido à força gravitacional. Isso ocorre porque as partículas sólidas têm uma densidade maior do que a água, o que as faz afundar lentamente.

3.2.3 Filtração

Normalmente, a água não fica completamente clara apenas com coagulação, floculação e decantação. Por isso, é necessário o uso da filtragem. Esse processo consiste em passar a água por um meio granular para remover partículas suspensas, coloidais e microrganismos. Na estação de tratamento de água (ETA), a filtração geralmente é uma etapa final de remoção de impurezas, desempenhando um papel fundamental na produção de água de qualidade que atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004).

3.2.4 Desinfecção

Após ser submetida aos procedimentos para clarificar a água, culminando na etapa de filtração, é essencial realizar a desinfecção para eliminar os microrganismos que podem causar doenças. No Brasil, a desinfecção da água destinada ao consumo humano é feita principalmente através da cloração, utilizando diversas abordagens desse método, destacando a importância de desinfecção como barreira sanitária final num sistema de abastecimento de água (Campos, 2005).

3.2.5 Armazenamento e distribuição

No Brasil, a NBR 5626/1998 estabelece diretrizes para garantir a estanqueidade dos reservatórios de armazenamento de água potável. De acordo com essa norma, os reservatórios são elementos cruciais na instalação predial de água fria, pois têm um papel fundamental na preservação do padrão de potabilidade da água. Por essa razão, é essencial dedicar atenção especial a eles, desde a fase de projeto até a fase de manutenção e conservação (ABNT, 1998).

De acordo com a NBR 5626/1998 as instalações prediais de água fria fazem parte do sistema de abastecimento geral de água. Segundo a ABNT, por representarem o ponto final onde a água fornecida se conecta diretamente com o consumidor, ou seja, a distribuição, essas instalações devem cumprir os mesmos requisitos exigidos para outras estruturas de saneamento. Isso é fundamental para garantir a segurança sanitária dos usuários, garantindo que a água fornecida esteja de acordo com as normas e seja segura para uso (ABNT, 1998).

3.3 COAGULAÇÃO

A coagulação da água é definida como o processo de tratamento que tem como objetivo fundamental a formação de partículas desestabilizadas eletricamente. A coagulação é um processo químico usado para desestabilizar as partículas coloidais. Para isso adiciona-se um agente químico para gerar íons carregados positivamente na água, que contém colóides carregados negativamente. Como resultado, ocorre uma redução na repulsão existente entre as partículas. O mecanismo de coagulação/floculação das impurezas que estão contidas nas águas brutas depende do tipo de coagulante utilizado, com o objetivo de se obter água tratada para fins domésticos ou industriais (Silva, 2005).

Na maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs), os coagulantes mais frequentemente usados são o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio. Esses produtos desempenham um papel essencial ao promover a agregação de partículas indesejadas, formando flocos que podem ser mais facilmente removidos do líquido, contribuindo assim para a purificação da água (Silva *et al.*, 2012).

3.4 COAGULANTES: ABORDAGEM ENTRE QUÍMICOS E NATURAIS

A escolha do coagulante e sua aplicação é muito importante no tratamento de água e efluentes. Os sais de alumínio e ferro são os agentes mais utilizados no tratamento de água, por serem de baixo custo e terem capacidade coagulante já comprovada. A principal vantagem de utilizar um coagulante químico é fato de sua alta eficácia no tratamento de água e benefícios econômicos que é uma matéria prima considerada barata. O sulfato de alumínio é o coagulante mais usado no tratamento de água potável devido à sua boa eficiência, ser de fácil transporte e manejo, possuir baixo custo e ser produzido em várias regiões brasileiras (Carvalho, 2008).

3.4.1 Coagulante químico

Muitos coagulantes são utilizados nos processos de tratamento de água, como coagulantes inorgânicos (sais de alumínio e ferro), polímeros orgânicos sintéticos. Os sais de alumínio são os coagulantes mais comumente usados no tratamento de água devido ao seu baixo custo e capacidade comprovada de atuar como coagulantes no tratamento de água (Silva, 2005).

O sulfato de alumínio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, é o coagulante inorgânico de origem química mais utilizado para tratamento de água pública no Brasil, devido à comprovação da alta eficiência na remoção de sólidos em suspensão e custo de aquisição relativamente baixo. Contudo, esse coagulante pode tornar-se um inimigo do futuro, uma vez que em casos do seu uso em alta concentração pode gerar danos irreversíveis a saúde e ao ambiente no qual será descartado. As anomalias são causadas diretamente pela presença de alumínio remanescente na água, gerando o lodo no final do processo (Solana, 2014).

O impacto do sulfato de alumínio como coagulante é amplamente influenciado pelo pH, sendo que o nível de alumínio residual na água pode aumentar significativamente ao final do processo, dependendo do pH de floculação empregado. A presença de altas concentrações de alumínio residual na água pode acarretar sérios desafios no que diz respeito ao tratamento e descarte do lodo resultante, uma vez que o alumínio é um elemento que não é biodegradável e acumulativa (Fernandes *et al.*, 2010).

3.4.2 Coagulantes naturais

Estudos sobre a atuação de coagulantes naturais tem se tornado cada vez mais frequente. A sua fácil obtenção e aplicação poderá facilitar no tratamento de água em áreas remotas (SILVA, 2005). A utilização de produtos naturais no tratamento de águas como coagulante vem demonstrando ser uma forma pouco prejudicial ao ambiente por ser um método em que utiliza um coagulante biodegradável (Ribeiro, 2010).

De acordo com Konradt-Moraes *et al.* (2010), o estudo sobre coagulantes naturais, como o Tanfloc SS, para remover cor, turbidez e compostos absorventes em UV-254 nm, revelou que esse polímero orgânico catiônico de baixa massa molar é eficaz nesse processo. Ficou evidente que o uso de coagulantes orgânicos biodegradáveis é uma alternativa técnica viável aos coagulantes convencionais, trazendo benefícios tanto para a saúde pública quanto para o meio ambiente, promovendo a preservação ambiental e contribuindo para questões de saúde.

A quitosana é uma opção mais sustentável em comparação aos coagulantes químicos usuais. Derivada da quitina, apresentada no exoesqueleto de crustáceos, essa substância tem a capacidade de aglomerar partículas suspensas na água, facilitando sua remoção por sedimentação ou filtração. É um polímero natural, não tóxico e biodegradável, destacando-se do sulfato de alumínio. Isso resulta em um lodo orgânico de fácil descarte, muitas vezes direcionado para aterros sanitários. Além disso, a quitosana é um produto de custo acessível, renovável e biodegradável (Mclachlan, 1995).

De acordo com Cardoso *et al.* (2008), os quais estudaram a atuação da *Moringa oleifera* Lam como agente clarificante de águas turvas e coloridas, a moringa é uma espécie promissora na etapa de coagulação/floculação de águas potáveis. Os autores avaliaram a eficiência do coagulante natural na remoção de cor e turbidez da água, em função da alteração dos tempos de coagulação/floculação e sedimentação e concentração do extrato.

3.5 MORINGA OLEIFERA

Moringa oleifera Lam., pertencente à família *Moringaceae*, é uma planta nativa do oeste e sul dos Himalaias, nordeste da Índia, Paquistão e Afeganistão, mas hoje em dia encontra-se disseminada por muitos países tropicais e subtropicais, sendo largamente cultivada na África, América do Sul, Centro, Sudeste e sul Asiático, Índia, Arábia e nas Ilhas do Pacífico e Caraíbas (Santos, 2015).

A *Moringa* é a espécie mais conhecida da família das *Moringaceae*, é reconhecida como a espécie mais proeminente. Apesar de ser oriunda da Índia, expandiu-se globalmente, principalmente nos países tropicais, como o Brasil. Na região do Nordeste brasileiro a *Moringa oleifera* é conhecida como “Lírio Branco”. Outro nome popular dessa planta no Brasil é Quiabo de Quina (Corrêa, 1984).

Planta de um crescimento rápido e de porte médio a alto, inicia a frutificação já no primeiro ano de vida, podendo ser propagada por sementes (sexuada) e mudas ou estacas (assexuada), e possui a capacidade de produzir toneladas de sementes anualmente (Figura 1). É uma planta com múltiplas funcionalidades em sua utilização (Silva, 2005).

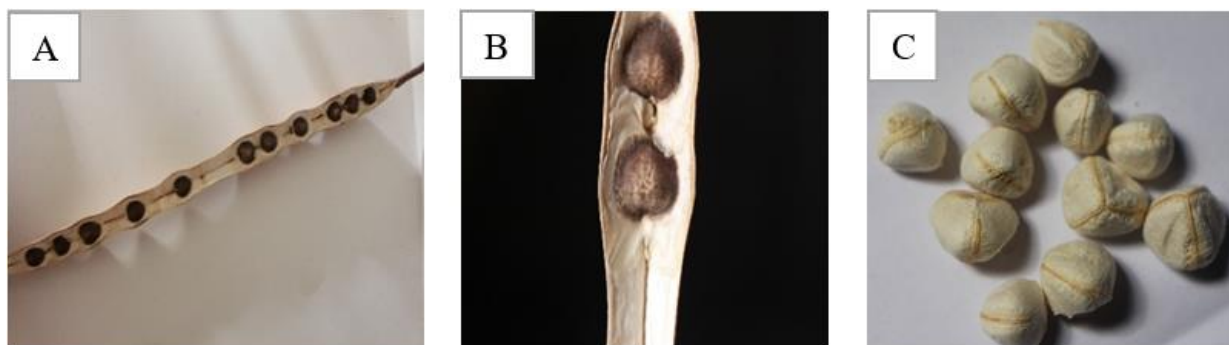
Figura 1 – *Moringa oleifera*.



Fonte: Autoria própria (2024).

A utilização das sementes desta espécie tem sido identificada como uma alternativa para o tratamento de água, atuando diretamente como um coagulante natural, estudos utilizam sementes com e sem casca (ver Figura 2). O ponto crucial é a facilidade de cultivo da planta, seu baixo custo de produção e, conseqüentemente, o alto rendimento, aspectos que se destacam ao considerar seu uso no tratamento de água (Santos, 2010).

Figura 2 – A) Vagem com as sementes. B) Sementes com casca. C) Sementes sem casca.



Fonte: Autoria própria (2024).

As sementes de MO possuem uma casca dura e resistente, e seu tamanho interno pode ser menor do que o tamanho total da semente devido à presença dessa casca, sendo pequena e leve. Silva e Matos (2008), em seu estudo, encontrou um peso médio das sementes foi de 265,7 mg. Já a casca representou cerca de 8,2% da massa total.

De acordo com Ramos (2010), as vagens (fruto) da moringa tem em média 28,50 cm de comprimento e 2,21 cm de largura, possuindo 9,91 g, já as sementes tem dimensões muito pequena tendo em média 1,001 cm de espessura, 1,037 cm comprimento, caracterizada por ser leve, constatando que a cada mil sementes tem em média uma massa de 197 g.

3.5.1 *Moringa oleifera* no Brasil e na região semiárida

A *Moringa oleifera* foi introduzida no Brasil em 1950, como uma planta ornamental e, desde então, cresceu em popularidade. Ela está presente na região Nordeste, especialmente nos estados do Maranhão, Piauí e Ceará. É reconhecido por ser economicamente viável para cultivo, com custos baixos, e por se adaptar facilmente ao clima do semiárido (Siguemoto, 2013).

Conforme mencionado por Gallão *et al.* (2006), a cultura da MO está sendo difundida em grande parte do semiárido nordestino devido a estudos que visam sua aplicação no tratamento de água, agindo como coagulante natural. Vale ressaltar que as sementes de *Moringa* apresentam uma composição que inclui uma proteína, representando cerca de 40% de seu conteúdo total.

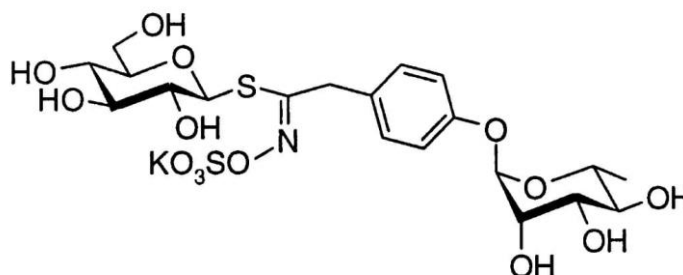
3.5.2 *Moringa oleifera* como coagulante sob diferentes análises químicas.

Embora os estudos da *Moringa oleifera* atuando como coagulante natural sejam recentes, a literatura apresenta características sobre a planta e resultados que comprovam sua ação coagulante que vem sendo amplamente publicados no decorrer dos últimos anos. Silveira (2021) apresenta um estudo com o extrato da moringa, evidenciando a eficiência do extrato através da redução significativa da turbidez, atingindo uma remoção de 95 %, e ainda se sobressaindo em relação a cor aparente e o pH.

