



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

Bruno Santiago Arcanjo

Uso de extrato salino da *Moringa oleifera* para o tratamento de águas cinzas

CARAÚBAS

2024

Bruno Santiago Arcanjo

Uso de extrato salino da *Moringa oleifera* para o tratamento 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 tomar-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.

A668u Arcanjo, Bruno Santiago.

Uso de extrato salino da Moringa oleifera para o tratamento de águas cinzas / Bruno Santiago Arcanjo. - 2024.

77 f. : il.

Orientador: Daniel Freitas Freire Martins.
Monografia (graduação) - Universidade Federal

Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2024.

1. sustentabilidade. 2. sedimentos. 3. coloides. 4. recuperação. 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.

Bruno Santiago Arcanjo

Uso de extrato salino da *Moringa oleifera* para o tratamento 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

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me dado forças durante essa jornada e pelas bênçãos concebidas a min e a minha família especialmente nos últimos anos.

A minha mãe Maria das Dores e meu pai Sebastião Ferreira, pelo amor e carinho dedicados a min durante anos, a presença constante e o apoio incondicional, moldaram a minha existência e me proporcionaram valiosas lições de vida.

Ao meu orientador e amigo, Daniel Freitas Freire Martins, pela disponibilidade em aceitar o convite para me orientar. Obrigado por todos os ensinamentos, conselhos, paciência, dedicação e momentos de risos compartilhados, e por demonstrar que a experiência universitária transcende os limites da sala de aula.

A minha amiga e colega de laboratório, Mariane Ferreira, pelo empenho, dedicação e compartilhamento de conhecimento durante meses da pesquisa, foi extremamente gratificante contar com a colaboração de alguém tão determinada.

Aos meus grandes amigos, Daniel Santos, Abinoã Praxedes, Eduarda Brasiliano, Wallas Maike. Compartilhamos diversos momentos de alegria e descontração, e é inegável que a presença de vocês foi indispensável para tornar esta jornada mais tranquila e ainda mais divertida.

Agradeço ao Grupo de Pesquisa em Química Ambiental e Tecnológica (GPQAT) pela oportunidade de integrar esta equipe, cujos membros contribuíram significativamente para o meu crescimento acadêmico e pessoal por meio do compartilhamento de conhecimentos e experiências.

A banca examinadora pela disponibilidade e colaboração para a análise desse trabalho, e a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), pelos conhecimentos recebidos durante essa trajetória.

Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.

Martin Luther King

RESUMO

A água é um recurso vital para a sustentação da vida na Terra, sendo essencial tanto para organismos humanos quanto para a flora e a fauna. No entanto, à medida que o tempo avança, sua disponibilidade diminui, em grande parte devido ao consumo excessivo e à distribuição desigual geograficamente. Um dos principais desafios é a poluição dos corpos d'água, o que agrava ainda mais essa situação. Diante desse cenário, torna-se essencial buscar alternativas eficazes para o tratamento da água, visando aprimorar sua qualidade e garantir sua disponibilidade para as gerações futuras. A coagulação é um processo amplamente empregado no tratamento de efluentes, sendo utilizado em grande maioria coagulantes químicos, os quais, geram resíduos tóxicos após a realização do tratamento. Visando uma alternativa sustentável no tratamento de água, o presente trabalho utilizou coagulantes de *Moringa oleifera* em solução aquosa NaCl 1 mol/L no tratamento de água cinza. Duas amostras de água com turbidez diferentes foram coletadas e submetidas a uma caracterização físico-química, para uma avaliação da capacidade de coagulação dos extratos de *Moringa oleifera*. Para produzir os extratos coagulantes, as sementes de *Moringa oleifera* foram descascadas, trituradas, pesadas e dissolvidas em solução aquosa de NaCl 1 mol/L, resultando em coagulantes com diferentes concentrações. Posteriormente, os coagulantes foram aplicados nas amostras de água cinza tendo como base o planejamento fatorial 2^2 com repetição. Após a aplicação, os parâmetros de turbidez, pH, salinidade e condutividade foram analisados para avaliar os efeitos do tratamento. Em relação à turbidez, os resultados mais eficazes na remoção desse parâmetro foram observados nas amostras com turbidez mais elevada. Não foram identificadas alterações significativas no pH nas análises pós-tratamento das duas amostras. Por outro lado, os valores de salinidade e condutividade aumentaram em relação aos valores iniciais, possivelmente devido à utilização dos coagulantes dissolvidos em solução aquosa de NaCl 1 mol/L.

Palavras-chave: sustentabilidade; sedimentos; coloides; recuperação.

ABSTRACT

Water is a vital resource for sustaining life on Earth, being essential for both human organisms and flora and fauna. However, as time progresses, its availability decreases, largely due to excessive consumption and geographically unequal distribution. One of the main challenges is water bodies pollution, which further exacerbates this situation. Given this scenario, it becomes essential to seek effective alternatives for water treatment, aiming to enhance its quality and ensure its availability for future generations. Coagulation is a widely employed process in effluent treatment, with chemical coagulants being predominantly used, which generate toxic residues after the treatment process. Aiming for a sustainable alternative in water treatment, the present work used *Moringa oleifera* coagulants in 1 mol/L NaCl aqueous solution in the treatment of gray water. Two samples of water with different turbidity levels were collected and subjected to a physicochemical characterization to assess the coagulation capacity of *Moringa oleifera* extracts. To produce the coagulant extracts, the seeds of *Moringa oleifera* were peeled, crushed, weighed, and dissolved in a 1 mol/L NaCl aqueous solution, resulting in coagulants with different concentrations. Subsequently, the coagulants were applied to the gray water samples based on the 2² factorial design with repetition. After application, the parameters of turbidity, pH, salinity and conductivity were analyzed to evaluate the effects of the treatment. Regarding turbidity, the most effective results in removing this parameter were observed in samples with higher turbidity levels. No significant changes in pH were identified in the post-treatment analyses of the two samples. On the other hand, salinity and conductivity values increased compared to the initial values, possibly due to the use of coagulants dissolved in a 1 mol/L NaCl aqueous solution.

Keywords: sustainability; sediments; colloids; recovery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formas de reutilização de água não potável.	20
Figura 2 - <i>Moringa oleifera</i>	26
Figura 3 - Vagem e sementes de <i>Moringa oleifera</i>	27
Figura 4 - Vagem da <i>Moringa oleifera</i>	28
Figura 5 - Configuração do glucosinolato presente na semente de moringa.	29
Figura 6 - Descrição do procedimento experimental.	32
Figura 7 - Pó das sementes	34
Figura 8 - Água cinza após a coleta.	35
Figura 9 - Sonda multiparâmetro utilizada nos experimentos	36
Figura 10 - pHmetro utilizado nos experimentos	36
Figura 11 - Turbidímetro utilizado nos experimentos	37
Figura 12 - Amostra em agitação	39
Figura 13 - Teste de Tukey em relação a turbidez da água 1	44
Figura 14 - Teste de Tukey em relação ao pH da água 1	45
Figura 15 - Teste de Tukey em relação a salinidade da água 1.	45
Figura 16 - Teste de Tukey em relação a condutividade da água 1	46
Figura 17 - Teste de Tukey em relação a turbidez da água 2.	47
Figura 18 - Teste de Tukey em relação ao pH da água 2.	48
Figura 19 - Teste de Tukey em relação a salinidade da água 2.	49
Figura 20 - Teste de Tukey em relação a condutividade da água 2	50
Figura 21 - Gráfico de superfície de resposta referente a turbidez da água 1 pós-tratamento.	53
Figura 22 - Gráfico de superfície de resposta referente a salinidade da água 1 pós-tratamento	56
Figura 23 - Gráfico de superfície de resposta referente a condutividade da água 1 pós-tratamento.	58
Figura 24 - Gráfico de superfície de resposta referente a turbidez da água 2 pós-tratamento	60
Figura 25 - Gráfico de superfície de resposta referente a salinidade da água 2 pós-tratamento	63
Figura 26 - Gráfico de superfície de resposta referente a condutividade da água 2 pós-tratamento	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Fatores e níveis utilizados no experimento.....	37
Tabela 2 - Coeficientes de contraste para um planejamento fatorial 2^2	38
Tabela 3 - Ensaios para o planejamento fatorial 2^2	38
Tabela 4 - Caracterização das amostras de água	41
Tabela 5 - Amostras da água 1 após o tempo de homogeneização.....	43
Tabela 6 - Amostras da água 2 após o tempo de homogeneização.....	47
Tabela 7 - Fatores e níveis utilizados no experimento.....	50
Tabela 8 - Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação a turbidez.	51
Tabela 9 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação a turbidez.	52
Tabela 10 - Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação ao pH.	54
Tabela 11 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação ao pH	54
Tabela 12 - Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação a salinidade	55
Tabela 13 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.	55
Tabela 14 - Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação a condutividade.	57
Tabela 15 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à condutividade.	57
Tabela 16 - Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação a turbidez.	59
Tabela 17 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à turbidez	59
Tabela 18 - Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação ao pH.	61
Tabela 19 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação ao pH.....	61

Tabela 20 - Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação a salinidade.	62
Tabela 21 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação a salinidade	62
Tabela 22 - Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação a condutividade.	63
Tabela 23 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação a condutividade.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Equipamentos utilizados nos experimentos.	33
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
μS	Micro Siemens
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
kDa	Kilodalton
NaCl	Cloreto de Sódio
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppt	Partes por trilhão
rpm	Rotações por Minuto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1	IMPORTÂNCIA DA ÁGUA	17
3.2	CONTEXTO HÍDRICO GLOBAL	17
3.3	CONTEXTO HÍDRICO NO BRASIL.....	18
3.4	ESCASSEZ HÍDRICA NO NORDESTE.....	18
3.5	IMPACTOS DA ESCASSEZ HÍDRICA NO MUNDO	19
3.6	REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA	19
3.7	POLUIÇÃO HÍDRICA NO MUNDO	20
3.8	POLUIÇÃO HÍDRICA NO BRASIL	21
3.9	TIPOS DE POLUIÇÃO	21
3.10	A ÁGUA CINZA	22
3.11	TRATAMENTO DE ÁGUA.....	23
3.12	TIPOS DE TRATAMENTO	23
3.13	PROCESSO DE COAGULAÇÃO	24
3.14	TIPOS DE COAGULANTES	25
3.15	COAGULANTES QUÍMICOS	25
3.16	COAGULANTES NATURAIS	25
3.17	A <i>MORINGA OLEIFERA</i>	26
3.18	A <i>MORINGA OLEIFERA</i> COMO COAGULANTE NATURAL	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1	EQUIPAMENTOS E VIDRARIAS	32
4.2	COLETA E TRATAMENTO DAS SEMENTES	33
4.3	OBTENÇÃO DOS EXTRATOS COAGULANTES.....	34
4.4	COLETA E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA CINZA ANTES E APÓS O TRATAMENTO	35
4.5	REALIZAÇÃO DOS TESTES DE COAGULAÇÃO	37

4.6	ANÁLISE DOS DADOS.....	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA CINZA	41
5.1.1	Características físico-químicas das amostras de água cinza	41
5.2	AMOSTRAS DE ÁGUA SEM APLICAÇÃO DO COAGULANTE.....	43
5.2.1	Água 1 sem a aplicação do coagulante.....	43
5.2.2	Água 2 sem a aplicação do coagulante.....	46
5.3	ÁGUA 1 PÓS-TRATAMENTO	50
5.3.1	Turbidez	51
5.3.2	pH.....	53
5.3.3	Salinidade	54
5.3.4	Condutividade.....	56
5.4	ÁGUA 2 PÓS-TRATAMENTO	58
5.4.1	Turbidez	58
5.4.2	pH.....	60
5.4.3	Salinidade	61
5.4.4	Condutividade.....	63
6	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS	67
	APENDECE A.....	77

1 INTRODUÇÃO

Ao decorrer da história da humanidade, de se tornou cada vez mais importante a disponibilidade e qualidade da água. Com o advento de diversas culturas pelo mundo ficou ainda mais complexo garantir a sobrevivência das sociedades, tendo em vista que os recursos hídricos, além de se tornarem cada vez mais escassos, são utilizados para diversas atividades, como o abastecimento doméstico e industrial, pesca, geração de energia e outras diversas utilidades (Pádua, 2006). Com o crescimento da população urbana, associado a expansão da agricultura e do setor industrial, a demanda por esse recurso natural vem crescendo ao longo dos anos (Bouaroudj *et al.*, 2019).