Em estudo realizado por Silva e Matos (2008), a análise das sementes mostrou uma composição de 41,02 % de vitaminas e 35,35 % de proteínas. Notou-se que as dispersões contendo casca de semente tiveram uma menor eficácia em comparação com as dispersões sem casca. A diminuição da turbidez na água foi significativamente afetada pela remoção do óleo das sementes de Moringa. A análise granulométrica das dispersões com sementes de Moringa sem casca revelou partículas menores em relação às que estão nas massas com óleo, resultando em uma superfície específica maior. Esses resultados sugerem a importância crucial da remoção do óleo de Moringa para melhorar a eficiência na redução da turbidez da água.

De acordo com Gueyrard *et al.* (2000), evidências mais fortes sugerem que os compostos amídicos são os principais responsáveis pelo efeito coagulante. As sementes da planta contêm entre 8 e 10% de glucosinolatos, uma classe unificada de moléculas de tiosacarídeos naturais que ocorrem naturalmente, conhecidas por sua capacidade de se decompor facilmente em compostos. Esses compostos podem sofrer por hidrólise mediada pela mirosinase (glicohidrolase de tioglucosida) e produzir de D-glicose, principalmente isotiocianatos, que são conhecidos por suas propriedades biológica e possuem atividades antimicrobiana e coagulante. A estrutura do glucosinolato é apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Estrutura do glucosinolatos.



Fonte: Gueyrard *et al.* (2000).

Cardoso *et al.* (2008), expõem a atuação da *Moringa oleifera* Lam como agente clarificante de águas turvas e coloridas, que propõe avaliar a eficiência do coagulante natural na remoção de cor e turbidez da água, em função da alteração dos tempos de coagulação/floculação e sedimentação e concentração, a fim de se obter as condições de operação ideais. Diante das análises, a *Moringa* mais uma vez demonstrou uma boa capacidade de remoção dos parâmetros avaliados (cor e turbidez), indicando a mesma como um tratamento promissor na etapa de coagulação/floculação de águas potáveis.

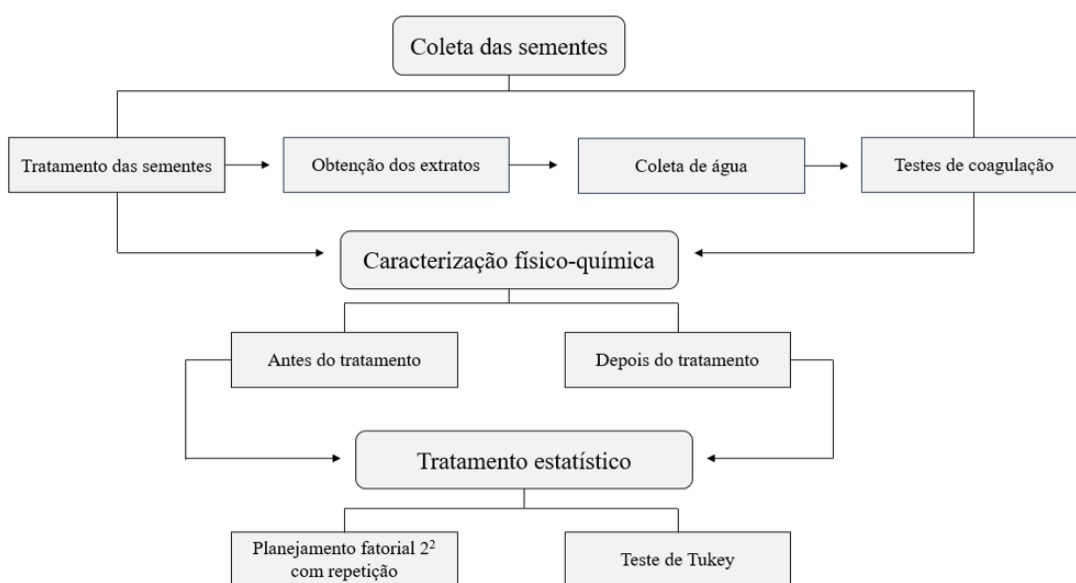
Silveira (2021) realizou uma investigação preliminar dos métodos de preparação do coagulante natural da *Moringa oleifera*, com ênfase na comparação entre o método 1 (utilizando o pó da semente) e o método 2 (utilizando o extrato). Os resultados obtidos foram resistentes, sendo que o método 1 alcançou uma taxa de remoção de 54,97 %, enquanto o método 2 obteve uma taxa de remoção de 78,6 %.

Estudos conduzidos por Oliveira *et al.* (2011), evidenciam que a semente de *Moringa oleifera* é altamente eficaz na redução da turbidez e dos sólidos suspensos na água natural. Houve uma diminuição de 81,3 % na turbidez e aproximadamente 84,6 % nos sólidos em suspensão. A concentração ideal do extrato foi de 500 mg L⁻¹ para as amostras utilizadas. Foi observado que, nos primeiros 50 minutos, a remoção da turbidez foi significativa, porém, independentemente da concentração do extrato, essa remoção diminuiu em mais de 90 % após 50 minutos de aplicação do coagulante.

4. METODOLOGIA

Em busca de métodos biodegradáveis para o tratamento de água cinza, esse capítulo apresenta todos os materiais e métodos utilizados neste trabalho. Assim, a metodologia adotada foi dividida em 5 etapas, conforme a figura 4.

Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para isso, os extratos coagulantes da *Moringa oleifera* foram obtidos a partir do procedimento proposto por Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009) e Balbinoti *et al.* (2018) com adaptações, e as caracterizações físico-químicas da água cinza realizadas de acordo com a metodologia prescrita no Standard Methods of APHA (2005) e foram realizados no Laboratório de Química Geral e Química Aplicada à Engenharia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas.

4.1 EQUIPAMENTOS

Para realizações dos experimentos foram utilizados os equipamentos utilizados para execução da pesquisa e vidrarias que são citados nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1 – Vidrarias e materiais.

Item	Vidrarias e Materiais
1	Béquer
2	Pipeta Volumétrica de 100 mL
3	Pipeta volumétrica de 20 mL
4	Pipeta volumétrica de 10 mL
6	Pipetador de borracha
9	Erlenmeyer
11	Kitassato
13	Bastão de vidro
14	Papel qualitativo
15	Funil de buchner
16	Funil de vidro
17	Peneira de 45 mesh
18	Garrafa de plástico

Fonte: Autoria própria (2024).

Quadro 2 – Equipamentos.

Item	Equipamentos	Marca/Modelo
1	Agitador magnético	Fisatom – 754 ^a
2	Balança analítica	Shimadzu / AUY220
4	Sonda multiparâmetro	Akso / AK88
5	pHmetro	Quimis / Q400AS
7	Turbidímetro	Del Lab / DLT-WV
8	Liquidificador industrial	X
9	Estufa de secagem	QUIMIS – Q314M243
10	Bomba de vácuo	SOLAB – SL 60

Fonte: Autoria própria (2024).

4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.2.1 Coleta e tratamento das sementes de *Moringa oleifera*

As sementes de moringa foram coletadas na cidade de Patu e Caraúbas (zona rural), ambas no Estado do Rio Grande do Norte (Figura 4). Após a colheita, as sementes foram descascadas e submetidas a um processo de desidratação em estufa de secagem a 40°C durante 3 horas. Após esfriar, foram trituradas em um liquidificador industrial e peneiradas utilizando uma peneira de 45 mesh. Por fim, foram guardadas em recipiente de plástico fechado até o momento de serem utilizadas para o preparo da solução coagulante.

Figura 5 – Processo após a coleta das sementes de *Moringa oleifera*.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.2 Obtenção dos extratos da semente

Os extratos coagulantes de *Moringa oleifera* foram obtidos a partir do procedimento proposto por Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009) e Balbinoti *et al.* (2018) com adaptações introduzidas no decorrer das análises. Para a produção dos extratos, foram pesadas quantidades de 0,5 g e 1,0 g do pó oriundo das sementes, adicionadas à 100 mL de água destilada. Após a adição do pó derivado das sementes, as misturas resultantes foram homogeneizadas durante 1 min a 300 rpm e 60 min a 100 rpm. Ao término do tempo de homogeneização, as misturas foram filtradas em papel de filtro qualitativo e os extratos coagulantes de diferentes concentrações (Figura 5) foram armazenados em recipientes de plásticos com capacidade de 250 mL, refrigerados para, posteriormente, serem utilizados no tratamento das águas cinzas.

Figura 6 – Processo de produção do estrato coagulante.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.3 Coleta e caracterização das amostras de água cinza antes e após tratamento.

As amostras de água cinza (Figura 6) foram coletadas em uma residência localizada na zona rural do município de Caraúbas/RN que possui um sistema de tratamento de água cinza. Com o foco de testar e analisar a eficácia dos coagulantes anteriormente produzidos, foram coletadas as amostras de dois pontos diferentes do sistema de tratamento, a escolha dos pontos está diretamente ligada a testar o coagulante em água de baixa e elevada turbidez.

As amostras foram postas em garrafas PET com capacidade de 5 L, foram acondicionadas em caixa de isopor com gelo e transportadas para o laboratório de química da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), campus Caraúbas, onde ocorreu a primeira fase de tratamento dessas amostras, as quais foram filtradas utilizando papel de filtro qualitativo e um sistema de bomba de vácuo que auxiliou no processo de filtragem das amostras.

Figura 7 – Amostras de água cinza.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.4 Realização dos testes de coagulação

Os testes de coagulação foram realizados de acordo com o planejamento fatorial 2^2 com repetição, utilizando-se 2 fatores e 2 níveis, conforme Tabela 01.

Tabela 1 – Fatores e níveis utilizados no experimento.

Fatores	Nível (-)	Nível (+)
Tempo de homogeneização (1)	15 min	30 min
Concentração da suspensão (2)	0,5 g/L	1,0 g/L

Fonte: Autoria própria (2024).

Para o planejamento, inicialmente, construiu-se uma tabela de coeficiente de contraste (Tabela 02):

Tabela 2 – Coeficientes de contraste para um planejamento fatorial 2^2 .

1	2	12
-1	-1	1
1	-1	-1
-1	1	-1
1	1	1

Fonte: Autoria própria (2024).

Onde, a partir da tabela de coeficientes, obtiveram-se as combinações necessárias para a realização dos ensaios (Tabela 03):

Tabela 3 – Ensaios para o planejamento fatorial 2^2 .

Ensaios	Fator 1	Fator 2
1	15 min	5 g/L
2	30 min	5 g/L
3	15 min	10 g/L
4	30 min	10 g/L

Fonte: Autoria própria (2024).

Para a realização dos testes de coagulação conforme o planejamento fatorial, seguiu-se os procedimentos descritos no próximo item.

4.3 APLICAÇÃO DE COAGULANTE DE *MORINGA OLEIFERA*

Os ensaios foram realizados com todas as amostras em duplicata como é previsto pelo planejamento fatorial 2^2 com repetição.

- a. Pipetou-se 100 mL da amostra de água cinza e transferido para um erlenmeyer de 250 mL;
- b. Transferiu-se 30 mL do extrato coagulante conforme planejamento fatorial e adicionado aos 100 mL da amostra de água cinza;
- c. Adicionando o erlenmeyer em um agitador magnético e mantido ao sistema sob agitação a 100 rpm. O tempo de reação foram estabelecidos conforme descrito no planejamento fatorial.
- d. Após o término da agitação, as misturas resultantes ficaram em descanso por 60 min.
- e. Após o tempo de descanso, o sobrenadante foi coletado e encaminhado para a realização das análises físico-químicas.
- f. Foram realizadas as análises físico-químicas das amostras após o tratamento com o coagulante (pH, condutividade, salinidade, turbidez).

Amostras também foram submetidas aos mesmos processos para fazer a comparação de dados diante dos fatores analisados neste trabalho. O uso de uma amostra em branco é crucial para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados.

4.5 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas previstas foram realizadas no laboratório, após a filtração e após o tratamento da água com as soluções coagulantes. Para as análises de pH foi utilizado um pHmetro de bancada, modelo Quimis / Q400AS. Para a condutividade e salinidade, utilizou-se uma sonda multiparâmetro da marca Akso, modelo AK88. Para a análise de turbidez, utilizou-se um turbidímetro de bancada da marca Del Lab, modelo DLT-WV. Ambos os equipamentos foram calibrados previamente utilizando soluções padrão específicas para cada parâmetro analisado.

4.3.1 Análise de turbidez

A análise da turbidez foi realizada utilizando-se um turbidímetro de bancada (Figura 7) previamente calibrado conforme orientações do fabricante. Após a calibração, as amostras foram inseridas individualmente no compartimento específico para realização da leitura, obtendo-se os valores em unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

Figura 8 – Teste de turbidez.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.3.2 Análise de pH

A determinação do pH das amostras de água cinza após o tratamento com coagulante foram realizadas utilizando um pHmetro de bancada, que foi previamente calibrado usando soluções tampão para calibração do equipamento, adicionando então as amostras para medir o pH da solução após o tratamento (Figura 8).

Figura 9 – Teste de pH.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.3.3 Análise de condutividade elétrica e salinidade

Essa análise foi realizada utilizando-se uma sonda multiparâmetro (Figura 9) que foi calibrada conforme as recomendações para testes de condutividade/salinidade, fazendo uso especificamente do eletrodo de condutividade/salinidade. Após imersão completa do eletrodo na amostra e posterior estabilização, os resultados foram obtidos em $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Condutividade) e ppt (Salinidade).

Figura 10 – Eletrodo de condutividade.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

De acordo com Barros Neto *et al.* (2001), para executar um planejamento fatorial, iniciasse especificando os níveis em que cada fator deve ser estudado, isto é, os valores dos fatores (ou as classes, nos casos qualitativos) a serem utilizados para fazer os experimentos.

Neste trabalho utilizou-se o planejamento fatorial 2^2 com repetição, utilizando o Excel como ferramenta para calcular os efeitos de primeira e segunda ordem e o produto do erro pelo t student (uma técnica estatística utilizada para determinar se existe uma diferença significativa entre as médias de dois grupos), estudando o efeito do fator: tempo de reação em dois níveis, 15 min e 30 min, e o efeito de concentração do coagulante em dois níveis, 5g/L e 10g/L (Ver figura 10).

Para fazer um planejamento fatorial completo, realiza-se experimentos em todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores. Cada um desses experimentos, em que o sistema é submetido a um conjunto de níveis definido (por exemplo: tempo de reação 30 min

e a concentração 5 g/L), é um ensaio experimental, onde todas as possíveis combinações com repetição resultaram em 8 ensaios.

Figura 11 – Planilha do Excel para obter os valores dos efeitos de primeira e segunda ordem.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	1	2	12	R1	R2	Média		Ensaio	Tempo de reação (min)	Concentração da suspensão (g/L)
2	-1	-1	1	72,30	75,70	74,00		1	15	5
3	1	-1	-1	81,50	82,27	81,89		2	30	5
4	-1	1	-1	32,03	31,00	31,52		3	15	10
5	1	1	1	29,87	24,93	27,40		4	30	10
6										
7					Quadrado dos desvios					
8	1	2	12		11,56					Concentração da suspensão (g/L)
9	-74	-74	74		0,5929			Tempo de Reação (min)	5	10
10	81,885	-81,885	-81,885		1,0609			15	74,00	31,52
11	-31,515	31,515	-31,515		24,4036			30	81,89	27,40
12	27,4	27,4	27,4							
13	1	2	12		4,702175	Variância conjunta				
14	1,885	-48,485	-6							
15					2,3510875	variância do efeito				
16					1,53332563	desvio padrão				
17					4,25804529	desvio padrão * t de Student				

Fonte: Autoria própria (2024).

O teste de Tukey, também conhecido como método de comparação múltipla de médias de Tukey, é uma técnica estatística utilizada para determinar se existe diferença significativa entre as médias de três ou mais grupos. Sendo uma técnica robusta para controlar o erro experimental, especialmente em comparações múltiplas. Ele é frequentemente usado em conjunto com análises de variância (ANOVA) para determinar diferenças significativas entre grupos em estudos experimentais (Gomes, 2016).

A diferença significativa vai depender do nível de significâncias, determinado no teste, neste caso de o nível foi de 5 %. Existe duas hipóteses na interação das amostras, sendo 0 ou 1, caso seja nula não existe diferença estatística entre as amostras, já se der 1, as amostras possuem diferença significativa, diante do nível determinado (figura 11).

Figura 12 – Exemplificação do teste de Tukey realizado utilizando o programa Origin 2018.

Tukey Test								
	MeanDiff	SEM	q Value	Prob	Alpha	Sig	LCL	UCL
A_15 min A1	2	2,32538	1,21633	0,68267	0,05	0	-5,13509	9,13509
A2_30 min A1	11,66667	2,32538	7,09524	0,00578	0,05	1	4,53158	18,80175
A2_30 min A_15 min	9,66667	2,32538	5,87892	0,01408	0,05	1	2,53158	16,80175

Sig equals 1 indicates that the difference of the means is significant at the 0,05 level.

Sig equals 0 indicates that the difference of the means is not significant at the 0,05 level.

Fonte: Autoria própria (2024).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, serão abordados os resultados que foram obtidos ao longo do processo de caracterização físico-química, tanto antes quanto depois da aplicação do extrato de *Moringa Oleifera*. Serão explanadas as alterações nas propriedades físicas e químicas das amostras analisadas, antes e após a intervenção com o referido extrato.

Esse estudo visa entender e avaliar os efeitos da atuação da *Moringa oleifera* no tratamento de água cinza, onde as características físico-químicas analisadas foram: turbidez, pH, salinidade e condutividade. Os resultados deste estudo foram alcançados através do planejamento fatorial 2^2 com repetição. Além disso, os parâmetros analisados foram comparados com os dados encontrados na literatura, que emprega o extrato de MO para o tratamento de água.

Vale salientar que as amostras de água utilizadas apresentam características distintas, sendo uma com elevada turbidez (água 1) e outra com a turbidez inferior (água 2), com o intuito de verificar a eficiência do uso do extrato em amostras de diferentes níveis de turbidez.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA ANTES DO TRATAMENTO

Foram realizadas três análises das amostras de água cinza, abrangendo tanto a água 1 quanto a água 2, com o claro intuito de identificar os valores iniciais de suas características físico-químicas. Posteriormente, procedeu-se ao cálculo da média e desvio padrão dos dados obtidos a partir dessas amostras, contribuindo assim para uma compreensão mais abrangente e precisa das propriedades das amostras analisadas.

Para aprofundar a investigação, as amostras que não receberam aplicação de coagulante foram submetidas aos mesmos procedimentos das amostras com o coagulante. Isso incluiu tempos de homogeneização de 15 e 30 minutos, seguidos por um período de sedimentação de 120 minutos. A finalidade dessa abordagem é avaliar se o processo de agitação e decantação tem algum impacto nas características físico-químicas da água cinza, e assim, compreender se o processo de agitação e o subsequente tempo de sedimentação influenciam de alguma forma as propriedades da água cinza que não passou pelo tratamento com coagulante.

Para uma análise mais precisa sobre as amostras iniciais, não tratadas com coagulante, foi feita a análise da variância (ANOVA), realizando o teste de Tukey para saber se as

amostras apresentavam diferença estatísticas em relação a amostra de água cinza bruta, com nível de significância de 5 %.

5.1.1 Água 1

Foram coletados os dados para cada parâmetro estabelecido, como citado anteriormente, feito cálculos de média e desvio padrão (ver Tabela 4), onde esses valores foram submetidos ao teste de Tukey, para saber se existe distinção estatística entre as amostras.

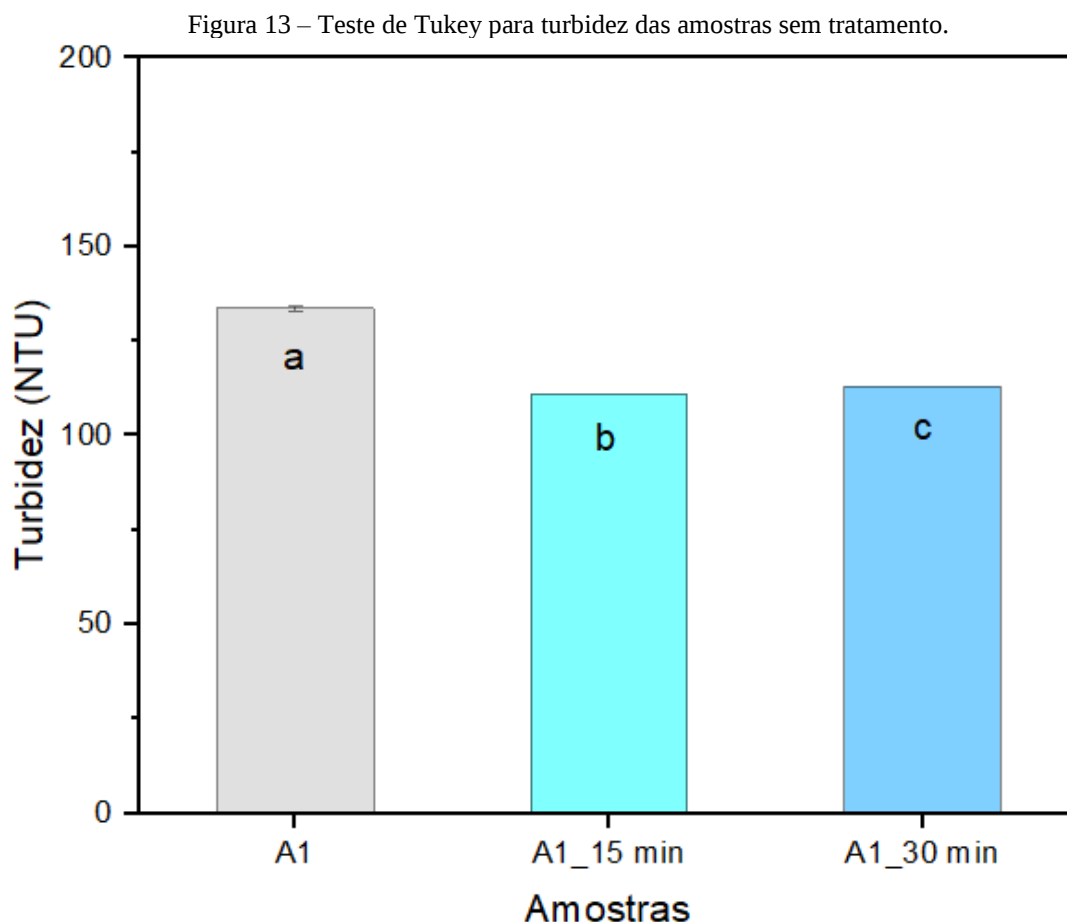
Tabela 4 – Caracterização físico-química inicial da água 1.

Parâmetros	Média ± Desvio Padrão		
	A1	A1_15 min	A1_30 min
Turbidez (NTU)	133,7 ± 0,5	111,0 ± 0,0	113,0 ± 0,0
pH	7,9 ± 0,01	8,0 ± 0,01	8,0 ± 0,01
Condutividade (µS)	715,0 ± 3,71	717,0 ± 0,81	726,7 ± 1,24
Salinidade (ppt)	0,38 ± 0,00	0,38 ± 0,00	0,38 ± 0,00

Água bruta (A1), água em homogeneização por 15 minutos (A1_15 min) e água em homogeneização por 30 minutos (A1_10 min).

Fonte: Autoria própria (2024).

Após o processo de homogeneização e decantação, observaram-se algumas alterações no comportamento da turbidez, diminuindo no decorrer do processo. Essa redução seguiu na mesma ordem de grandeza do resultado inicial. Para avaliar se as amostras apresentavam diferenças estatísticas significativas os resultados foram submetidos ao teste de Tukey, cujos detalhes são apresentados na Figura 12.



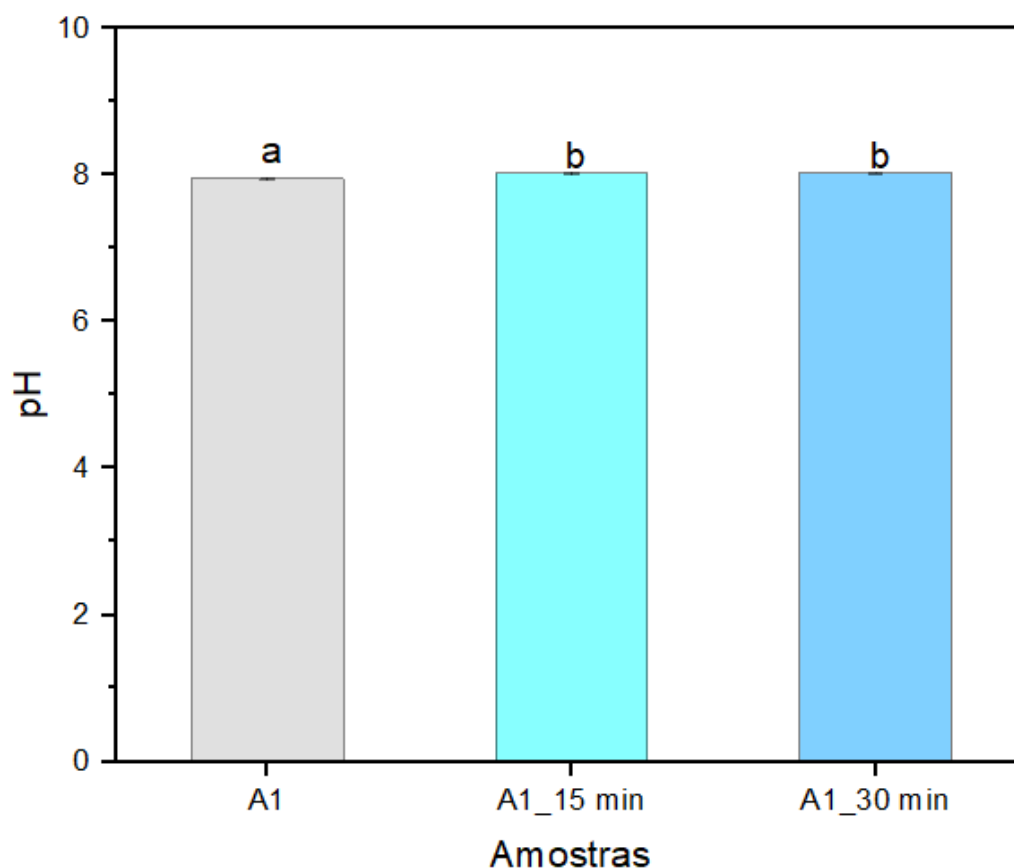
Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao analisar o gráfico de turbidez das amostras A1, A1_15 min e A1_30 min, foi constatada uma mudança significativa. Após o processo de homogeneização e decantação, observou-se uma redução nos resultados, indicando a influência do sistema na diminuição desse parâmetro. Segundo Cerrutti (2005), a agitação de uma amostra pode contribuir para a dispersar as partículas sólidas disponíveis, podendo reduzir a sua concentração em determinadas áreas, pode quebrar aglomerados de partículas sólidas, resultando em partículas menores, que se dispersa com mais facilidade, os fatos supracitados podem auxiliar na redução da turbidez.