Em regiões áridas e semiáridas, onde esse recurso é ainda mais escasso, diversas entidades tentam criar formas de disponibilizar água para as populações que habitam essas áreas (Hespanhol, 2002). A dependência de práticas agrícolas que estão sujeitos à disponibilidade de água, em meio à irregularidade das chuvas e às adversidades climáticas do Semiárido, resulta em alta degradação ambiental e vulnerabilidade socioeconômica (Tavares *et al.*, 2019).

O descarte inadequado de efluentes é a principal causa de contaminação da água no Brasil. Aproximadamente 45 % do esgoto diário não recebe tratamento adequado, resultando no despejo de um volume equivalente ao de 6 mil piscinas olímpicas de esgoto nos corpos d'água do país diariamente (Brasil, 2020).

Diante do cenário atual, é preciso procurar alternativas para o tratamento da água visando aumentar o número de indivíduos com acesso a essa substância crucial para a manutenção da vida no planeta. Existe inúmeros métodos de tratamento de efluentes, entre eles a coagulação, que segundo Richter (2009) consiste na adição de substâncias químicas para que ocorra a precipitação dos compostos em solução e instabilidade de suspensões coloidais de partículas sólidas. Os coagulantes são geralmente produtos químicos utilizados para a remoção de sólidos em suspensão na água que não podem ser removidos por outros métodos de tratamento (Marques, 2023).

A *Moringa oleifera* é uma planta originária da Ásia, a mesma tem a capacidade de se adaptar a climas secos e, devido a essas características, essa planta conseguiu se proliferar em diversas regiões pelo globo (Castro; Paulino, 2015). Essas características ajudaram na proliferação da *Moringa oleifera* no Brasil, principalmente no semiárido nordestino, região esta que é caracterizada por períodos de estiagem e elevadas temperaturas em grande parte do ano (Zanella, 2014).

A *Moringa oleifera* é um excelente coagulante natural, sua facilidade de preparo e eficiência, poderá fazer com que esse coagulante seja o substituto do sulfato de alumínio, coagulante químico amplamente utilizado no tratamento de água (Ali *et al.*, 2010). As sementes da *Moringa oleifera*, após serem trituradas e misturadas em águas que apresentam certa turbidez, conseguem coagular e retirar os materiais suspensos presentes na água, alocando-os no fundo do recipiente (Castro; Paulino, 2015).

As sementes de *Moringa oleifera* ainda são capazes de recuperar outros parâmetros da água como pH e condutividade (Frighetto *et al.*, 2007). Ainda segundo o autor, o uso da *Moringa oleifera* como coagulante em regiões tropicais e áridas, onde se concentram problemas de disponibilidade de água potável, além de proporcionar acesso a água de melhor qualidade em períodos escassos, pode ajudar na abertura de novos postos de trabalho nessas regiões, ajudando na manutenção da vida do homem do campo. A utilização de *Moringa oleifera* como coagulante natural é um método viável principalmente para o tratamento de águas residuais e purificação de água de mananciais, uma das principais vantagens é sua baixa toxicidade (Figueiredo *et al.*, 2022).

Dessa forma, se tornar viável o uso dos coagulantes naturais de *Moringa oleifera* para o tratamento de água cinza, sua natureza biodegradável é essencial para evitar resíduos tóxicos provenientes do tratamento, ao contrário ao que ocorre com o uso dos coagulantes químicos. Além disso, abre caminho para uma fonte alternativa de tratamento de água, proporcionando assim uma solução diversificada e sustentável para a população.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a eficiência da utilização de extratos da *Moringa oleifera* obtidos sob diferentes condições como coagulante natural para tratamento de água cinza.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Preparar o extrato coagulante em soluções salinas de NaCl 1,0 mol/L.
- 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 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA

A água é vital para a manutenção da vida, desempenhando um papel fundamental em processos biológicos e ambientais. Sua escassez ameaça ecossistemas, a segurança alimentar, hídrica e a saúde global, destacando a necessidade premente de conservação e o uso sustentável desse valioso recurso. Com grande crescimento da população global ao longo da história, a procura por recursos hídricos se tornou cada vez maior, essa crescente procura ocasionou uma preocupação mundial em garantir disponibilidade desses recursos e uma qualidade aceitável para anteder toda a população do globo. Apesar dessas preocupações, segundo dados da Organização das Nações Unidas - ONU (2023), cerca de 25 % da população mundial não tem acesso a água potável, o que corresponde a quase 2 bilhões de pessoas.

Ao longo dos anos diversas nações e organizações intergovernamentais vem tomando diversas medidas para assegurar a oferta de água. A cúpula das nações unidas em 2015 sobre o desenvolvimento sustentável, criou 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, para serem aplicados até 2030. O objetivo 6 enfatiza a importância em garantir a disponibilidade da água e manejo sustentável e saneamento para todos (ONU, 2015). A ausência de acesso aos serviços de saneamento resulta em sérios problemas na qualidade de vida da população, especialmente entre os indivíduos economicamente desfavorecidos (Arantes, 2010).

3.2 CONTEXTO HÍDRICO GLOBAL

O planeta Terra é carinhosamente chamado de planeta água, mas apesar de conter essa denominação, cerca de 97,5 % da água disponível é salgada, o que é incompatível para os seres humanos, restando assim apenas 2,5 % de água doce no mundo (Rebouças, 2003). No entanto a grande maioria desse recurso está localizada nas calotas polares, o que inviabiliza o uso para a população global (Suassuna, 2004). À medida que atravessam fronteiras em forma de rios, muitos recursos hídricos são empregados para diversas finalidades, como transporte, geração de energia, irrigação, turismo, e delimitação de fronteiras (Pinto, 2017).

O aumento populacional eleva a demanda por água para consumo, agricultura e indústria, acarretando uma corrida sobre os recursos hídricos limitados. Devido ao grande crescimento da população global, os reservatórios naturais não conseguem suprir a alta demanda, fazendo com que os sistemas de abastecimentos tenham níveis cada vez mais baixos (UN WATER, 2021). A análise da distribuição hídrica deve considerar também os fatores políticos, além de desigualdades naturais e impactos das mudanças climáticas, na atual crise hídrica global (Pinto, 2017).

3.3 CONTEXTO HÍDRICO NO BRASIL

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (2016), a média anual de quantidade de água por habitante no planeta é de 6 mil metros cúbicos por ano. Ainda segundo a agência, nos países da América Latina e Caribe, esse valor é mais de quatro vezes a média global, aproximadamente 28 mil m³/habitante/ano.

Segundo o Banco Mundial (2016a), o Brasil é um dos países de maior disponibilidade hídrica do mundo, mas apesar dessa característica, a má distribuição e os problemas com gestão e poluição causam escassez hídrica. Apesar de conter uma das maiores reservas do mundo desse recurso, quase 80% da água superficial presente em território nacional se encontra na bacia Amazônica, na região Norte brasileira (ANA, 2022). Apesar de conter a grande maioria dos recursos hídricos do país, as cidades dessa região enfrentam desafios constantes no abastecimento de água (Rebouças, 2003). A demanda de água vem crescendo a cada ano no Brasil, principalmente para o uso na irrigação que saltou de 640 para 965 m³/s nas últimas décadas. Esse valor atualmente corresponde a 50 % da água retirada de fontes naturais (ANA, 2022).

3.4 ESCASSEZ HÍDRICA NO NORDESTE

A escassez hídrica persistente no Nordeste brasileiro impacta diversos setores da sociedade, exigindo estudos visando a diminuição desses problemas. A região, em particular o semiárido nordestino, registra uma participação de apenas 3,3 % nos recursos hídricos do país, marcando-se como a menor porcentagem entre as cinco regiões (ANA, 2023). O baixo registro pluviométrico, causado pela escassez de precipitações, resulta em períodos de estiagem frequentes (Carvalho, 2004). As variações de precipitações ano a ano são bastante

comuns no território nacional, principalmente no semiárido brasileiro (ANA, 2022). Ainda segundo a agência, a média anual de chuvas no Brasil é de 1760 mm, onde no semiárido é possível observar no ano menos de 500 mm. O baixo índice dessa região leva uma redução do volume de água disponível nos reservatórios.

3.5 IMPACTOS DA ESCASSEZ HÍDRICA NO MUNDO

A escassez hídrica, agravada pelo crescimento populacional e mudanças climáticas, representa uma ameaça global, com impactos iminentes na agricultura, segurança alimentar e a saúde. Segundo o Banco Mundial (2016b), devido à escassez hídrica, regiões que sofrem com esse problema, poderão ter uma redução de até 6 % no PIB nas próximas décadas devido a perdas em áreas importantes da economia.

Devido aos problemas causados pela escassez hídrica, estudos foram intensificados em todo mundo visando a reutilização desse recurso, principalmente o reúso da água cinza como fonte alternativa (Blanky *et al.*, 2015). A água de reúso vem sendo utilizada em todo o Brasil em atividades não potáveis, como na lavagem de veículos, limpeza de vias públicas e higienização de estabelecimentos comerciais (Moura *et al.*, 2020).

3.6 REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA

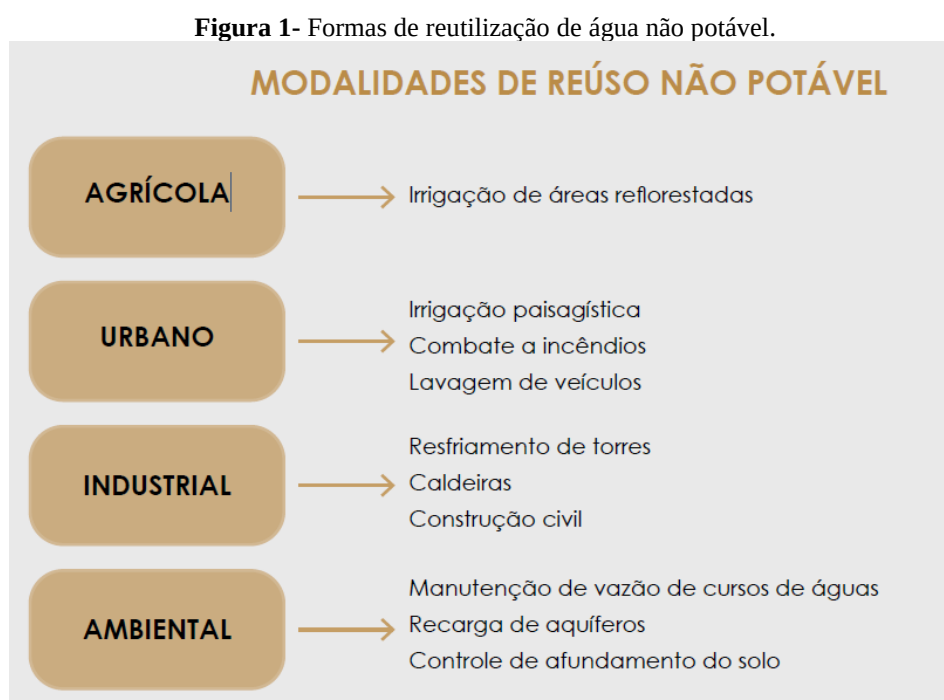
O reúso da água é uma medida essencial para enfrentar a crescente demanda global, conservando um recurso limitado e reduzindo a pressão sobre as fontes hídricas. O reúso da água consiste na utilização de água que passou por tratamento apropriado, destinada a diversos fins, visando preservar os recursos hídricos disponíveis e assegurar a sustentabilidade (Fiori; Fernandes; Pizzo, 2006). Águas de qualidade inferior, como esgotos domésticos, drenagem agrícola e águas salobras, devem ser consideradas fontes alternativas para usos menos restritivos, promovendo uma gestão sustentável dos recursos hídricos (Torres *et al.*, 2019).