No que diz respeito ao pH, foram observados valores iniciais próximos à neutralidade. Durante o período de homogeneização e decantação, foi constatado um leve aumento gradual entre as amostras, o qual foi constatado através do teste de Tukey. Na Figura 13, foram apresentados os resultados do teste de Tukey para o pH das amostras sem tratamento.

Figura 14 – Teste de Tukey para pH das amostras sem tratamento.



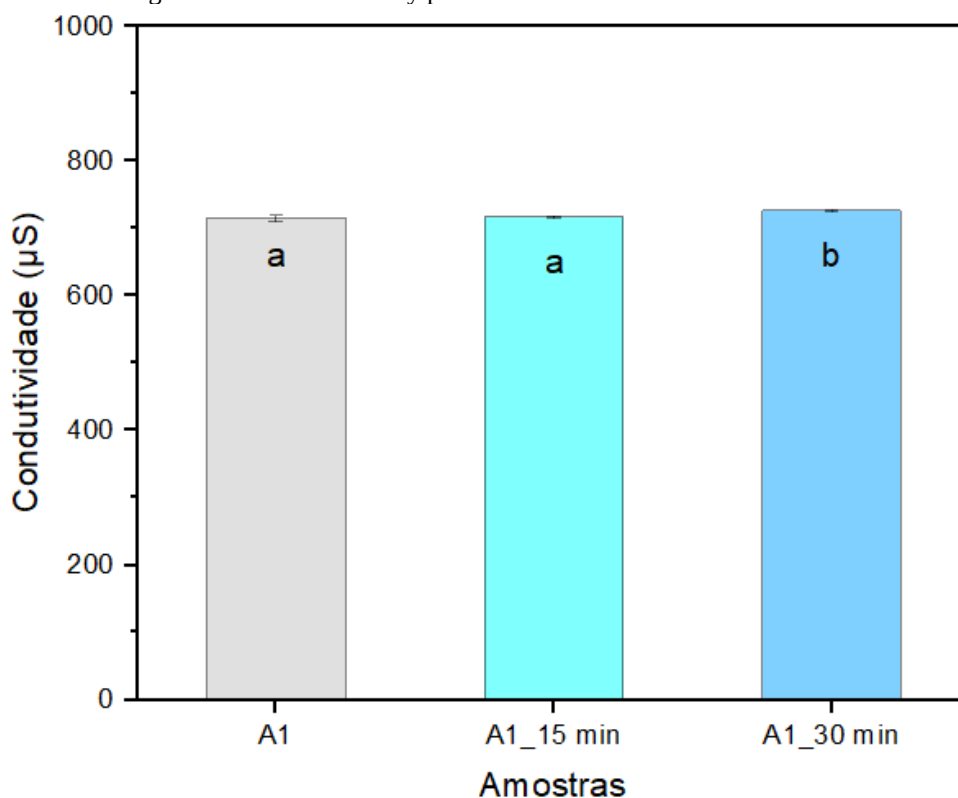
Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

A relação do pH e do tempo de homogeneização é considerado relevante, uma vez que as amostras submetidas a esse processo se mostram diferente da inicial. Como são amostras de água cinza, provenientes de uso doméstico, uma vez, que as amostras contiverem partículas solidas suspensas, a agitação pode ajudar a dispersar essas partículas, ocorrendo a solubilização de substancias de caráter alcalino, consequentemente aumentando o pH.

Para a condutividade, as amostras apresentaram um leve aumento, sendo significativo apenas no tempo de 30 min, conforme o teste de Tukey. Durante o processo de homogeneização, a agitação da água pode ter facilitado a dissolução e dispersão dos íons na solução, contribuindo para o aumento da condutividade. Além disso, essa agitação ainda pode ter auxiliado na distribuição uniforme dos íons na água, resultando em uma condutividade mais consistente de uma amostra para outra (Oliveira *et al.*, 2001). Os resultados do teste de Tukey para a condutividade são mostrados na Figura 14, fornecendo uma análise estatística detalhada.

Figura 15 – Teste de Tukey para condutividade das amostras sem tratamento.



Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

O parâmetro de salinidade (Tabela 4) foi avaliado em todas as amostras após terem passado pelo sistema. Foi constatado que todas as amostras apresentaram valores idênticos de salinidade, implicando que, para esse parâmetro, o processo de agitação, homogeneização e decantação não causou interferência.

5.1.2 Água 2

Os resultados provenientes da caracterização físico-química para água 2, média e desvio padrão, para cada parâmetro abordado, estão devidamente registrados e podem ser encontrados na Tabela 5.

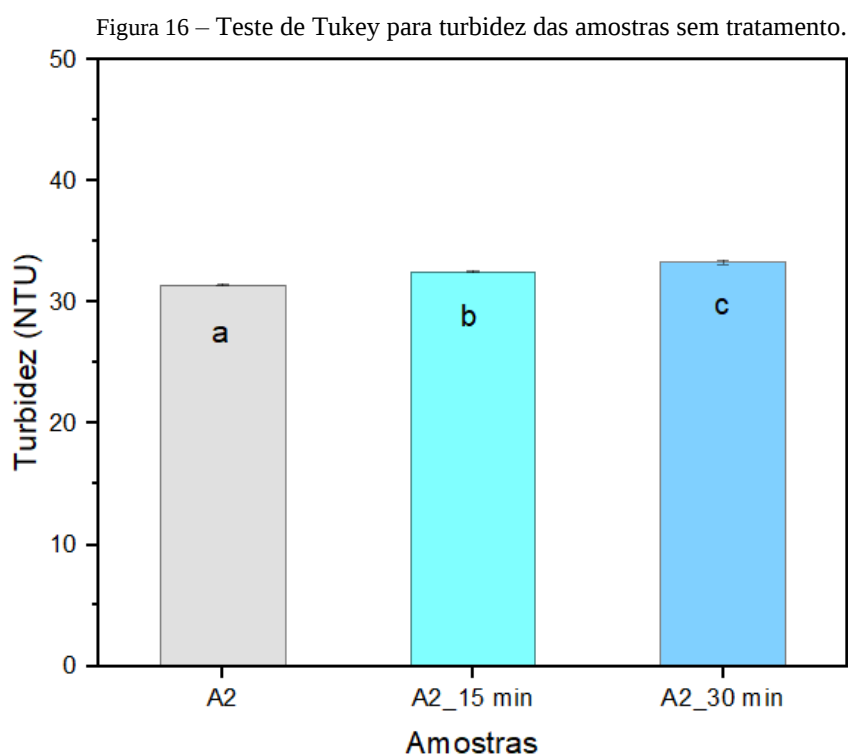
Tabela 5 – Caracterização físico-química inicial da água 2.

Parâmetros	Média ± Desvio Padrão		
	A2	A2_15 min	A2_30 min
Turbidez (NTU)	31,43 ± 0,1	32,53 ± 0,1	33,30 ± 0,1
pH	7,93 ± 0,01	8,15 ± 0,01	8,28 ± 0,02
Condutividade (μS)	747,33 ± 2,4	749,00 ± 0,82	761,00 ± 1,63
Salinidade (ppt)	0,40 ± 0,00	0,40 ± 0,00	0,40 ± 0,00

Água bruta (A2), água em homogeneização por 15 minutos (A2_15 min) e água em homogeneização por 10 minutos (A2_10 min).

Fonte: Autoria própria (2024).

Em relação a turbidez, observou-se um ligeiro aumento durante o processo de homogeneização. No entanto, esse aumento foi de magnitude pequena. Posteriormente, o resultado do teste de Tukey (Figura 15), mostra a diferenças estatísticas entre as amostras, determinando se as variações na turbidez eram estatisticamente significativas.



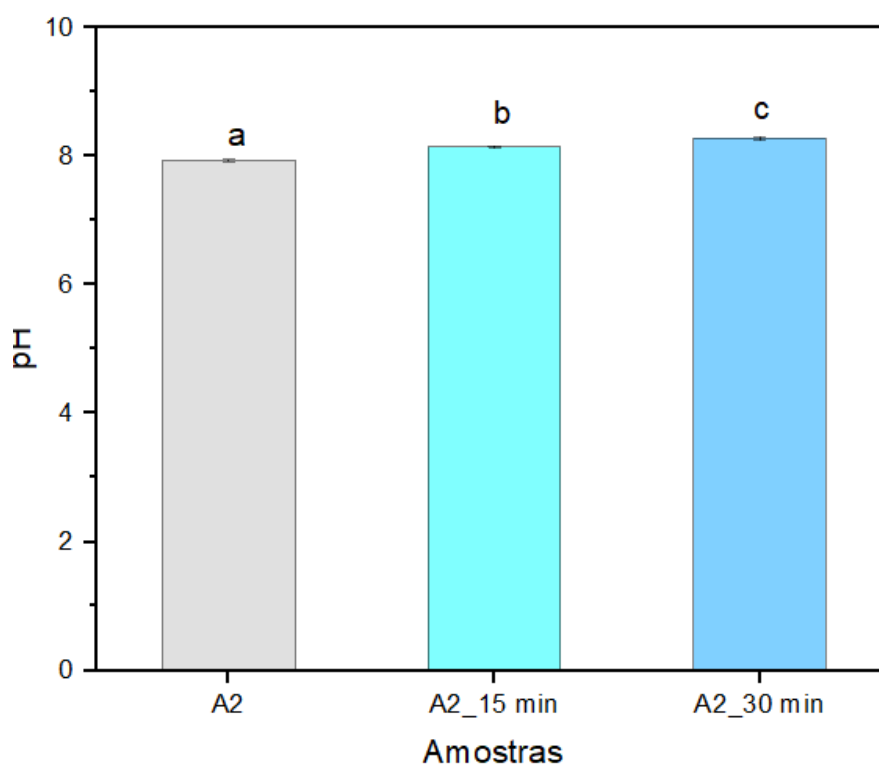
Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

O teste de Tukey para turbidez das amostras A2, A2_15 min e A2_30 min, foi constatada uma mudança significativa. Após o processo de agitação, homogeneização e decantação, observou-se um aumento nos resultados, indicando a influência do sistema nesse parâmetro.

Os dados de pH das amostras expostas ao sistema mostraram resultados próximos, com um ligeiro aumento observado à medida que o tempo avançava. Esse aumento foi leve, mas perceptível. Para uma análise mais aprofundada das diferenças entre as amostras, o resultado do teste de Tukey está disponível na Figura 16.

Figura 17 – Teste de Tukey para pH das amostras sem tratamento.

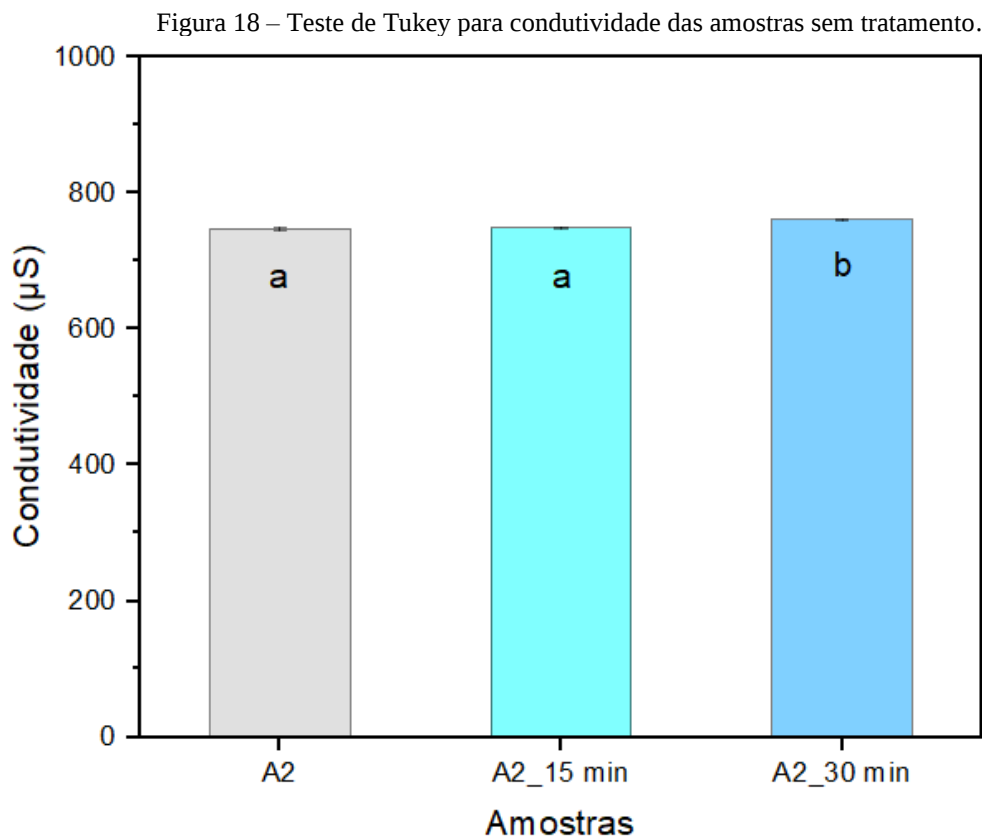


Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

Em conformidade com o teste de Tukey, foi confirmado que as amostras A2_15 min e A2_30 min (em agitação, homogeneização e decantação) foram diferentes do pH da amostra de água bruta. O mesmo comportamento foi observado anteriormente, relacionando a possível influência da agitação para dispersão de partículas sólidas, havendo a solubilização de substâncias de caráter alcalino, implicando diretamente no aumento do pH.

O teste de Tukey para condutividade, constatou-se que as amostras apresentaram um aumento, sendo significativo apenas para o tempo de 30 min (ver figura 17).



Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

O parâmetro de salinidade (Ver tabela 5), entre todos, conservou-se constante quando exposto às circunstâncias do sistema (agitação, homogeneização e decantação), apontando o mesmo valor para todas as amostras.

5.2 PLANEJAMENTO FATORIAL 2^2 COM REPETIÇÃO

Visando identificar as condições mais adequadas para o tratamento da água cinza, utilizando extratos coagulantes de *Moringa oleifera*, foi realizado um planejamento fatorial 2^2 com repetição. Nesse processo, dois fatores com dois níveis cada foram considerados, permitindo a confirmação de qual(ais) fator(es) é(são) mais relevante(s) no tratamento (Ver Tabela 6). Essa abordagem experimental é essencial para determinar as variáveis que têm o maior impacto na eficácia do tratamento, ajudando a otimizar o processo para alcançar resultados mais eficientes e consistentes.

Tabela 6 – Fatores e níveis utilizados no experimento.

FATORES	NÍVEL (-)	NÍVEL (+)
Tempo de homogeneização (1)	15 min	30 min
Concentração da suspensão (2)	0,5 g/L	10 g/L

Fonte: Autoria própria (2024).

Após o procedimento de coagulação utilizando extrato de moringa, conforme o planejamento fatorial, procedeu-se com as análises físico-químicas com o intuito de verificar a eficiência dos extratos aquosos de *Moringa oleifera* (MO). Essas análises englobaram a avaliação da turbidez, pH, condutividade e salinidade. A partir dos resultados obtidos para os parâmetros quantitativos, foram realizados cálculos que incluíram as médias, desvios, efeitos, erro e o produto do erro pelo t de student. Estes dados e cálculos proporcionam uma base para análise mais aprofundada, permitindo identificar quais fatores e níveis são mais significativos, ou seja, se sua variação causa ou não alguma mudança no parâmetro analisado, seja de forma positiva ou negativa.

5.2.1 Turbidez

Considerando os resultados de turbidez (NTU) obtidos em cada teste, para água de baixa e elevada turbidez, que serão mostrados a seguir, através dos cálculos para determinar os efeitos de primeira e segunda ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo valor de t de student, ao comparar cada efeito com o produto do erro pelo t de Student, observa-se que nem todos os fatores apresentam significância estatística.

5.2.1.1 Água 1

Analisando os resultados para água de elevada turbidez, como mostrado na Tabela 7, foram realizados cálculos para determinar os efeitos de primeira e segunda ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo t de student, conforme indicado na Tabela 8.

Tabela 7 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 com repetição em relação a turbidez.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média (NTU)	Desvio Padrão
1	72,30	75,70	74,00	1,70
2	81,50	82,27	81,89	0,38
3	32,03	31,00	31,52	0,51
4	29,87	24,93	27,40	0,03

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 8 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação a turbidez.

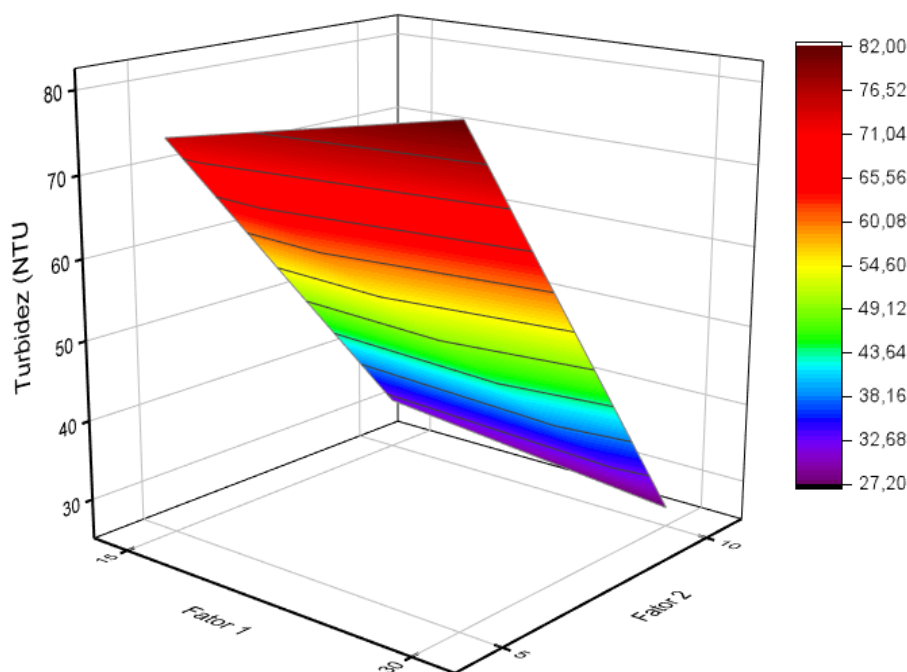
Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
7,885	-48,845	-6	1,5333	4,2580

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao se analisar detalhadamente o efeito 2 (em módulo) percebe-se que ele é muito superior ao produto do erro pelo t de student. Além disso, observa-se ainda que ele é um efeito negativo, indicando que quando há uma transição desse fator do nível menos (-) para o nível mais (+), ou seja, quando se aumenta a concentração da solução coagulante, ocorre uma redução significativa na turbidez. Paralelamente a essa observação, o efeito 1 e o efeito de interação 12, que representam o tempo de homogeneização e a interação entre o tempo de homogeneização e a concentração da solução coagulante, respectivamente, apresentaram um valor um pouco superior, em módulo, que o produto do erro pelo t de student, o que mostra que os seus efeitos são bem menos significativos que o efeito 2.

Com base nos dados apresentados anteriormente, é possível observar os comportamentos associados a cada efeito, bem como a interação entre eles, conforme demonstrado na Figura 18.

Figura 19 – Gráfico de superfície de resposta para turbidez da água 1.



Fonte: Autoria própria (2024).

A influência do tempo de homogeneização mostra que, ao aumentar o tempo de homogeneização de 15 minutos para 30 minutos, com concentração de 5 g/L, a turbidez aumentou um pouco. Um comportamento inverso é observado com uma concentração de 10 g/L, embora a redução não seja tão marcante, como indicado pela leve inclinação do eixo. Isso sugere que o tempo de homogeneização não é um fator determinante, embora ocorra uma variação nos valores de turbidez, sua relevância é limitada, pois o efeito 1 e o efeito de interação 12, são apenas um pouco superior ao produto do erro pelo t de student.

Por outro lado, observa-se uma redução significativa na turbidez com o aumento da concentração de 5 g/L para 10 g/L. Esse efeito é mais pronunciado com um tempo de homogeneização de 30 minutos, onde ocorre uma diminuição considerável na turbidez. Essa tendência também é perceptível para um tempo de reação de 15 minutos, embora em menor grau.

Os estudos conduzidos por Adesina *et al.* (2019), identificaram que a interação entre o tempo de agitação e as diferentes concentrações dos extratos, o efeito do tempo não obteve relevância. Como pode ser observado no presente trabalho, o tempo de homogeneização também não trouxe mudanças significativas na variação da turbidez da água, ambos os tempos de 15 e 30 min resultaram em valores próximos.

Foi possível verificar que, quanto maior a concentração, maior foi a redução da turbidez, comprovando que aplicabilidade do extrato é dependente de sua concentração. Este padrão sugere uma relação direta entre a concentração do agente utilizado e a eficácia na redução da turbidez, especialmente em condições de turbidez inicial mais alta, resultado também obtido por Ng e Elshikh (2021).

Destacando melhor ensaio em termos de redução de turbidez, após o tratamento com extrato coagulante, constatou-se que o ensaio 4 (30 min e 10g/L) alcançou o melhor índice de redução, com 75,75 %. O percentual de redução foi calculado relacionando os valores de turbidez das amostras com e sem adição do coagulante.

5.2.1.2 Água 2

Considerando os resultados para água de baixa turbidez, como mostrado na Tabela 9, obteve-se os efeitos de primeira e segunda ordem, os efeitos de interação e o produto do erro pelo t de student, conforme indicado na Tabela 10.

Tabela 9 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2² com repetição em relação a turbidez.

Ensaios	Resposta 1	Resposta 2	Média (NTU)	Desvio Padrão
1	41,50	37,00	39,25	2,25
2	42,60	40,60	41,60	1,00
3	24,90	23,60	24,25	0,65
4	20,90	22,20	21,55	0,65

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 10 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à turbidez.

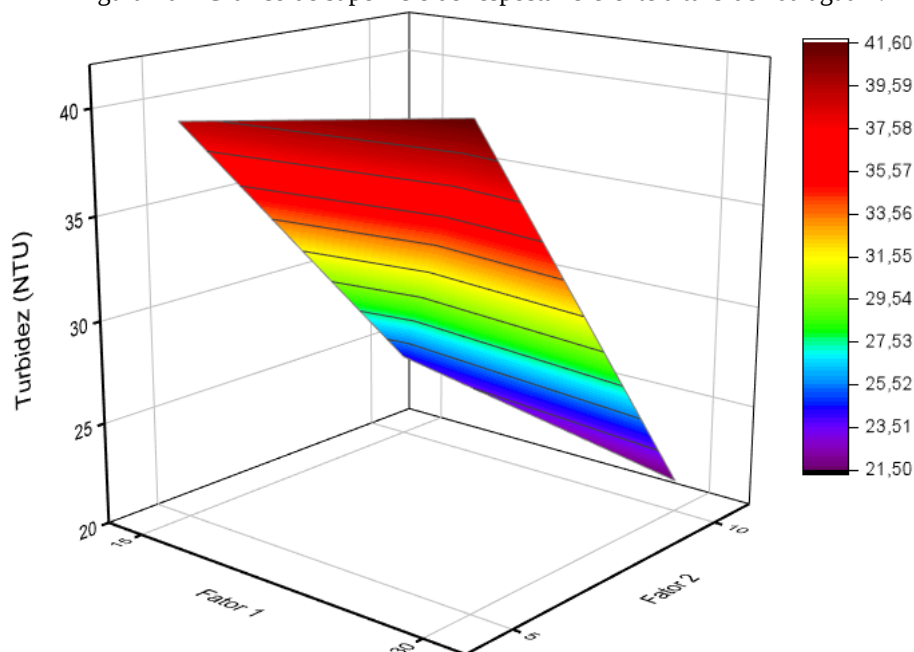
Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
-0,175	-17,525	-2,525	1,3141	3,6493

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao observar os resultados, nota-se que o efeito 1 é irrelevante, representando o menor valor, em módulo, em comparação com os demais. Em contraste, o efeito 2 (em modulo), é significativamente maior que o produto do erro pelo t de student. Já a interação do efeito 12 (interação entre tempo de reação e concentração dos extratos) é inferior. Assim, verifica-se que o único fator relevante para alterar a turbidez é a concentração do extrato. Com os dados

estabelecidos, é viável explorar os padrões vinculados a cada efeito, assim como a interação entre eles, como ilustrado na Figura 19.