Fiori, Fernandes e Pizzo (2006) ainda destacam que o reúso da água é a utilização dessa substância, após tratamento, por duas ou mais vezes, como medida para reduzir os impactos decorrentes do despejo de esgotos não tratados em rios. O reúso de água é uma importante ferramenta que contribui para o aumento de oferta de água, essa medida é bastante importante em regiões que possuem escassez de recursos hídricos (ANA, 2022).

O reúso pode ser categorizado como planejado, quando os usuários estão cientes da prática, como na irrigação de gramados ou lavagem de ruas, e inconsciente, quando não há conhecimento da prática que está sendo realizada (Monteiro, 2009). Dentre esses grupos, o autor esclarece que o reúso pode ser classificado como direto, quando o efluente tratado é utilizado imediatamente, e indireto, quando o efluente é distribuído em recursos hídricos, como lagos e represas. Já no meio urbano, o reúso é classificado como potável e não potável. A forma direta não pode ser utilizada no reúso potável, pois o efluente tratado precisa passar por etapas antes de ser distribuído (Hespanhol, 2006).

O reúso não potável da água é a utilização de água que não atende aos padrões de qualidade para consumo humano, sendo direcionada para outras finalidades como irrigação, lavagem de veículos, limpeza de ruas entre outras (Brasil, 2022).

A Figura 1 lista os diferentes destinos da água reutilizada para fins não potáveis:



Fonte: Brasil (2020).

3.7 POLUIÇÃO HÍDRICA NO MUNDO

A poluição da água, causada por despejos industriais, resíduos urbanos e produtos químicos, compromete a qualidade dos corpos d'água, ameaçando ecossistemas aquáticos e a saúde dos seres vivos. Mundialmente, aproximadamente 80 % das águas residuais

provenientes de atividades industriais e municipais são descarregadas no meio ambiente sem passar por qualquer tratamento prévio (WWAP, 2017). Ainda segundo o programa da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura (UNESCO), essa proporção é significativamente elevada em nações menos desenvolvidas, na qual a infraestrutura de saneamento e tratamento de águas residuais é escassa. As condições precárias de saneamento e higiene, aliadas à ingestão de água imprópria para consumo, são responsáveis por doenças diarreicas e enteropatias ambientais, resultando em quadros de desnutrição (Teague; Johnston; Graham, 2014).

3.8 POLUIÇÃO HÍDRICA NO BRASIL

Cerca de 54 % da população brasileira é atendida por redes de saneamento básico, equivalente a mais de 100 milhões de pessoas. Os maiores índices se encontram na região sudeste, na qual cerca de 83,7 % da população é atendida (Brasil, 2020). Ainda segundo o estudo, a região Norte tem os menores índices de coleta de esgoto, na qual apenas 15,8 % da população é atendida.

A poluição da água no Brasil é uma preocupação crescente, despejos inadequados de resíduos comprometem rios e mananciais, exigindo medidas rigorosas de gestão ambiental para proteger a oferta de água e preservar a biodiversidade. Rios que atravessam as grandes cidades nacionais sofrem com a grande quantidade de efluentes não tratados que são lançados diariamente em seus leitos (ANA, 2022). Essa situação é causada pois apenas 49,1% do esgoto gerado no Brasil é tratado. Na região Nordeste esse número é ainda mais preocupante, tendo em vista que apenas 33,7 % do esgoto gerado passa por algum tipo de tratamento (Brasil, 2020).

Na região Nordeste, pouco mais de 28 % da população tem acesso a redes de coleta de esgoto, situando a região como a segunda com o índice mais baixo de cobertura de esgoto, atrás apenas da região Norte (Brasil, 2020).

3.9 TIPOS DE POLUIÇÃO

A poluição de um meio pode ser caracterizada como o lançamento, em grande quantidade, de materiais e substâncias que possuem características diferentes (Sodré, 2012). O aumento da população e o avanço da industrialização acentuam a contaminação dos corpos

hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneas, resultando em uma crescente escassez hídrica (Carvalho, 2008). O autor ainda especifica que a natureza tem capacidade de recuperar esse recurso, todavia essa recuperação não é ilimitada e poderá levar séculos até atingir a normalidade.

As fontes de poluição poderão ser, fontes pontuais, que se concentram em pequenas áreas, como os esgotos domésticos, e fontes não pontuais, que podem afetar uma grande área (Matos, 2020). As fontes pontuais podem ser ligeiramente identificadas e diagnosticadas permitindo, na maioria casos, a implementação de ações para a amenização do problema (Sodré, 2012),

Já as fontes não pontuais, também chamadas fontes difusas, têm origens menos identificáveis, são provenientes de extensas áreas e podem ser transportadas de diversas formas até alcançar os corpos hídricos (Sodré, 2012). O autor ainda comenta que normalmente tem-se dificuldade para encontrar os agentes poluentes desde o ponto de origem devido à complexidade de localizar as fontes exatas de descarga e os meios de difusão do poluente. A água pode abrigar inúmeras substâncias, elementos químicos e microrganismos, os quais, se não forem reduzidos ou eliminados, podem representar riscos à saúde humana (Carvalho, 2008).

3.10 A ÁGUA CINZA

Entre os diversos tipos de efluentes está a água cinza, uma categoria de água residual produzida a partir de fontes domésticas oriundas de atividades básicas do ser humano, como a água utilizada nos chuveiros, máquinas de lavar e pias (Fiori; Fernandes; Pizzo, 2006). A água cinza, depois de passar por um tratamento que possibilite o seu reúso, pode ser reutilizada para fins não potáveis, sendo uma importante fonte alternativa em períodos de escassez hídrica (Paula; Fernandes, 2018).

As águas cinza são divididas em duas categorias: águas cinza claras, originárias do chuveiro, lavatório e máquinas de lavar roupas; e águas cinza escuras, provenientes da pia da cozinha e máquinas de lavar pratos (Eriksson *et al.*, 2002).

3.11 TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento da água é essencial para garantir a remoção de contaminantes e a oferta de água, preservar a saúde e contribuir para a conservação dos ecossistemas. Existem diversos métodos para o tratamento dos efluentes, em muitos casos é preciso se atentar sobre as condições socioeconômicas das regiões onde irá ser feito o tratamento, pois isso irá influenciar na escolha do método (Metcalf; Eddy, 2016).

3.12 TIPOS DE TRATAMENTO

Os métodos de tratamento de esgotos são classificados como processos físicos, biológicos ou químicos, os processos físicos utilizam a força de atração entre os corpos para a retirada dos compostos presentes na água (Metcalf; Eddy, 2016). Os autores ainda acrescentam que, os processos físicos foram os primeiros a serem empregados para o tratamento de esgotos pelo homem, nesse processo é predominante a ação das forças físicas.

Os processos biológicos utilizam atividade biológica na remoção das substâncias que constituem o efluente, esse método é utilizado principalmente para a remoção das substâncias biodegradáveis (Metcalf; Eddy, 2016). Já os processos químicos de acordo com os autores, utilizam reações químicas para a retirada das substâncias presentes nos efluentes. Para adequar o efluente as características padrões para reúso, as técnicas mais utilizadas são a coagulação, floculação, decantação e filtração, sendo a coagulação um processo químico, já os demais são caracterizados por serem processos físicos (Arantes, 2010).

A NBR 13.969/97, estabelece categorias e seus correspondentes parâmetros para sistemas de esgoto, levando em consideração a prática de reutilização:

- Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferiores a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.
- Classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L.

- Classe 3: reúso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL.
- Classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L.

3.13 PROCESSO DE COAGULAÇÃO

As impurezas presentes na água têm cargas superficiais negativas, essa polaridade é atribuída pela presença de várias formas de argilas nas águas superficiais naturais compostas principalmente por silicatos de alumínio (Silva, 2005). Ainda de acordo com o autor essas argilas passam por hidratação, formação de grupos silanois que se ionizam, originando as cargas negativas.

Em geral, partículas coloidais presentes na água, cujo pH esteja entre 5 e 10, contêm cargas negativas, existe diversas teorias para esse fenômeno, uma delas é a adsorção seletiva de íons eletronegativos (Silva, 2005). As impurezas presentes na água naturalmente evitam se agrupar, a menos que suas características sejam alteradas. Para promover a remoção desses elementos, é necessário incorporar substâncias chamadas coagulantes (Carvalho, 2008).

A coagulação é um processo químico empregado para desestabilizar as partículas coloidais, no qual um agente químico é introduzido produzindo íons positivamente carregados na água na qual estão presentes coloides negativos (Silva, 2005).

A água turva e/ou colorida submetida a um processo de coagulação, é induzida a formar partículas eletricamente desestabilizadas, já a floculação é a união das partículas originadas desse processo, incluindo as impurezas (Silva, 2005). De acordo com Di Bernado e Dantas (2005), na coagulação, ocorre a desestabilização das cargas negativas, por meio de uma mistura rápida, com duração de frações de segundo a cerca de 100 segundos.

Nas estações de tratamento de água, a coagulação/floculação é a retirada de flocos, partículas inicialmente imperceptíveis na água, removidos do meio por meio de decantação, sedimentação, filtração ou flotação (Silva, 2005). A coagulação/floculação ocorre de quatro formas, sendo elas: adsorção e formação de pontes, compressão da camada difusa, varredura, além da adsorção e neutralização (Arantes, 2010).

3.14 TIPOS DE COAGULANTES

Existe uma vasta variedade de coagulantes usados no tratamento de água, os coagulantes inorgânicos, como os sais de ferro e alumínio, coagulantes de polímeros sintéticos e naturais, e os coagulantes naturais (Carvalho, 2008). Coagulantes podem ser definidos como substâncias químicas, orgânicas ou inorgânicas, com propriedades catiônicas capazes de desestabilizar partículas coloidais presentes no efluente (Souza, 2022).

3.15 COAGULANTES QUÍMICOS

Devido ao uso constante de coagulantes de origem inorgânica, pesquisas no ramo da química ambiental vem ganhando cada vez mais destaque, buscando a adoção de coagulantes naturais menos prejudiciais ao ambiente (Lima Júnior; Abreu, 2018). De acordo com Paula (2014), os coagulantes químicos amplamente utilizados no tratamento de água são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Esses coagulantes tradicionais formam compostos gelatinosos de cargas positivas devido à alta eletropositividade dos elementos químicos que os constituem (Borba, 2001). Atualmente, os floculantes mais empregados no tratamento de água são desenvolvidos a partir de polímeros orgânicos sintéticos solúveis em água, frequentemente derivados de fontes não renováveis (Lima Júnior; Abreu, 2018).