Figura 20 – Gráfico de superfície de resposta referente a turbidez da água 2.



Fonte: Autoria própria (2024).

Ao investigar o impacto do tempo de homogeneização, conforme ilustrado anteriormente, é notória uma tendência interessante. A variação do tempo de reação de 15 para 30 minutos, mantendo a concentração de 5 g/L, resultou em um leve aumento da turbidez. No entanto, ao considerarmos a mesma variação de tempo para uma concentração de 10 g/L, observamos uma diminuição na turbidez. Isso sugere que as variações observadas na turbidez, seja um aumento ou uma diminuição, não atingem significância estatística com a alteração no tempo de homogeneização.

Em relação à influência da concentração, ao variar do nível menos (5 g/L) para o nível mais (10 g/L), no tempo de 15 min e 30 min, observa-se um decréscimo na turbidez, sendo superior para o tempo de 30 min. De acordo com os achados de Okuda *et al.* (2001), a aplicação da moringa como coagulante torna-se significativa e eficaz em águas com alta turbidez.

Ao conferir o melhor ensaio, para redução da turbidez para amostra A2 após o tratamento com extrato coagulante, o ensaio 4 (30 min e 10g/L) acentua-se como melhor efeito, tendo um decréscimo de 35,28 %, o índice de redução foi calculado associando os valores de turbidez das amostras com e sem adição do coagulante.

5.2.2 pH

Averiguando resultados obtidos em cada teste de pH, para duas amostras de água distintas, através dos cálculos para determinar os efeitos de primeira e segunda ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo valor de t de Student, ao comparar cada efeito com o produto do erro pelo t de Student, observa-se que os fatores não apresentam influências significativas nas respostas obtidas.

5.2.2.1 Água 1

Interpretando os dados contidos nas Tabelas 11 e 12, pode-se observar que a alteração dos níveis de cada um dos fatores não afeta significativamente os valores de pH, independente do tempo e das concentrações adotadas.

Tabela 11 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2² em relação ao pH.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média	Desvio Padrão
1	7,51	7,56	7,54	0,02
2	7,54	7,51	7,53	0,02
3	7,51	7,72	7,62	0,11
4	7,52	7,71	7,62	0,10

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 12 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação ao pH.

Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
-0,005	0,085	0,005	0,0723	0,2007

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao verificar os dados é evidente que os resultados estão na mesma ordem de grandeza ou são menores, em módulo, que o produto do erro pelo t de Student, o que pode ser um dos benefícios ao utilizar extratos aquosos para o tratamento de água doméstica, onde consegue fazer o tratamento dos demais parâmetros sem afetar o pH, que se encontra próximo da neutralidade.

Pode-se observar que independente dos fatores aplicados o pH não sofreu alteração significativa, indicando possivelmente que o extrato não contribui para alterações, na relação

H^+ / OH^- em solução, onde o pH inicial da solução não respondeu as variações. Resultado semelhante foi verificado no estudo realizado por Gaayda *et al.* (2022).

Considerando o melhor ensaio em termos de maior redução de pH para amostra A1 após o tratamento com extrato coagulante, o ensaio 2 (30 min e 5g/L) enfatiza o melhor resultado, tendo uma diminuição de 6,32 %, a proporção de redução foi calculado comparando os valores de turbidez das amostras com e sem adição do coagulante.

5.2.2.2 Água 2

Considerando os resultados, como mostrado na Tabela 13, obteve-se os efeitos de primeira e segunda ordem, os efeitos de interação, erro e produto do erro pelo t de Student, conforme indicado na Tabela 14.

Tabela 13 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 em relação a salinidade.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média	Desvio Padrão
1	7,87	7,78	7,83	0,04
2	7,83	7,88	7,86	0,02
3	7,82	7,81	7,82	0,01
4	7,93	7,93	7,93	0,00

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 14 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.

Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
0,07	0,07	0,04	0,0257	0,0715

Fonte: Autoria própria (2024).

Mesmo que estas amostras apresentem características físico-químicas diferentes da água 1, foi observado um comportamento estatístico semelhante. Os resultados coincidiram com a expectativa de que a moringa não influenciaria o pH da solução, mantendo-se na mesma ordem de grandeza. Nenhum dos efeitos causou impacto positivo ou negativo significativo nas amostras; ademais, nenhum desses efeitos demonstrou ser superior, em módulo, ao produto do erro pelo t de student.

Enfatizando o melhor ensaio para redução do pH, após o tratamento com extrato coagulante, o ensaio 3 (15 min e 10g/L) mostrou-se como o resultado mais promissor, tendo

uma queda de 6,34 %, a porcentagem de redução foi calculado comparando os valores de turbidez das amostras com e sem adição do coagulante.

5.2.3 Condutividade

Explanando os dados em cada teste de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), através dos cálculos é possível determinar os efeitos de primeira e segunda ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo valor do t de student. Ao comparar cada efeito com o produto do erro pelo t de Student, observa-se que o efeito 2 é muito significativo.

5.2.3.1 Água 1

Avaliando os resultados, como mostrado na Tabela 15, adquiriu-se os efeitos de primeira e segunda ordem, os efeitos de interação, erro e produto do erro pelo t de Student (ver Tabela 16).

Tabela 15 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 com repetição em relação a condutividade.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Desvio Padrão
1	604,70	600,30	602,50	2,20
2	601,70	603,30	602,50	0,80
3	640,30	642,30	641,30	1,00
4	648,00	641,70	644,85	3,15

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 16 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à condutividade.

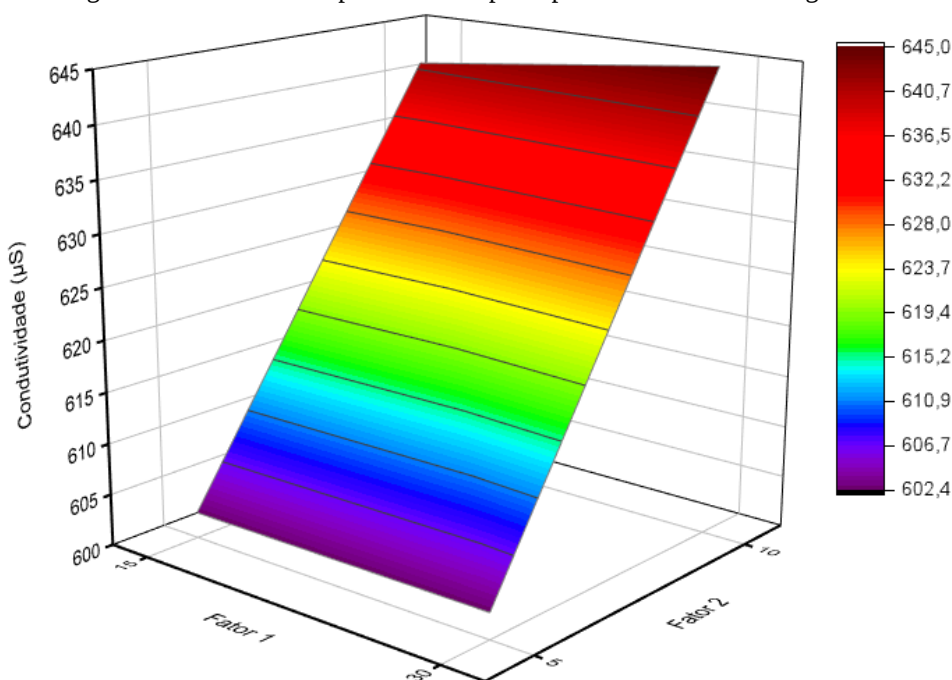
Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
1,775	40,575	1,775	2,025	5,6234

Fonte: Autoria própria (2024).

Analisando os dados de cada ensaio, observa-se uma variação significativa entre os valores. O efeito 1 (tempo de reação) e da interação 12 não teve influência no resultado, em módulo, é menor que produto do erro pelo t de student. Por outro lado, o efeito 2 (concentração do extrato) possui um valor muito superior, indicando sua significância. O comportamento citado pode ser visualizado na Figura 20.

No estudo realizado por Oliveira *et al.* (2001), o qual trabalhou com extratos nas mesmas condições, obteve-se resultados semelhantes para a condutividade, apresentando um aumento significativo ao utilizar extratos de moringa em suas amostras. A condutividade elétrica aumentou devido à possível introdução de íons na solução através do extrato de MO, que contém substâncias iônicas. Essas substâncias, ao serem adicionadas à solução, contribuem diretamente para o aumento da condutividade.

Figura 21 – Gráfico de superfície de resposta para condutividade da água 1.



Fonte: Autoria própria (2024).

Como mencionado, a influência do tempo é insignificante. Ao analisar a variação do tempo de reação do nível menos (15 min) para nível mais (30 min) com uma concentração de 5 g/L, o valor permanece praticamente constante, conforme destacado pela escala gráfica e pelo eixo, que se mantêm inalterados. Já para a concentração de 10 g/L, ocorre um aumento leve, conforme verificado pelos mesmos critérios.

Ao considerar os resultados visuais e numéricos para o efeito da concentração, o aumento é significativo. Ao passar da concentração do nível menos (5 g/L) para o nível mais (10 g/L) em 15 min, o aumento é notável, evidenciado pelo deslocamento da escala e pela inclinação do eixo. Para o tempo de 30 minutos, o resultado é ainda maior.

Apesar de ocorrer um aumento na condutividade com o aumento da concentração do extrato, os valores permanecem inferiores à condutividade da água sem coagulante. Isso é considerado um aspecto positivo, pois sugere que todos os tratamentos resultam em uma

redução da condutividade da água, indicando a remoção de espécies iônicas inicialmente presentes.

O maior valor de redução da condutividade para amostra A1 após o tratamento com extrato coagulante, destacou-se no ensaio 2 (30 min e 5g/L) apresentando o melhor resultado, tendo uma redução de 7,08 %. A redução percentual foi determinada ao comparar os valores de condutividade entre as amostras com e sem adição do coagulante.

5.2.3.2 Água 2

Diante dos resultados, como mostrado na Tabela 17, obteve-se os efeitos de primeira e segunda ordem, os efeitos de interação, erro e produto do erro pelo t de student, conforme indicado na Tabela 18.

Tabela 17 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2^2 com repetição em relação a condutividade.

Ensaios	Resposta 1	Resposta 2	Média ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Desvio Padrão
1	620,30	614,30	617,30	3,00
2	611,30	611,00	611,15	0,15
3	655,70	652,00	653,85	1,85
4	657,30	655,70	656,50	0,80

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 18 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.

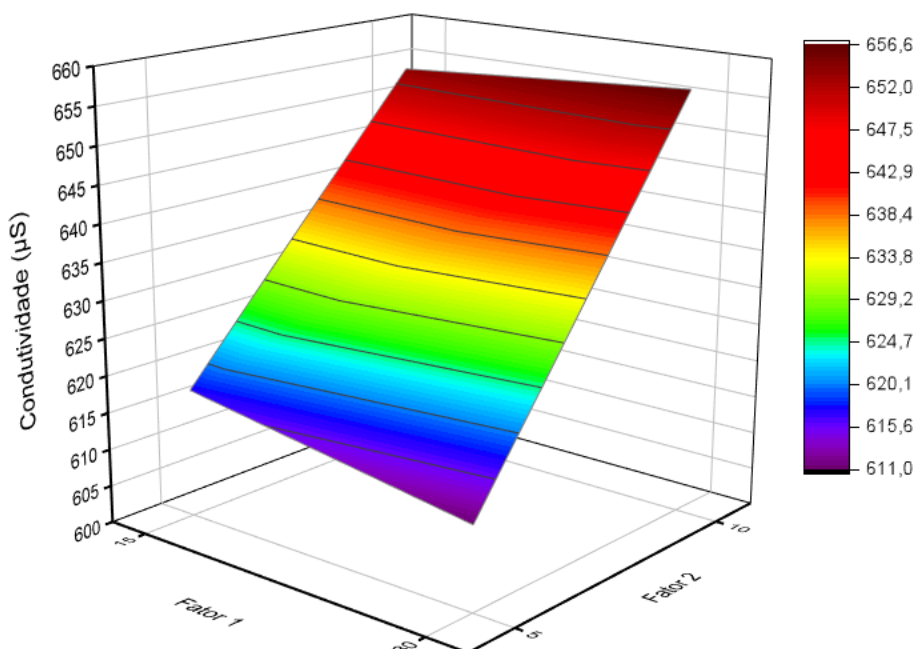
Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
-1,75	40,95	4,40	1,8087	5,0226

Fonte: Autoria própria (2024).

Verificando os dados fornecidos, o efeito 1 (tempo de homogeneização) e o efeito de interação 12 (tempo de homogeneização e concentração do extrato), as variáveis não tiveram impacto relevante nas respostas, logo que são valores inferiores em módulo ao produto do erro pelo t de student. Por outro lado, o efeito relevante e significativo é o efeito 2 (concentração do extrato), como anteriormente observado, exercendo uma influência significativa no aumento da condutividade, esse aumento é observado diante do valor do efeito 2, que é positivo e muito maior que o produto do erro pelo t de student (ver figura 21).