Impactos ambientais, geração de grandes volumes de lodo com concentrações de íons metálicos inorgânicos não biodegradáveis além, da má gestão dos resíduos são as principais desvantagens dos coagulantes químicos (Silva *et al.*, 2020). O resultado do processo representa uma fonte poluidora secundária e requer uma abordagem adequada para tratamento e descarte ambiental, pois contém uma variedade de componentes orgânicos e inorgânicos (Oladoja *et al.*, 2017). Além disso, é importante salientar que diversos estudos alertam para os potenciais riscos da exposição humana ao alumínio, associando-o ao desenvolvimento de doenças crônicas como Parkinson e Alzheimer (Banks *et al.*, 2006; Polizzi *et al.*, 2002; Walton, 2013).

3.16 COAGULANTES NATURAIS

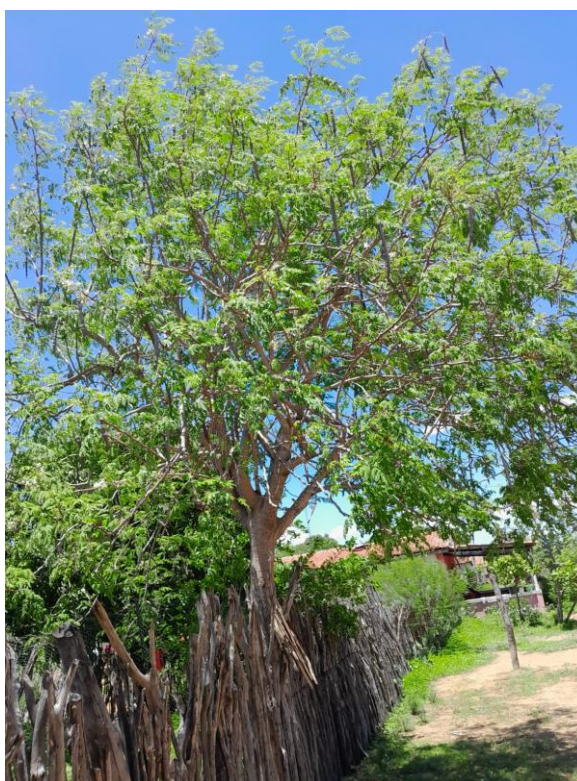
Devido à dificuldade de abastecimento de água nas periferias das grandes cidades e em comunidades no interior do país, é preciso criar alternativas no tratamento de água,

visando a melhoria da saúde dos indivíduos e a conservação ambiental (Silva, 2005). Diante dessa situação, os coagulantes naturais são uma alternativa em potencial para o tratamento de efluentes, além de possuírem um menor custo, um fator importante para o uso por pessoas de baixa renda, são biodegradáveis contribuindo para a redução do impacto ambiental (Soares; Quitério; Vendramel, 2018).

3.17 A MORINGA OLEIFERA

A *Moringa oleifera* é uma planta nativa do Norte da Índia que se espalhou pelos países tropicais, tem crescimento rápido e pode atingir até 12 metros de altura (Rangel, 2007). Pertencente à família *Moringaceae* na qual são constituídas de 14 espécies conhecidas, seu fruto é uma vargem de três faces que possuem inúmeras sementes (Bezerra; Momenté; Medeiros Filho, 2004). É bastante resistente a períodos de estiagem prolongada e consegue se desenvolver em solos que possui baixos índices de nutrientes, essas características fazem a *Moringa oleifera* se desenvolver com facilidade em regiões de clima semiárido (Nogueira, 2012). Na Figura 2, visualizamos a *Moringa oleifera*.

Figura 2 – *Moringa oleifera*.



Fonte: Do autor (2024).

Suas vagens possuem tamanhos variados, desde vagens pequenas, com comprimento entre 15 e 25 cm, até vagens maiores com comprimento que pode variar entre 50 e 90 cm, com cada árvore podendo produzir entre 300 e 1600 vagens (Silva, 2005). O autor ainda destaca que, cada vagem pode gerar de 10 a 20 sementes. Na Figura 3, podemos ver a vagem da *moringa oleifera* e suas sementes.

Figura 3 - Vagem e sementes de *Moringa oleifera*.



Fonte: Do autor (2024).

A moringa possui múltiplos usos, suas folhas e vagens são usadas na alimentação humana, as sementes são usadas na fabricação de sabão e cosméticos. Essa versatilidade a torna valiosa tanto na culinária quanto na indústria de cuidados pessoais (Silva, 2005). Ela é bastante rica em proteína, 1,0 g de folhas de moringa tem duas vezes mais proteína que um copo de leite (Kerr; Silva, 1999). Suas cascas representam cerca de 8 % da massa total das sementes, as gorduras caracterizam aproximadamente 41 %, já as proteínas 35,35 % (Silva; Matos, 2008). A Figura 4 mostra a *Moringa oleifera* e sua vagem.

Figura 4 – Vagem da *Moringa oleifera*.



Fonte: Do autor (2024).

Segundo Silva e Matos (2008), as sementes maduras da moringa possuem cerca de 40 % de óleo, esse óleo é composto por 73 % de ácido oleico, características similares ao azeite de Olívia, podendo ser usado para o cozimento de alimentos.

É bastante tolerante a períodos de estiagem, podendo ser cultivada em regiões áridas e semiáridas que possui chuvas anuais abaixo de 300 mm (Marinho *et al.*, 2016). A moringa foi introduzida no Brasil na década de cinquenta, devido as suas características de serem resistentes a secas, e são facilmente encontradas nos estados do Nordeste brasileiro (Medeiros *et al*, 2017). É bastante popular em países como Indonésia e Sudão como agente coagulante natural para o tratamento de água, em países africanos há um grande cultivo da planta impulsionado pelo interesse em sua aplicação na purificação da água (Caldeira, 2012).

3.18 A MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE NATURAL

As sementes de *moringa oleifera* têm a capacidade de coagular/flocular devido à existência de proteínas hidrossolúveis catiônicas (Arantes, 2010). Essas proteínas são

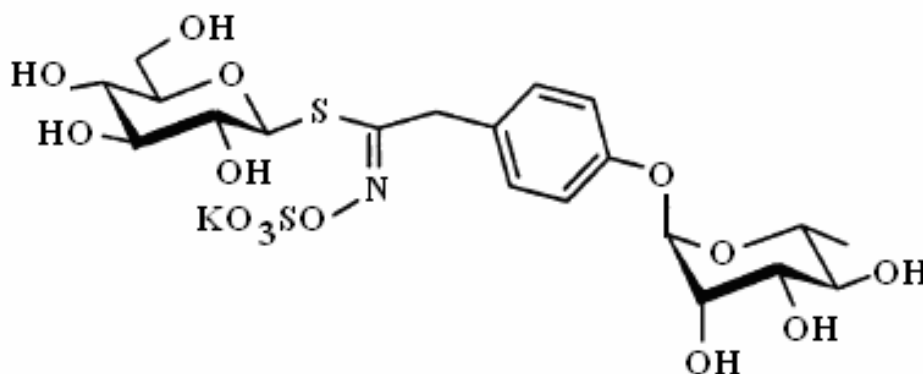
polieletrólitos de alto peso molecular, que neutralizam partículas presentes na água e promovem a coagulação de coloides carregados negativamente (Foidl; Makkar; Becker, 2001).

Ao interagir com as impurezas da água, as moléculas da proteína são ionizadas, resultando na formação de grupos hidrolisados que induzem à instabilidade das partículas, causando um desequilíbrio eletrocinético na solução, o que leva à coagulação e floculação das partículas (Santos Filho, 1976). Ndabigengesere, Narasiah e Talbot (1995), identificaram que a proteína associada ao processo de coagulação, exibe variação em seu peso molecular entre 12 e 14 kDa.

Depois de isolar o produto coagulante que compõe as sementes de moringa, foram identificados polipeptídios (Jahn, 1989). Esses compostos quando realizam o processo de coagulação, não produzem complexos gelatinosos que são formados a partir das reações de neutralização entre o coagulante e a água, esse processo ocorre em coagulantes oriundos de sais de alumínio e ferro (Pereira, 2011). Outro ponto abordado pelo autor, é que os polipeptídios não geram complexos gelatinosos devido a presença de grandes cadeias moleculares de sítios com cargas positivas e negativas, que possuem uma ampla capacidade de adsorção das partículas em sua volta.

Outro fator que ajuda no processo de coagulação da moringa é a presença do composto amidálico glucosinolato. As sementes podem conter até 10 % dessa substância homogênea de combinações de tiosacarídeos naturais (Gueyrard *et al.*, 2000). Na Figura 5, podemos observar a configuração do glucosinolato.

Figura 5 - Configuração do glucosinolato presente na semente de moringa.



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

Sementes de *Moringa oleifera* trituradas e utilizadas no tratamento de água, apresenta um custo consideravelmente menor em comparação com os coagulantes químicos tradicionais, como o sulfato de alumínio (Rangel, 2007). Vale salientar que o uso das sementes de *Moringa oleifera*, assim como a ação de outros coagulantes, naturais ou químicos, não gera água purificada (Silva, 2005).

Apesar desse fator, a utilização das sementes de moringa como coagulante natural apresenta vantagens, como a eliminação dos microrganismos patológicos que estão em sua grande maioria ligados com as partículas suspensas na água (Silva, 2005). O autor ainda relata uma notável redução da turbidez da água por meio da coagulação do material em suspensão. Outro benefício, é que a água tratada pelas sementes de *Moringa oleifera*, diferentemente da água tratada por sulfato de alumínio, não sofre alterações significativas no seu pH (Gallão; Damasceno; Brito, 2006). Pesquisas realizadas por Lotufo *et al.* (2005) constataram que a aplicação de uma dosagem apropriada de sementes possibilitou a significativa redução da presença de coliformes fecais em água bruta, caracterizada por elevada turbidez. O autor ainda destaca que após a implementação do tratamento, observou-se uma redução da turbidez para valores inferiores a 10 NTU.

Em pesquisas conduzidas por Muniz, Duarte, Oliveira (2015), foi possível alcançar uma redução superior a 95 % na turbidez inicial de 400 NTU ao utilizar uma dosagem de 250 mg/L das sementes, tanto com casca quanto sem casca, e tempos de sedimentação variando entre 60, 90 e 120 minutos. Resultados mais significativos foram obtidos pelos autores ao empregar uma dosagem de 500 mg/L, no qual as reduções na turbidez ultrapassaram os 98 %.

Em trabalhos realizados por Okuda *et al.* (2001), foi utilizado cloreto de sódio (NaCl) para melhorar a capacidade de coagulação dos extratos de *Moringa oleifera*. Os autores destacaram que a capacidade de coagulação utilizando extratos com NaCl a 1 mol/L, aumentou em mais de 7 vezes em comparação aos extratos produzidos a base de água. Essa circunstância pode estar associada à interação dos íons adicionais com os grupos moleculares da proteína que se encontram carregados, resultando no aumento da capacidade de coagulação (Marzzoco; Torres, 2015).

Pereira *et al.* (2015) realizou estudos em amostras de água com uma turbidez inicial de 150 NTU. O coagulante de moringa foi obtido mediante a trituração de 10g de sementes, as quais foram subsequentemente incorporadas a 1 L de solução de NaCl 1 mol/L, em seguida, 150 mL do coagulante foram adicionados a 2 L das amostras de água. Os autores observaram uma notável redução da turbidez, superando 70 %, nas amostras de água, com um tempo de

sedimentação de 10 minutos. Além disso, os autores constataram uma redução significativa, superior a 90%, na remoção da cor aparente nas amostras estudadas.

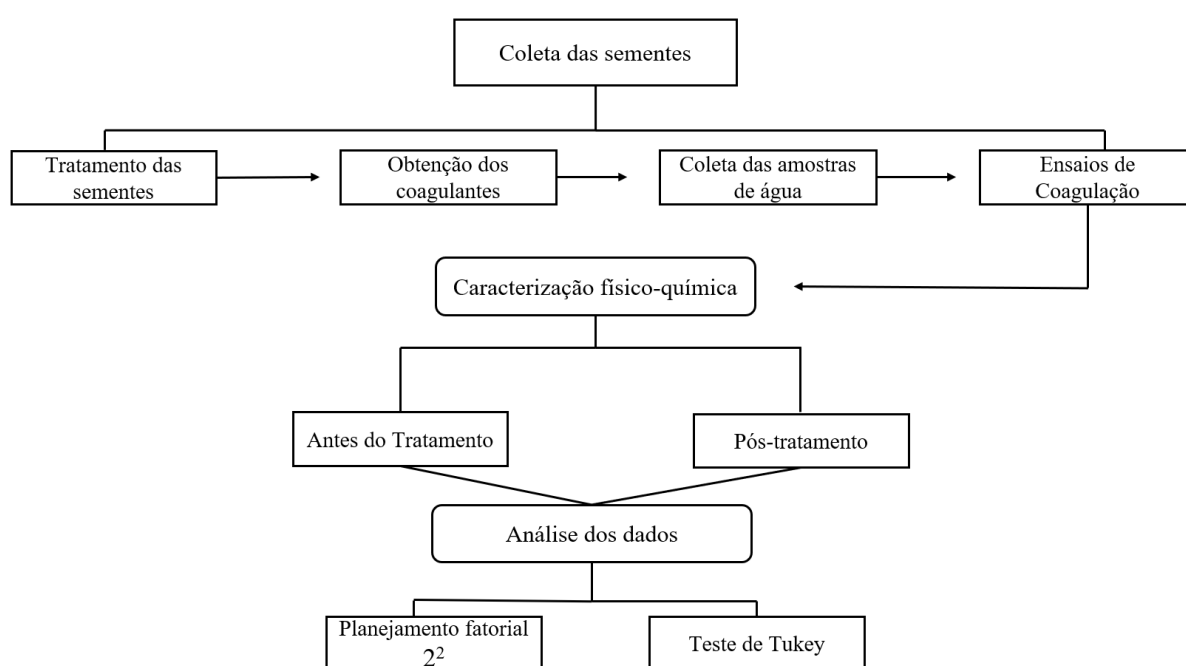
Muyibi e Evison (1995), destacaram que o coagulante natural de *Moringa oleifera* tem uma limitação em água de baixa turbidez. Em estudos conduzidos por Okuda *et al.* (2001), destaca-se que as propriedades coagulantes da moringa demonstraram eficácia em águas caracterizadas por elevada turbidez.

Com base nas informações expostas, é possível observar a eficácia do uso de coagulantes obtidos a partir de sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água cinza. Além disso, destaca-se a grande disponibilidade da *Moringa oleifera* na região semiárida do Brasil, o que contribui para a viabilidade e acessibilidade desses coagulantes. Outro ponto importante, é sua característica ambientalmente favorável desse coagulante, uma vez que não geram resíduos nocivos ao meio ambiente. Essas características proporcionam ao coagulante à base de *Moringa oleifera* um potencial promissor para ser utilizado no tratamento de água.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico, serão detalhados os materiais empregados no decorrer da pesquisa, juntamente com o procedimento de coleta das sementes de *Moringa oleifera*, a obtenção dos extratos coagulantes, a abordagem empregada na caracterização físico-química da água antes e após o tratamento, e a metodologia estatística adotada para a interpretação dos resultados, conforme pode ser observado resumidamente na Figura 6.

Figura 6 - Descrição do procedimento experimental.



Fonte: Do autor (2024).

4.1 EQUIPAMENTOS E VIDRARIAS

Para a condução dos experimentos, foram empregados equipamentos comuns em laboratórios de química, conforme detalhado no Quadro 1, o qual apresenta informações pertinentes sobre cada aparelho, incluindo marca e modelo.

Quadro 1 – Equipamentos utilizados nos experimentos.

ITEM	EQUIPAMENTOS	MARCA/MODELO
1	AGITADOR MAGNÉTICO	Edutec / EEQ-9034
2	BALANÇA ANALÍTICA	Shimadzu / AUY220
3	TURBIDÍMETRO	Del Lab / DLT-WV
4	SONDA MULTIPARÂMETRO	Akso / AK88
5	pHMETRO	Quimis / Q400AS
6	LIQUIDIFICADOR	Spolu / Attak
7	ESTUFA	QUIMIS / Q314M243

Fonte: Do autor (2024).

Vale ressaltar que o turbidímetro, a sonda multiparâmetro e o pHmetro foram calibrados previamente utilizando soluções padrão específicas, individualizadas para cada parâmetro analisado.

Além dos instrumentos essenciais para as referidas análises, foram empregados vidrarias e outros dispositivos laboratoriais durante a execução dessas etapas, incluindo erlenmeyers, béqueres, peras de sucção, balões volumétricos, pipetas, entre outros.

4.2 COLETA E TRATAMENTO DAS SEMENTES

As sementes de *Moringa oleifera* foram adquiridas por meio de coleta nas localidades de Caraúbas e Patu, situadas na região oeste do estado do Rio Grande do Norte. O processo de coleta foi conduzido nos meses de novembro e dezembro, períodos nos quais as sementes encontram-se em estágio de maturidade. Inicialmente, procedeu-se à coleta das vagens da planta, predominantemente localizadas na própria estrutura vegetal. Posteriormente, as vagens foram submetidas ao processo de desbulha, visando à extração das sementes. Após esse procedimento, o material foi transportado para o laboratório de química da Universidade Federal Rural do Semiárido (UERSA), campus Caraúbas. No referido laboratório, as sementes foram submetidas ao procedimento de descascamento e, posteriormente, foram expostas a um período de desidratação em estufa a 40°C, com duração de três horas, objetivando a remoção da umidade. Após esse intervalo, as sementes foram submetidas a um processo de trituração mediante a utilização de um liquidificador industrial. Posteriormente, o material resultante foi submetido à peneiração por meio de uma peneira com malha 45 mesh, visando a obtenção do pó proveniente das sementes. Este pó foi então empregado no processo

de preparo dos extratos coagulantes. Na Figura 7, visualizamos o pó das sementes obtidos após a trituração e peneiramento.

Figura 7 - Pó das sementes.



Fonte: Do autor (2024).

4.3 OBTENÇÃO DOS EXTRATOS COAGULANTES

Os extratos coagulantes provenientes da *Moringa oleifera* foram adquiridos mediante a aplicação do procedimento proposto por Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009) e Balbinoti *et al.* (2018), com modificações específicas implementadas durante a execução do método. Para a preparação dos extratos coagulantes, foram meticulosamente pesadas quantidades de 0,5 g e 1 g do pó derivado das sementes, que foram, em seguida, adicionadas a 100 ml de uma solução de NaCl 1,0 mol/L. Esse procedimento resultou na obtenção de dois extratos com diferentes concentrações, sendo uma de 5 g/L e outra de 10 g/L. Após a adição do pó das sementes, a mistura resultante foi submetida a um processo de homogeneização durante 60 minutos a uma velocidade de 300 rpm. Ao final desse período, as misturas foram filtradas utilizando papel de filtro qualitativo, acondicionadas em frascos de plástico com capacidade de 250 ml, previamente higienizados, e posteriormente armazenadas em ambiente refrigerado, originando assim as soluções coagulantes destinadas ao tratamento da água cinza.

4.4 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA CINZA ANTES E APÓS O TRATAMENTO

As amostras de água cinza utilizadas no processo de tratamento foram obtidas a partir de uma residência situada na zona rural do município de Caraúbas/RN, que é equipada com um sistema de tratamento específico para águas cinzas. Com o propósito de verificar a eficiência dos extratos coagulantes, o processo de coleta das amostras de água cinza foi realizado em dois pontos distintos, com a finalidade de obter duas amostras que apresentassem distintos níveis de turbidez. Nesse contexto, uma das amostras se destacava por conter uma turbidez superior, enquanto a outra se caracterizava por apresentar uma turbidez inferior.

O processo de coleta foi conduzido por meio de garrafas PET de cinco litros, devidamente higienizadas previamente, as quais foram acondicionadas em caixas de isopor para preservação durante o transporte. Posteriormente, as amostras foram transportadas para o laboratório de química da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), campus Caraúbas, nas quais foram submetidas à caracterização. As análises físico-químicas da água cinza foram conduzidas de acordo com a metodologia prescrita no Standard Methods of APHA (2005). Na Figura 8, temos a amostra de água cinza após a coleta.

Figura 8 - Água cinza após a coleta.



Fonte: Do autor (2024).

A execução das análises dos parâmetros de salinidade e condutividade, foi realizada por meio da utilização de uma sonda multiparâmetro, podemos vê-la na Figura 9. Para salinidade, os resultados foram expressos em ppt (partes por trilhão), já para a condutividade, os resultados foram expostos em $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 9- Sonda multiparâmetro utilizada nos experimentos.



Fonte: Do autor (2024).

A análise do pH foi realizada com e um pHmetro de bancada, exposto na Figura 10.

Figura 10 - pHmetro utilizado nos experimentos.



Fonte: Do autor (2024).

Para a avaliação da turbidez, foi empregado um turbidímetro de bancada, que está sendo exposto na Figura 11. Cada amostra foi colocada inicialmente no compartimento de leitura, nos quais foram obtidos valores em unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

Figura 11 - Turbidímetro utilizado nos experimentos.



Fonte: Do autor (2024).

4.5 REALIZAÇÃO DOS TESTES DE COAGULAÇÃO

Os ensaios de coagulação foram conduzidos de acordo com planejamento fatorial 2^2 com repetição, empregando dois fatores e dois níveis, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores e níveis utilizados no experimento.

Fatores	Nível (-)	Nível (+)
Tempo de homogeneização (1)	15 min	30 min
Concentração do coagulante de NaCl (2)	5 g/L	10 g/L

Fonte: Do autor (2024).

Na etapa inicial do planejamento, elaborou-se uma tabela de coeficientes de contraste (Tabela 2):

Tabela 2 - Coeficientes de contraste para um planejamento fatorial 2².

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

Fonte: Do autor (2024).

A partir da tabela de coeficientes, foram derivadas as combinações essenciais para a execução dos ensaios, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Ensaios para o planejamento fatorial 2².

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: Do autor (2024).

Para a condução dos testes de coagulação conforme o planejamento fatorial, procedeu-se da seguinte maneira:

I. Aplicação do coagulante nas amostras de água cinza

O experimento teve início com a pipetagem de uma amostra de água cinza, utilizando uma pipeta de 100 mL, e em seguida, transferida para um erlenmeyer de 250 mL. Posteriormente, de acordo com o planejamento fatorial, foram pipetados 30 mL do extrato coagulante, os quais foram adicionados aos 100 mL da amostra de água cinza já presentes no erlenmeyer.

II. Tempo de homogeneização dos coagulantes

Para promover a homogeneização da solução, o erlenmeyer foi colocado em um agitador magnético, mantendo o sistema em constante agitação a 300 rotações por minuto (rpm). O tempo de homogeneização foi ajustado conforme as especificações previamente estabelecidas no planejamento fatorial do experimento. Na Figura 12, temos a amostra de água cinza e o coagulante sendo submetido ao tempo de homogeneização

Figura 12 - Amostra em agitação.



Fonte: Do autor (2024).

III. Tempo de decantação e leitura das amostras

Após a etapa de homogeneização, as amostras foram deixadas em repouso por um período de 120 minutos, permitindo a estabilização do sistema. Findo o intervalo de espera, procedeu-se à realização de análises físico-químicas abrangentes, incluindo avaliações detalhadas dos parâmetros de turbidez, salinidade, condutividade e pH. Essas análises foram conduzidas com o intuito de compreender os efeitos da aplicação do coagulante e identificar eventuais variações nos parâmetros analisados após o tratamento da água cinza.