Isso confirma os achados de Oliveira *et al.* (2011), que indicam que a concentração dos extratos de MO afeta a condutividade, resultando em um aumento de seu valor.

Figura 22 – Gráfico de superfície de resposta para condutividade da água 2.



Fonte: Autoria própria (2024).

A interferência do tempo é mínima. Ao analisar a variação do tempo de reação do nível menos (15 min) para o nível mais (30 min) com uma concentração de 5 g/L, observa-se uma diminuição, para a concentração de 10 g/L verifica-se um leve aumento, conforme indicado pela escala gráfica e pelo eixo, que apresentam uma inclinação sutil. Quando consideramos os resultados para o efeito da concentração, o aumento é significativo. Ao passar da concentração do nível menos (5 g/L) para o nível mais (10 g/L) em 15 e 30 minutos, observa-se um aumento notável, com um comportamento praticamente idêntico para ambos os períodos, evidenciado pelo deslocamento da escala e pela inclinação do eixo.

Diante da diminuição ou aumento na condutividade, ao aumentar a concentração do extrato, os valores mantem-se inferiores à condutividade da água sem coagulante. Considerando-se um ponto satisfatório, pois implica que todos os tratamentos resultaram na diminuição da condutividade da água ao comparar com o valor desse parâmetro sem o tratamento.

Verificando quais foram o melhor ensaio em termos de maior redução da condutividade para a amostra A2 após o tratamento com extrato coagulante, constatou-se que o ensaio 2 (30 min e 5g/L) adquiriu o melhor efeito, com uma redução de 19,69 %.

5.2.4 Salinidade

Ao obter os dados de cada teste de salinidade (ppt), para duas amostras de água distintas, foi possível realizar os cálculos para determinar os efeitos de primeira e segunda ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo t de student.

5.2.4.1 Água 1

Após examinar os resultados da salinidade obtidos em cada ensaio (ver Tabela 19), foram identificados e determinados os efeitos de primeira ordem, os efeitos de interação, o erro, e o produto do erro pelo t de Student (ver Tabela 20). Essa análise permitiu compreender as influências e relações entre as variáveis estudadas.

Tabela 19 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2² com repetição em relação a salinidade.

Ensaios	Resposta 1	Resposta 2	Média (ppt)	Desvio Padrão
1	0,31	0,31	0,31	0,00
2	0,31	0,31	0,31	0,00
3	0,33	0,32	0,33	0,00
4	0,34	0,34	0,34	0,00

Fonte: Autoria própria (2024).

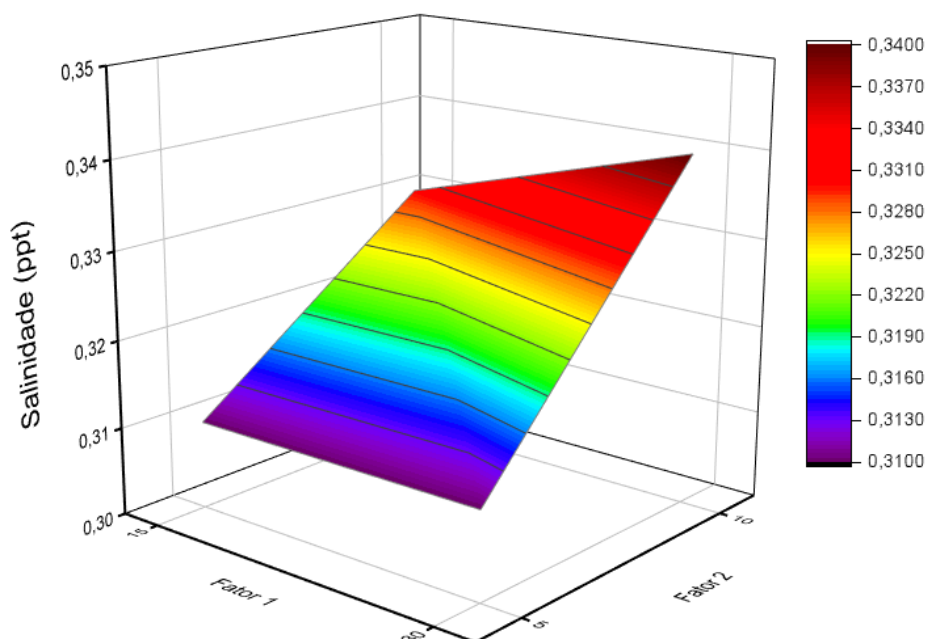
Tabela 20 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.

Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
0,0075	0,0225	0,0075	0,0025	0,0069

Fonte: Autoria própria (2024).

Após verificar os dados fornecidos anteriormente, é evidente que as respostas dos ensaios permaneceram consistentes; o efeito 1 (tempo de reação) e o efeito de interação 12 não apresentaram influência significativa nas respostas por apresentarem seus valores na mesma ordem de grandeza do produto do erro pelo t de student. Já o efeito 2 (concentração do extrato), por ter uma magnitude apenas um pouco superior ao produto do erro pelo t de student, não exerce uma influência tão significativa nas respostas, como ocorreu em outros parâmetros. Isso sugere que as variáveis não exerceram uma influência significativa no tratamento. Esse comportamento pode ser melhor visualizado na Figura 22.

Figura 23 – Gráfico de superfície de resposta para salinidade da água 1.



Fonte: Autoria própria (2024).

A salinidade foi um parâmetro que sofreu pouca influência durante o tratamento. Ao analisarmos o tempo de reação, ao passar do nível menos (15 min) para o nível mais (30 min) com uma concentração de 5 g/L, percebe-se que praticamente não houve diferença, como indicado pela escala de cor constante. Por outro lado, ao analisarmos o mesmo intervalo de tempo com uma concentração de 10 g/L, notamos um aumento mais visível, ainda que pequeno, como evidenciado pela inclinação do eixo e pela mudança de cor no gráfico.

Durante um período de 15 min, foi observado um leve aumento na concentração ao passar do nível menos de 5 g/L para o nível mais de 10 g/L. Após esse intervalo, em 30 min, percebeu-se um aumento mais expressivo, indicando uma tendência de crescimento mais pronunciada ao longo do tempo. Diante desse comportamento, ainda foram observados valores inferiores ao da salinidade da água bruta, implicando que o tratamento contribuiu para a redução da salinidade.

Examinando os dados para identificar qual foi ensaio mais eficaz em termos redução da salinidade para amostra A1 após o tratamento com extrato coagulante, o ensaio 1 (15 min e 5g/L) e ensaio 2 (30 min e 5 g/L) revelaram o mesmo resultado. Apesar disso, tornou-se possível verificar que o ensaio 1 é mais vantajoso em termos da redução do tempo, atingindo o mesmo resultado com a redução de 18,42 %.

5.2.4.2 Água 2

Os resultados de cada ensaio (consulte Tabela 21), foram analisados para determinar os efeitos de primeira e segunda ordem, interação e erro, assim como o produto do erro pelo t de Student (consulte Tabela 22).

Tabela 21 – Respostas e médias para o planejamento fatorial 2² com repetição em relação a salinidade.

Ensaios	Resposta 1	Resposta 2	Média (ppt)	Desvio Padrão
1	0,32	0,32	0,32	0,00
2	0,32	0,32	0,32	0,00
3	0,34	0,34	0,34	0,00
4	0,35	0,34	0,35	0,00

Fonte: Autoria própria (2024).

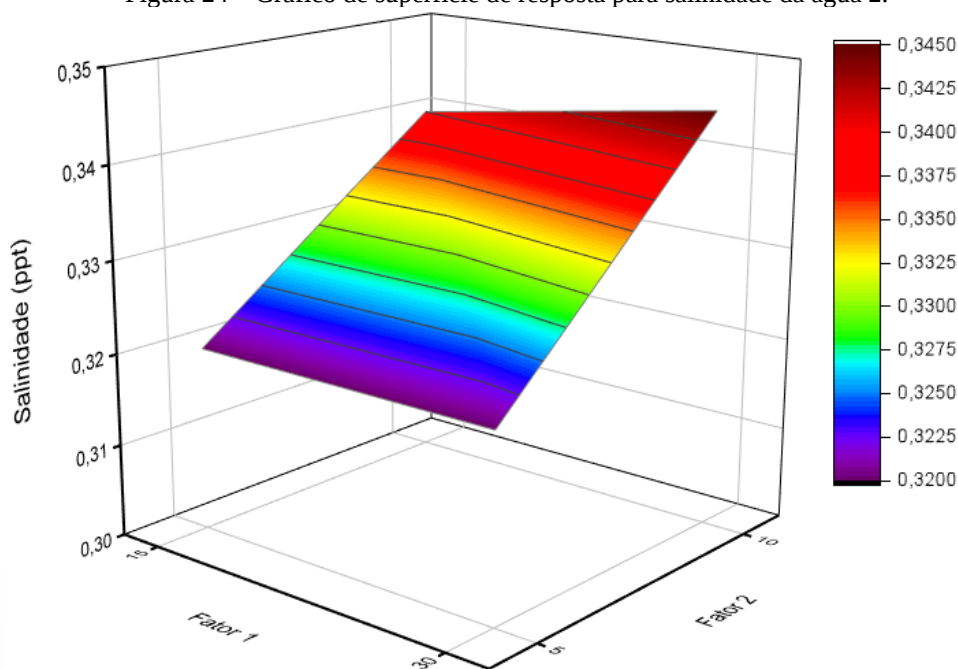
Tabela 22 – Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.

Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
0,0025	0,0225	0,0025	0,0025	0,0069

Fonte: Autoria própria (2024).

Observa-se que a água 2 exibiu um comportamento similar, com os valores permanecendo praticamente inalterados. Ao analisar os efeitos individualmente, nota-se que o efeito 1 (tempo de reação) não teve influência significativa, assim como o efeito 2 (concentração da suspensão). Além disso, a interação entre os efeitos ainda é menor que o produto do erro pelo teste t de Student. O comportamento das interações não demonstrou relevância, indicando que as variáveis não afetaram significativamente a salinidade (Figura 23).

Figura 24 – Gráfico de superfície de resposta para salinidade da água 2.



Fonte: Autoria própria (2024).

Ao comparar os intervalos entre o nível menos (15 min) para o nível mais (30 min) na concentração de 5 g/L, observa-se que o valor permanece constante. Entretanto, para a concentração de 10 g/L, há um leve aumento. Quanto à concentração, observa-se um aumento ao transitar do nível menos (5 g/L) para o nível mais (10 g/L) em 15 minutos. Para o tempo de 30 minutos, há um aumento ainda maior. Embora o planejamento mostre que os efeitos causaram aumento da salinidade, ainda foram obtidos valores inferiores ao da salinidade da água bruta, o que é um resultado satisfatório, evidenciando que o extrato favoreceu a redução de forma geral.

Ao verificar qual foi o melhor ensaio em termos de maior redução da salinidade para a amostra A2 após o tratamento com extrato coagulante, constatou-se que o ensaio 1 (15 min e 5 g/L) e o ensaio 2 (30 min e 5 g/L) apresentaram o mesmo resultado. No entanto, pode-se inferir que o ensaio 1 é mais eficaz em termos de redução do tempo, obtendo o mesmo resultado com uma redução de 20 %.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o trabalho realizado, pôde-se determinar as condições ideais de extratos coagulantes para o tratamento de água cinza, com o auxílio das seguintes caracterizações de condições quantitativa: turbidez, pH, condutividade e salinidade, juntamente com o planejamento fatorial 2^2 com repetição.

Ao implementarmos o planejamento fatorial proposto, torna-se evidente que as caracterizações realizadas revelaram aspectos a serem abordados:

- No que se refere a turbidez, foram alcançados resultados bastante significativos e positivos. Constatou-se que a concentração do extrato MO causa uma redução na turbidez, quanto maior foi a concentração obteve-se maiores reduções deste parâmetro o que é interessante para o tratamento de efluentes. Ao considerar quais foram os melhores ensaios para as amostras de água 1 e 2, em ambas as amostras, observou-se que o ensaio 4(30 minutos e 10 g/L) foi o melhor, com uma diminuição de 75,75 % e 35,28 %, respectivamente.
- De maneira geral, independente dos fatores o pH não sofreu alteração brusca no valor, indicando que o extrato de *Moringa oleifera* não influencia diretamente o pH. Ainda podemos observar que o ensaio mais eficaz para a água 1 foi o ensaio 2 (30 minutos e 5g/L), com uma redução de 6,32 %. Já para a água 2, o melhor desempenho foi obtido no ensaio 3 (15 minutos e 10g/L), apresentando uma redução de 6,34 %.
- Analisando a condutividade, a concentração do extrato mostrou-se como o principal motivo para o aumento da condutividade. No entanto, ainda apresentou valores inferiores ao da amostra bruta, implicando que todos os tratamentos contribuíram para a redução. Verificou-se que o melhor ensaio, tanto para A1 como para A2, foi o ensaio 2 (30 min e 5 g/L), com redução de 7,08 % e 19,69 %, respectivamente.
- Em relação à salinidade, constatou-se que a variação na concentração do extrato teve influências nos valores obtidos, causando um leve aumento tanto para água 1 como para água 2. Ainda assim, é evidente que foram obtidos valores inferiores aos da água bruta, o que é interessante para o tratamento. Destacando os melhores ensaios tanto para A1 como para A2, o melhor foi o ensaio 1 (15 minutos e 5 g/L) com uma taxa de redução de 18,42 % e 20 %, respectivamente.
- A água cinza utilizada, designada como água 1 (de maior turbidez) e água 2 (de menor turbidez), exibiu características distintas em seus parâmetros, visando avaliar o

desempenho do tratamento. Observou-se que o tratamento alcançou resultados superiores para a água 1, que apresentava parâmetros iniciais mais elevados, resultando em taxas de diminuição mais significativas. Em relação à água 2, houve uma redução na turbidez, embora de magnitude menor, e, em alguns casos, o tratamento tenha aumentado a condutividade. No entanto, em ambas as amostras, os valores finais para todos os parâmetros foram inferiores aos valores iniciais.