Destaca-se que amostras desprovidas da aplicação do coagulante foram submetidas às mesmas condições experimentais empregadas nas amostras que receberam o tratamento com coagulante. O propósito dessa abordagem é analisar se o processo de agitação e decantação exerce influência nas características físico-químicas da água cinza sem tratamento.

4.6 ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta dos dados relativos aos parâmetros pH, turbidez, salinidade e condutividade resultantes do processo de tratamento, essas informações foram organizadas em uma planilha do excel especialmente configurada para análises estatísticas (Ver Apêndice A). O propósito desse procedimento consistiu na determinação dos valores resultantes do produto do erro pelo t de Student e dos efeitos de primeira e segunda ordem (efeitos de interação),

aplicado a cada parâmetro submetido à análise. Essa abordagem possibilitou a identificação da influência dos fatores estudados na resposta obtida, seja esta de natureza positiva ou negativa.

Para investigar o potencial impacto da agitação sobre as propriedades físico-químicas das amostras de água cinza, sem a aplicação de coagulante, realizou-se o teste de Tukey através de conjunto com análises de variância (ANOVA), utilizando o software Origin 2018 para analisar os resultados obtidos em relação a cada parâmetro examinado. O teste de Tukey também foi realizado nos resultados obtidos durante a caracterização das amostras de água cinza com o objetivo de determinar se algum parâmetro diferia estatisticamente entre si.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para um melhor entendimento do trabalho, essa seção foi dividida em quatro partes.

- I. Caracterização da água cinza utilizada no tratamento
- II. Amostras de água sem tratamento
- III. Resultados pós-tratamento da água de maior turbidez
- IV. Resultados pós-tratamento da água de menor turbidez

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA CINZA

Após a realização do procedimento de coleta das duas amostras de água previamente mencionadas, procedeu-se à caracterização destas. Para tal, foram efetuadas análises de turbidez, pH, salinidade e condutividade. Para uma melhor compreensão, designaremos a amostra de água apresentando maior turbidez como água 1, enquanto a amostra de água com menor turbidez será denominada água 2.

5.1.1 Características físico-químicas das amostras de água cinza]

As leituras, em triplicata, das amostras de água cinza foram realizadas com o objetivo de evidenciar os valores iniciais das características físico-químicas da água, seguidas do cálculo da média dessas amostras e desvio padrão. Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização das amostras de água.

Parâmetros	Média ± Desvio Padrão	
	Água 1	Água 2
Turbidez (NTU)	125,73 ± 0,25a	34,06 ± 0,06b
pH	7,11 ± 0,01a	7,68 ± 0,01b
Salinidade (ppt)	0,43 ± 0,00a	0,39 ± 0,00b
Condutividade (µS/cm)	822,67 ± 0,58a	740,68 ± 1,15b

Letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2024).

Conforme mencionado anteriormente, a turbidez difere entre as duas amostras de água. Para avaliar a eficácia do coagulante de *Moringa oleifera*, a água 1 exibe uma turbidez superior à água 2. Em estudos realizados por Franco *et al.* (2017), o coagulante de *Moringa oleifera* não demonstrou eficácia em amostras de água com turbidez inicial de 20 e 40 NTU, em contraste com as amostras de maior turbidez. Bawa *et al.* (2001), salienta que o tratamento de água com baixa turbidez apresenta maiores dificuldades, uma vez que a presença limitada de flocos na água dificulta o processo de coagulação.

Em relação ao pH, a água 1 demonstrou valores mais próximos da neutralidade, enquanto a água 2 apresentou valores ligeiramente mais elevados, com alcalinidade um pouco maior que a água 1.

A salinidade das duas amostras mostrou-se praticamente idêntica, com uma diferença mínima entre os valores, na ordem de décimos. Da mesma forma, observou-se uma pequena discrepância nos valores de condutividade entre as duas amostras de água.

Na literatura, são encontrados valores diversos para o parâmetro de turbidez, abrangendo uma ampla faixa, desde valores relativamente baixos, como 20 NTU (March; Gual, 2007), até valores médios com 155,6 NTU (Paula; Fernandes, 2018), e valores mais elevados, como os registrados com uma turbidez de 450 NTU (Madrona *et al.*, 2012). Para o pH, existem estudos que exploram diferentes faixas desse parâmetro. Por exemplo, Silva (2005) investigou o pH variando entre 4, 7, 10 e 12, enquanto outros estudos, como o de Ribeiro, Andrade e Reis (2019), se concentraram em apenas uma faixa de pH, registrando um pH de 6,70 para as amostras.

A condutividade apresentou valores iniciais superiores aos frequentemente encontrados na literatura. Camacho *et al.* (2017) observaram que a condutividade inicial das amostras variou entre 214 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 277 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto Araújo *et al.* (2021) registraram uma condutividade inicial de 353,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Para a salinidade, não foram encontrados na literatura estudos que abordassem especificamente esse parâmetro.

A caracterização da água é crucial para determinar sua adequação para diversos fins, como por exemplo a irrigação. A FAO estabelece diretrizes para interpretar a qualidade da água destinada à irrigação, considerando parâmetros discutidos neste estudo, como condutividade elétrica e pH. Esses parâmetros são fundamentais para garantir que a água atenda aos padrões necessários para minimizar os potenciais impactos negativos sobre as plantas e o solo durante o processo de irrigação.

A NBR 13.969/97 classifica o efluente tratado em quatro categorias com o objetivo de promover sua reutilização de maneira segura. A norma considera os parâmetros de turbidez,

pH, presença de coliformes fecais, sólidos dissolvidos totais e quantidade de cloro residual. A avaliação dos parâmetros mencionados é fundamental para determinar em que condições específicas o efluente tratado pode ser reaproveitado.

5.2 AMOSTRAS DE ÁGUA SEM APLICAÇÃO DO COAGULANTE

Ampliando a investigação, amostras foram submetidas ao procedimento de homogeneização por um tempo de 15 e 30 minutos, além de um período de sedimentação de 120 minutos, sem aplicação da solução coagulante. O objetivo dessa abordagem é verificar se o processo de homogeneização e decantação exerce influência nas características físico-químicas da água cinza.

Os dados foram coletados para cada parâmetro estabelecido, como mencionado anteriormente. Foram realizados cálculos de média e desvio padrão, esses valores foram então submetidos ao teste de Tukey para determinar se há diferença estatística entre as amostras.

5.2.1 Água 1 sem a aplicação do coagulante

A Tabela 5 mostra a média e desvio padrão para as características físico-químicas das amostras de água 1 após serem submetidas a o tempo de homogeneização e decantação sem a aplicação do coagulante.

Tabela 5 – Amostras da água 1 após o tempo de homogeneização.

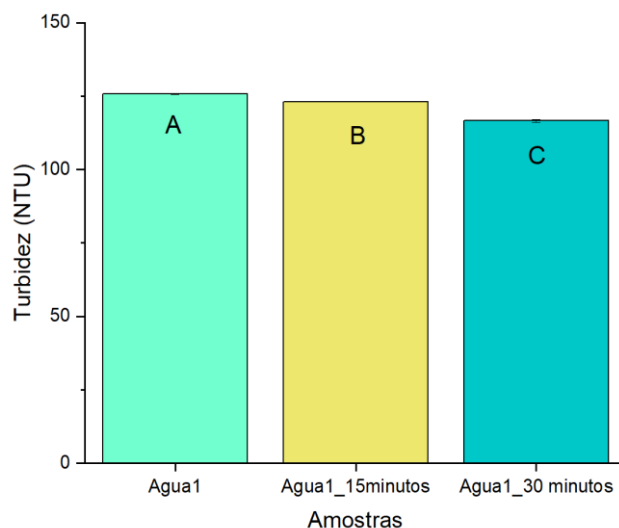
Parâmetros	Média ± Desvio Padrão	
	Água 1_15 min	Água 1_30 min
Turbidez (NTU)	123,06 ± 0,11	116,60 ± 0,53
pH	7,66 ± 0,01	7,83 ± 0,01
Salinidade (ppt)	0,44 ± 0,00	0,56 ± 0,00
Condutividade (µS/cm)	822,67 ± 1,52	740,67 ± 2,64

Fonte: Do autor (2024).

Após as amostras serem submetidas aos dois tempos de homogeneização, é perceptível uma redução na turbidez em comparação com a turbidez inicial. Após a realização do teste de Tukey, presente na Figura 13, constata-se que essa diferença é estatisticamente significativa, o

que sugere que a homogeneização das amostras sem a aplicação do coagulante e o tempo de decantação utilizado reduz a turbidez das amostras.

Figura 13 – Teste de Tukey em relação a turbidez da água 1.

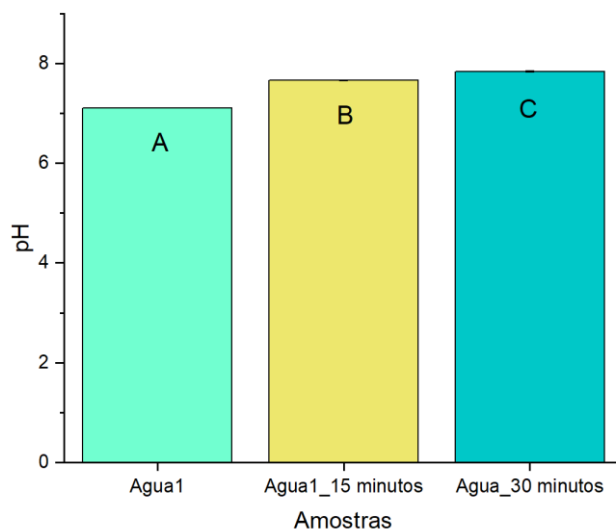


Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Do autor (2024).

Para o pH, observa-se um aumento nos valores das amostras submetidas aos dois tempos de homogeneização. O teste de Tukey, apresentado na Figura 14, indica uma diferença estatística entre as amostras, sugerindo que a homogeneização e decantação das amostras sem a aplicação do coagulante resulta em um aumento no pH.

Figura 14 – Teste de Tukey em relação ao pH da água 1.

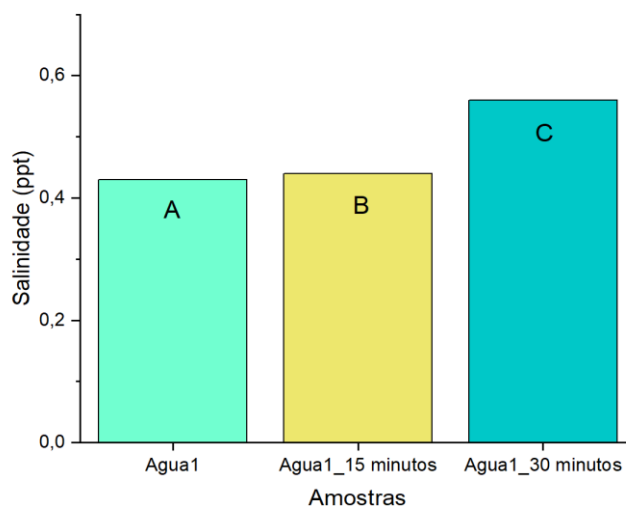


Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Do autor (2024).

Para a salinidade, é possível notar que as amostras submetidas aos dois tempos de homogeneização, 15 e 30 minutos, sem a aplicação do coagulante, tiveram um leve aumento. O teste de Tukey, ilustrado na Figura 15, revela que a homogeneização e decantação das amostras sem a aplicação do coagulante resulta em um aumento na salinidade.

Figura 15 – Teste de Tukey em relação a salinidade da água 1.

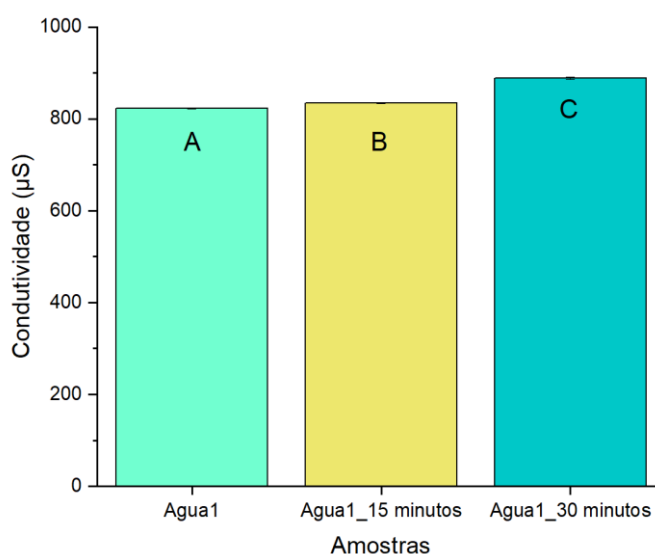


Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Do autor (2024).

Em relação à condutividade, ao analisar os dados, é possível observar um padrão semelhante ao observado para a salinidade. As amostras submetidas aos dois tempos de homogeneização, 15 e 30 minutos, sem a aplicação do coagulante, apresentaram um aumento em sua condutividade. O teste de Tukey, representado na Figura 16, revela uma diferença estatística entre as amostras, indicando que a homogeneização das amostras e posterior decantação sem a aplicação do coagulante resulta em um aumento na condutividade.

Figura 16 – Teste de Tukey em relação a condutividade da água 1.



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

Fonte: Do autor (2024).

5.2.2 Água 2 sem a aplicação do coagulante

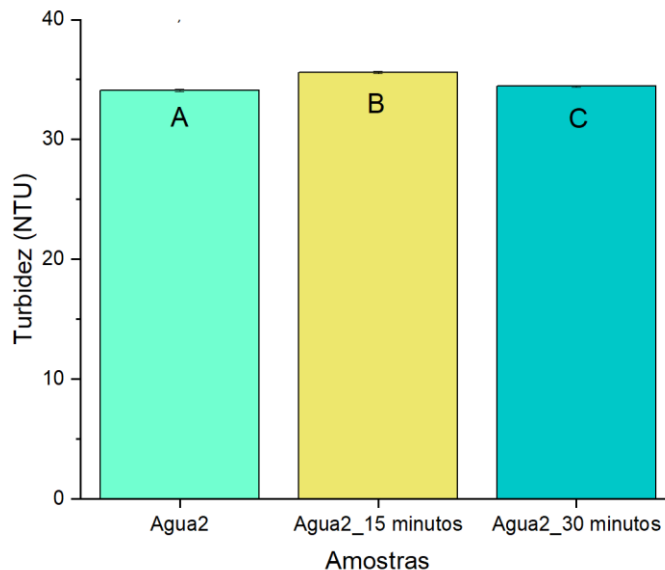
A Tabela 6 apresenta a média e o desvio padrão das características físico-químicas das amostras de água 2 após serem submetidas a um tempo de homogeneização sem a aplicação do coagulante.

Tabela 6 – Amostras da água 2 após o tempo de homogeneização.

Parâmetros	Média ± Desvio Padrão	
	Água 2_15 min	Água 2_30 min
Turbidez (NTU)	35,60 ± 0,10	34,43 ± 0,05
pH	7,92 ± 0,02	8,07 ± 0,04
Salinidade (ppt)	0,39 ± 0,00	0,37 ± 0,00
Condutividade (µS/cm)	752,00 ± 2,00	729,66 ± 1,52

Fonte: Do autor (2024).

Após as amostras serem submetidas aos dois tempos de homogeneização, observa-se um ligeiro aumento na turbidez em comparação com a turbidez inicial. A realização do teste de Tukey, conforme apresentado na Figura 17, demonstra que essa diferença é estatisticamente significativa a um nível de 5 % de significância. Isso sugere que a homogeneização das amostras e posterior decantação sem a aplicação do coagulante resulta em um aumento na turbidez das amostras.

Figura 17 – Teste de Tukey em relação a turbidez da água 2.

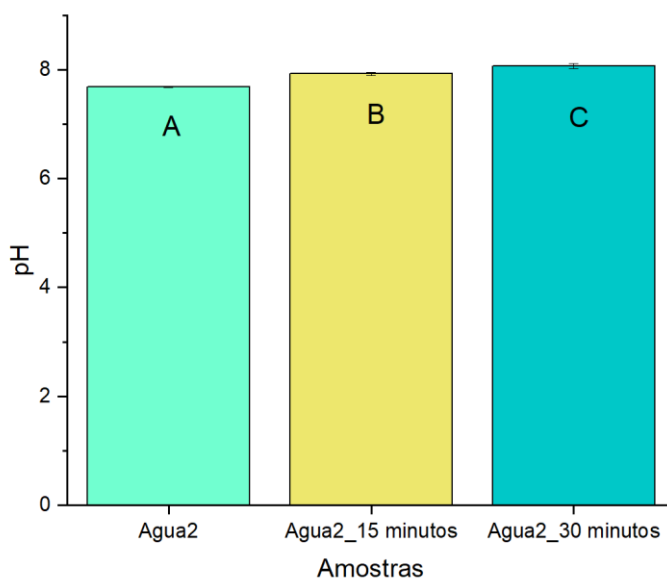
Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Do Autor (2024).

Para o pH, observa-se um comportamento semelhante com o pH das amostras de água 1, com aumento nos valores das amostras submetidas aos dois tempos de homogeneização. O teste de Tukey, apresentado na Figura 18, mostra uma diferença estatística entre as amostras,

sinalizando que a homogeneização das amostras e o processo de decantação sem a aplicação do coagulante resulta em um aumento no pH.

Figura 18 – Teste de Tukey em relação ao pH da água 2.

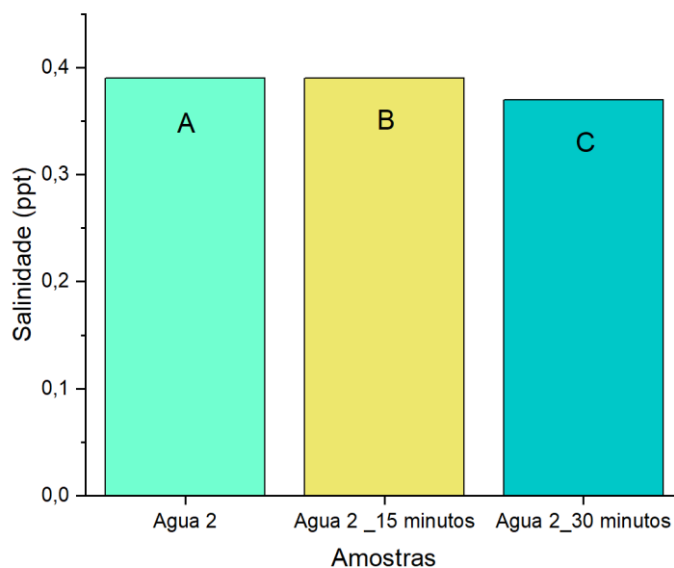


Resultados com letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Fonte: Do Autor (2024).

Para a salinidade da água 2, os valores permaneceram próximos entre si, com uma leve diminuição na amostra de água submetida ao tempo de homogeneização de 30 minutos. Ao realizar o teste de Tukey, conforme evidenciado na Figura 19, é possível observar uma diferença estatística entre as amostras. Isso indica que a homogeneização e posterior decantação das amostras sem a aplicação do coagulante resulta em uma leve diminuição na salinidade.

Figura 19 – Teste de Tukey em relação a salinidade da água

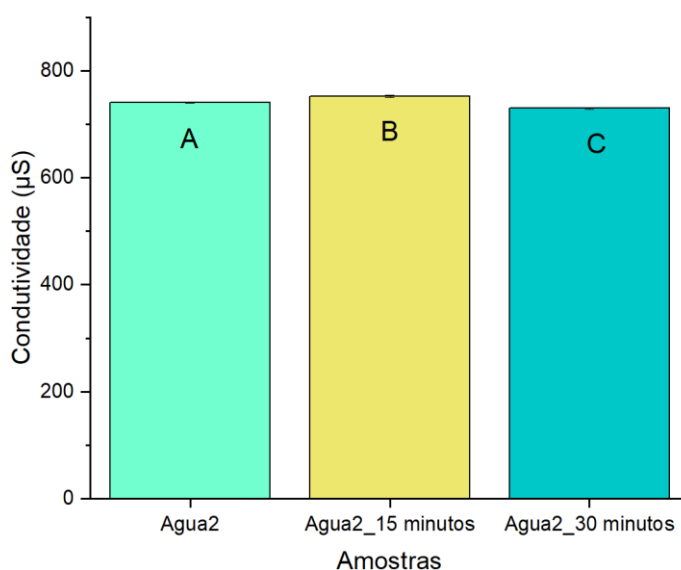


2.

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

Fonte: Do Autor (2024).

Em relação à condutividade, a amostra de água submetida ao tempo de homogeneização de 15 minutos apresentou um leve aumento. Por outro lado, a amostra submetida ao tempo de 30 minutos teve uma pequena diminuição em relação à condutividade inicial. Ao realizar o teste de Tukey, conforme mostrado na Figura 20, é possível observar uma diferença estatística entre as amostras, indicando que a homogeneização e decantação alteram esse parâmetro nas amostras sem a aplicação do coagulante.

Figura 20 – Teste de Tukey em relação a condutividade da água 2.

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

Fonte: Do autor (2024).

5.3 ÁGUA 1 PÓS-TRATAMENTO

Com o propósito de determinar as condições ideais para o tratamento de água cinza utilizando extratos coagulantes salinos de *Moringa oleifera*, foi executado um planejamento fatorial 2^2 com repetição. Dessa forma, foram considerados dois fatores com dois níveis cada, conforme indicado na Tabela 7. Para otimizar a eficiência do processo, os cálculos correspondentes foram executados em uma planilha do Excel.

Tabela 7 - Fatores e níveis utilizados no experimento.

Fatores	Nível (-)	Nível (+)
Tempo de homogeneização (1)	15 min	30 min
Concentração do coagulante de NaCl (2)	5 g/L	10 g/L

Fonte: O autor (2024).

Após a aplicação dos coagulantes conforme o delineamento do planejamento fatorial descrito no procedimento experimental, procedeu-se à realização de leituras dos parâmetros físico-químicos da água tratada. Este procedimento visou analisar a qualidade da água obtida

após o tratamento. Os parâmetros submetidos à análise compreenderam turbidez, pH, salinidade e condutividade.

A partir dos resultados referentes aos parâmetros analisados após o tratamento, foram calculados as médias, desvios, efeitos, erro e o produto do erro pelo t de Student. Esses dados serão analisados a seguir, permitindo uma análise mais aprofundada dos resultados em questão.

5.3.1 Turbidez

A Tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios realizados, juntamente com suas respectivas médias. Observa-se uma notável diferença de turbidez entre os ensaios submetidos a um tempo de homogeneização mais prolongado (2 e 4) e aqueles sujeitos a um tempo de homogeneização mais curto (1 e 3).

Para proporcionar um entendimento mais aprofundado sobre quais fatores e níveis foram mais significativos, os valores dos efeitos de primeira e segunda ordem foram comparados por meio do produto do erro pelo t de student, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 8 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação a turbidez.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média (NTU)	Desvio Padrão
1	66,33	65,63	65,98	0,49
2	41,37	42,23	41,80	0,60
3	64,27	65,07	64,67	0,56
4	46,37	45,73	46,05	0,45

Fonte: Do autor (2024).