Portanto, pode-se concluir que o planejamento fatorial 2^2 com repetição foi essencial para definir quais eram as melhores condições de concentrações e de tempo de homogeneização, para o tratamento de água cinza, utilizando o extrato coagulante de *Moringa oleifera* em cada parâmetro. Evidenciando a aplicabilidade do extrato de MO para o tratamento de água cinza.

Com base em todas as informações apresentadas anteriormente, é possível determinar os melhores ensaios levando em consideração todas as caracterizações discutidas. Analisando todos os parâmetros é possível determinar que o parâmetro que teve a melhor resposta ao tratamento foi a turbidez, tendo uma redução muito significativa, portanto sugere-se que para o tratamento de água nessas circunstâncias, seja utilizado as condições do ensaio 4 (30min e 10 g/L), que obteve o efeito mais significativo. Um dos ensaios relacionados ao pH demonstrou ser o mais eficaz, porém não apresentou significância, o tratamento não exerceu influência perceptível sobre o pH. O comportamento da condutividade e salinidade após o tratamento, indica que apesar de ter havido um aumento nesses parâmetros, a água tratada ainda estava com níveis mais baixos do que os registrados antes do tratamento.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington: APHA. 2005.

ANA - Agência Nacional de Águas, Reúso d'água: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-03/brasil-carece-de-legislacao-para-reuso-de-agua-diz-coordenador-da-ana> 2017. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-03/brasil-carece-de-legislacao-para-reuso-de-agua-diz-coordenador-da-ana> Acesso em: 20 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.969/97: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AUGUSTO, Lia Giraldo da Silva; GURGEL, Idê Gomes Dantas; CÂMARA NETO, Henrique Fernandes; MELO, Carlos Henrique de; COSTA, André Monteiro. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1511-1522, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232012000600015>.

AUTOMARE, Marcio Miguel. Água: a escolha da ciência. 2015. Disponível em: BALBINOTI, J. R.; BEGHETTO, C. L.; SILVA, L. A.; CORAL, L. A.; BASSETTI, F. J. Uso de sementes de Moringa oleifera como agente coagulante para o tratamento de água. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 11, n. 5, p. 1748-1760, 2018.

BARROS NETO, Benício de *et al.* **COMO FAZER EXPERIMENTOS**: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2. ed. Campinas: Unicamp, 2001. 412 p.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J. Improvement of water treatment pilot plant with Moringa oleifera extract as flocculant agent. *Environmental Technology*, London, v. 30, n.6, p.525-534, maio. 2009. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09593330902831176> >. Acesso em: 10 julho. 2023.

BOHN, Fernando Pudell. TRATAMENTO DO EFLUENTE GERADO NA LAVAGEM DE VEÍCULOS. 2014. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2014.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. N.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2005.

BRASIL. Lei 6.938/81 - Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 21 de out. de 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade de água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2011.p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas (ANA). Cadernos de Recursos hídricos. Brasília, ANA, 2005. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/01%20Disponibilidade%20e%20Demandas/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>.

BRASIL, RESOLUÇÃO Nº 54, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005. Estabelecer modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reúso direto não potável de água em todo o território nacional.

BRASIL. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** 2011. Disponível em: <https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 05 nov. 2023.

BRASIL. **Estudo do Governo Federal mostra que Brasil tem 753,2 mil km de redes de distribuição de água e 365 mil km de redes de esgoto.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2022/12/estudo-do-governo-federal-mostra-que-brasil-tem-753-2-mil-km-de-redes-de-distribuicao-de-agua-e-365-mil-km-de-redes-de-esgoto>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CACHEIRA, Catarina Seabra. **Processo de COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO.** 2012. 7 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Engenharia Ambiental, Universidade do Porto Faculdade de Engenharia, Portugal, 2012. Cap. 1. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/bestof/12_13/files/REL_MIEA102_02.PDF. Acesso em: 04 nov. 2022.

CARDOSO, Karina Cordeiro *et al.* Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera Lam. **Acta Scientiarum. Technology**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 193-198, 20 out. 2008. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v30i2.5493>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3032/303226522010.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.

CARVALHO, Maria José Herkenhoff. **USO DE COAGULANTES NATURAIS NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL.** 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CORAL, Rosangelal. A. et al. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. 2019. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20Bassetti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>. Acesso em: 17 set. 2022.

CORREA, M Pereira. Dicionário das Plantas Úteis do Brasil e das Exóticas Cultivadas. Volume V. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal: Rio de Janeiro, 1984.

CERRUTTI, Bianca Machado. **Estabilização de suspensões aquosas de alumina pela adição de taninos e quitosana quaternizada**. 2005. 96 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Química, Ciências (Físico-Química), Estabilização de Suspensões Aquosas de Alumina Pela Adição de Taninos e Quitosana Quaternizada, São Carlos, 2005. Cap. 3.

DA SILVA, F. J. A.; DE MATOS, J. E. X. Sobre dispersões de moringa oleifera para tratamento de água. **Revista Tecnologia**, [S. l.], v. 29, n. 2, 2009. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/30>. Acesso em: 20 out. 2023.

FERNANDES, Neusa Margarete Gomes *et al.* Influência do pH de coagulação e da dose de sulfato de alumínio na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração direta descendente. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 375-384, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522010000400010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/qjc6TXCqSjbgyt8k53kS39F/?lang=pt>. Acesso em: 20 out. 2022.

FRANCA, Carlos Laécio Evangelista; AMORIM, Miriam Cleide Cavalcante de; OLSZEWSKI, Nelci; BELÉM, Clérison dos Santos. Uso de água cinza tratada na irrigação de frutícola no semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 167-177, 1 jul. 2022. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v17i3.9330>.

GALLÃO, Maria Izabel; DAMASCENO, Leandro Fernandes; BRITO, Edy Sousa de. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. *Revista Ciência Agronômica*, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

GUEYRARD, D. *et al.* First synthesis of an O-glycosylated glucosinolate isolated from *Moringa oleifera*. *Tetrahedron Letters*, London, v. 41, n. 43, p. 8307–8309, Oct. 2000.

GAAYDA, Jamila El *et al.* Optimization of turbidity and dye removal from synthetic wastewater using response surface methodology: effectiveness of moringa oleifera seed powder as a green coagulant. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 106988, 4 fev. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2021.106988>.

LERVOLINO, Luiz Fernando. **Portal tratamento de água: sedimentação**. Sedimentação. 2022. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/sedimentacao/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Demográfico 2010. Resultados Preliminares do Universo. Rio de Janeiro: 2011.

KONRADT-MORAES, Leila Cristina *et al.* Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 167-170, 12 jul. 2010. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v32i2.8238>.

KURNIAWAN, T., LO, W., & CHAN, G. (2006). *Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate*. *Journal of Hazardous Materials*, 129(1-3), 80–100. doi:10.1016/j.jhazmat.2005.08.010

Lee, C. S., Robinson, J., & Chong, M. F. (2014). *A review on application of flocculants in wastewater treatment*. *Process Safety and Environmental Protection*, 92(6), 489–508. doi:10.1016/j.psep.2014.04.010

LIMA JÚNIOR, Raimundo N.; ABREU, Flávia O. M. da S.. Natural Products Used as Coagulants and Flocculants for Public Water Supply: a review of benefits and potentialities. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 709-735, 2018. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180052>.

GOMES, Leonardo de Aquino. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DOS REAGENTES AMIDO E AMINA NO PROCESSO DE FLOTAÇÃO INVERSA PARA RECUPERAÇÃO METALÚRGICA DE MINÉRIO DE FERRO: UMA ABORDAGEM VIA EXPERIMENTO FATORIAL**. 2016. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Exatas, Departamento de Estatística, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Cap. 2. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-AZVF64>. Acesso em: 20 mar. 2024.

MARIN-MORALES, Maria Aparecida; ROBERTO, Matheus Mantuanelli; ANGELIS, Dejanira de Franceschi de; ANGELIS, Derlene Attili de. Importância da água para a vida e garantia de manutenção da sua qualidade. Paulínia, p. 1-14, out. 2016. Disponível em: conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/10-importancia-da-agua-para-a-vida-e-garantia-de-manutencao-da-sua-qualidade.pdf. Acesso em: 19 maio 2022.

OLIVEIRA, Luana Loren Corrêa *et al.* ANÁLISE DA TAXA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ EM ÁGUAS NATURAIS UTILIZANDO-SE EXTRATO DE SEMENTES DE *Moringa oleifera* Lam1. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (Rbas)**, Paracatu, v. 1, n. 1, p. 204-210, jul. 2011.

ONU - Organização mundial das nações unidas, Consumo vampírico está POZZEBON, Pedro Henrique Bürger. **VIABILIDADE TÉCNICA, ECÔNOMICA E SOCIAL DO APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS DE CHUVAS E CINZAS PARA O CONSUMO NÃO POTÁVEL NA CIDADE DE SANTA MARIA/RS**. 2013. 193 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria /Rs, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7818/Pozzebon%2c%20Pedro%20Henrique%20Burger.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 maio 2023.

RIBEIRO, Ana Teresa Alves. **APLICAÇÃO DA MORINGA OLEIFERA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**: remoção de poluentes por coagulação-floculação. 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Engenharia Ambiental, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2010. Cap. 3. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59823/1/000142851.pdf>. Acesso em: 02 out. 2022.

SANTOS, Allívia Rouse dos. **DESENVOLVIMENTO INICIAL DE Moringa oleifera Lam. SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE**. 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.

SANTOS, Andréa; LUZ, Luciana; PONTUAL, Emmanuel; NAPOLEÃO, Thiago; PAIVA, Patrícia; COELHO, Luana. Moringa oleifera: resource management and multiuse life tree. **Advances In Research**, [S.L.], v. 4, n. 6, p. 388-402, 10 jan. 2015. Sciencedomain International. <http://dx.doi.org/10.9734/air/2015/18177>.

SIGUEMOTO, Érica Sayuri. **Composição nutricional e propriedades funcionais do murici (Byrsonima crassifolia) e da moringa (Moringa oleifera)**. 2013. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Nutrição, Nutrição em Saúde, Universidade de São Paulo Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2013. Cap. 1.

SILVA, Cleuza Aparecida da. Estudos aplicados ao uso da Moringa oleifera como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SILVA, Fernando José Araújo da; MATOS, José Everardo Xavier de. Sobre dispersões de moringa oleifera para tratamento de água. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 29, p. 157-163, dez. 2008.

SILVA, Francisca Joseane De Souza *et al.* **Poluição da água: o descarte incorreto de resíduos laboratoriais**. Anais III CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2016. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2016/TRABALHO_EV056_MD4_SA10_ID4062_15082016194115.pdf. Acesso em: 30 out. 2022.

SILVEIRA, Mirella Klausen 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. TCC (Graduação) - Curso de M Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2021

United Nations, The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. UNESCO, Paris, 2022.

United Nations, The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. UNESCO, Paris, 2021.

ZUFFO, Antonio Carlos; VEIGA JUNIOR, Alceu de Arruda. **Sistemas de Reuso de Água**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 200 p.

JUNHO, Alana Lopes; SANTOS, Ivan Felipe Silva dos; SILVA, Athos Moisés Lopes; BARROS, Regina Mambeli. Avaliação da eficiência do tratamento de águas cinzas utilizando sementes de Moringa oleifera sob diferentes metodologias de ensaio. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 2-3, 6 dez. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.8136>.

OLIVEIRA, Luana Loren Corrêa *et al.* ANÁLISE DA TAXA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ EM ÁGUAS NATURAIS UTILIZANDO-SE EXTRATO DE SEMENTES DE Moringa oleifera Lam. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (Rbas)**, Paracatu, v. 1, n. 1, p. 205-210, jul. 2001.