Ao analisar a Tabela 8, destaca-se que o ensaio 2, que utilizou o tempo de homogeneização de 30 minutos e a concentração do coagulante a 5g/L, alcançou o melhor resultado em termos de redução de turbidez em comparação com os demais ensaios. A redução da turbidez, quando comparada à amostra não tratada com um período de homogeneização de 30 minutos que teve média de 116,6 NTU, alcançou um índice de redução de 64,15 %.

Martins e Higawa (2021) alcançaram uma taxa de remoção de 69,88% em amostras de água com uma turbidez de 352 NTU, empregando concentrações do coagulante *Moringa oleifera* de 5 g/L e um tempo de homogeneização próximo ao período que proporcionou os melhores resultados nesta etapa do estudo.

Tabela 9 - 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 1 2	Erro	Erro*t de student
-21,4	1,47	2,78	0,3774	1,0481

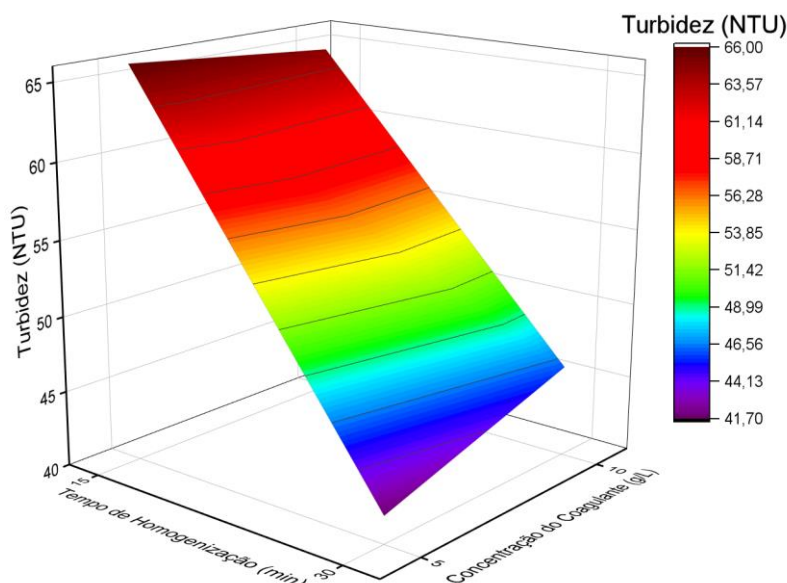
Fonte: Do autor (2024).

Analisando a Tabela 9 e comparando o Efeito 1, que se relaciona ao tempo de homogeneização, com o produto do erro pelo t de Student, nota-se que o valor do Efeito 1 é muito superior em módulo, sugerindo sua grande significância. Como este efeito é negativo, significa que ao aumentar de um nível menos (-) para um nível mais (+), ocorre uma redução na turbidez. Este resultado é interessante, visto que o objetivo do coagulante é justamente reduzir a turbidez da água. Assim, para obter melhores resultados, o tempo de 30 minutos de homogeneização é mais adequado.

Quanto ao Efeito 2, que trata da concentração da solução coagulante, e ao Efeito 1 2, que representa a interação entre o tempo de homogeneização e a concentração do coagulante, seus valores são um pouco maiores do que o produto do erro pelo t de Student, mas ainda estão na mesma ordem de grandeza. Isso sugere que a concentração do coagulante e sua interação com o tempo de homogeneização não têm efeitos significativos na resposta obtida.

A Figura 21 mostra o gráfico de superfície de resposta em relação à turbidez. É evidente que ao passarmos do menor nível, que corresponde ao menor tempo de homogeneização do coagulante, para o maior nível, ocorre uma redução significativa da turbidez, para as duas concentrações.

Figura 21 – Gráfico de superfície de resposta referente a turbidez da água 1 pós-tratamento



Fonte: Do autor (2024).

É digno de nota que, mesmo com uma concentração superior no ensaio 3, o qual foi submetido a um tempo de agitação menor, a turbidez permaneceu mais elevada em comparação aos ensaios de tempo de agitação mais longo (2 e 4). Este resultado sugere que, mesmo com uma concentração da suspensão inferior, o aumento do tempo de agitação proporcionou resultados mais favoráveis.

Segundo Moreti *et al.* (2013), essa tendência pode ser atribuída ao aumento da carga orgânica, que se intensifica com a concentração do coagulante a 10 g/L, devido à alta presença de substâncias orgânicas na *Moringa oleifera*, como óleo, proteínas e gorduras.

5.3.2 pH

Levando em conta os resultados de pH obtidos para cada ensaio (consulte a Tabela 10), foram determinados os efeitos de primeira ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo t de Student (consulte a Tabela 11). Os resultados relativos ao pH, apresentados na Tabela 10, demonstraram valores relativamente próximos a neutralidade, constituindo um cenário aceitável.

O estudo conduzido por Camacho *et al.* (2017) identificou que a adição de coagulantes de *Moringa oleifera* não resultou em alterações significativas no pH da água, independentemente das concentrações utilizadas. Ao analisar a Tabela 10, observamos um comportamento semelhante nas leituras de pH pós-tratamento, onde, apesar dos ensaios terem

apresentado um aumento do pH, essa variação não é significativa em relação ao pH inicial da amostra de água cinza.

Tabela 10 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação ao pH.

Ensaios	Resposta 1	Resposta 2	Média	Desvio Padrão
1	7,17	7,19	7,18	0,01
2	7,34	7,47	7,41	0,09
3	7,44	7,50	7,47	0,04
4	7,16	7,20	7,18	0,02

Fonte: Do autor (2024).

Ao examinar a Tabela 11, observa-se a ausência de efeitos significativos, devido aos valores serem, em módulo, inferiores ou da mesma ordem de grandeza do produto do erro pelo t de Student. Portanto, é justificável adotar as condições de tratamento que apresentaram os resultados mais favoráveis em relação aos demais parâmetros analisados, já que os efeitos não foram significativos em relação as análises de pH.

Tabela 11 - 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 1 2	Erro	Erro*t de student
-0,0325	0,0325	-0,2575	0,0375	0,1041

Fonte: Do autor (2024).

5.3.3 Salinidade

Com base nos resultados da salinidade obtidos para cada ensaio (ver a Tabela 12), foram determinados os efeitos de primeira ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo t de Student (ver a Tabela 13). É possível observar um aumento em relação à salinidade inicial de 0,43 ppt, o que ocorreu devido à utilização dos extratos coagulantes produzidos a partir de uma solução de NaCl 1 mol/L como solvente. Os resultados obtidos nos ensaios conduzidos revelaram uma estreita proximidade entre os valores finais, evidenciando pouca variação entre as medições.

Tabela 12 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2² em relação a salinidade.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média (ppt)	Desvio Padrão
1	14,50	14,60	14,55	0,07
2	13	12,90	12,95	0,07
3	15	14,90	14,95	0,07
4	13,90	13,80	13,85	0,07

Fonte: Do autor (2024).

Observando a Tabela 13 e analisando o Efeito 1, que está relacionado ao tempo de homogeneização, em comparação com o produto do erro pelo t de Student, percebe-se que o valor do Efeito 1 é maior em módulo do que o produto do erro pelo t de Student, indicando sua significância, embora seja significativamente menor do que é para a turbidez. Como este efeito é negativo, sugere que ao aumentar de um nível menos (-) para um nível mais (+) neste fator, há uma leve diminuição no valor da salinidade. Dessa forma, para a obtenção de resultados mais favoráveis desse parâmetro, o tempo de homogeneização se mostrou o mais apropriado.

Por outro lado, o Efeito 2, relacionado à concentração da solução coagulante, também demonstrou um valor um pouco superior ao produto do erro pelo valor de t de Student. Dado que seu valor é positivo, ao transitar do nível inferior para o superior, observa-se um aumento na salinidade. Entretanto, devido à sua magnitude ser da mesma ordem de grandeza, esse aumento não é significativamente elevado.

O Efeito 1 2, que corresponde a interação entre o tempo de homogeneização e a concentração do coagulante, exibiu um valor um pouco maior que o produto do erro pelo t de Student, mas da mesma ordem de grandeza, surgindo que esses efeitos não foram significativos.

Tabela 13 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à salinidade.

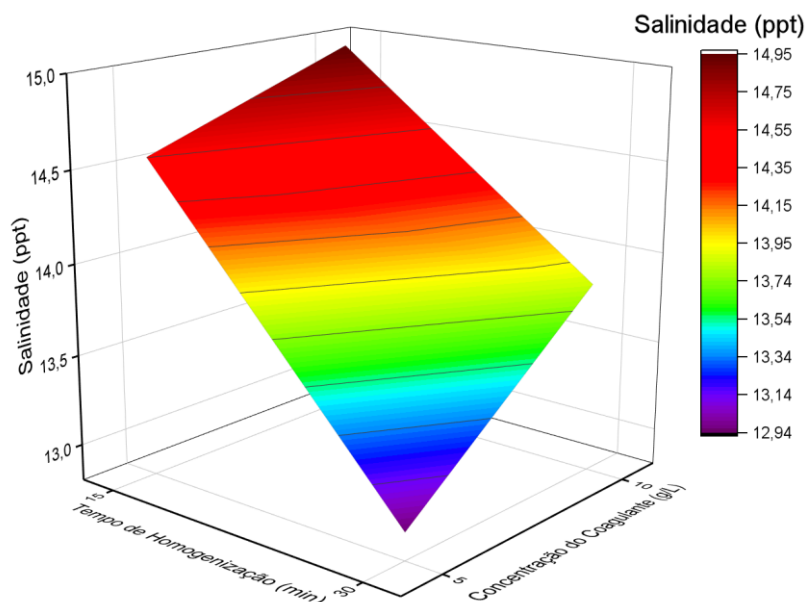
Efeito 1	Efeito 2	Efeito 1 2	Erro	Erro*t de student
-1,35	0,65	0,25	0,05	0,1388

Fonte: Do autor (2024).

A Figura 22 exibe o gráfico de superfície de resposta em relação à salinidade. É possível observar que ao passar do menor nível, correspondente ao efeito 1 que relaciona o tempo de homogeneização do coagulante, para o maior nível, ocorre uma ligeira redução da salinidade. Já quando a concentração é aumentada, é possível observar um leve aumento na

salinidade. Dessa forma, para a obtenção de resultados mais favoráveis desse parâmetro, o tempo de homogeneização de 30 minutos se mostrou o mais apropriado.

Figura 22 – Gráfico de superfície de resposta referente a salinidade da água 1 pós-tratamento.



Fonte: Do autor (2024).

5.3.4 Condutividade

Considerando os resultados de condutividade obtidos para cada ensaio (consulte a Tabela 14), de maneira similar as etapas já realizadas, foram determinados os efeitos de primeira ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo t de Student (consulte a Tabela 15). Assim como a salinidade, a condutividade também registrou um aumento significativo em relação às análises iniciais das amostras coletadas, que tiveram média de 822,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que pode ser atribuído à utilização dos extratos coagulantes à base de NaCl 1 mol/L. Araújo *et al.* (2021) empregaram o coagulante proveniente da semente da *Moringa oleifera* em combinação com NaCl 1 mol/L, resultando em um aumento de 715% no valor da condutividade observada.

Tabela 14 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2² em relação a condutividade.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média (μS/cm)	Desvio Padrão
1	23030	23370	23200	240,41
2	21930	22570	22250	452,54
3	23200	23730	23465	374,76
4	22330	22430	22380	70,71

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 15 - 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 1 2	Erro	Erro*t de student
-1017,5	197,5	-67,5	225,8456	627,1733

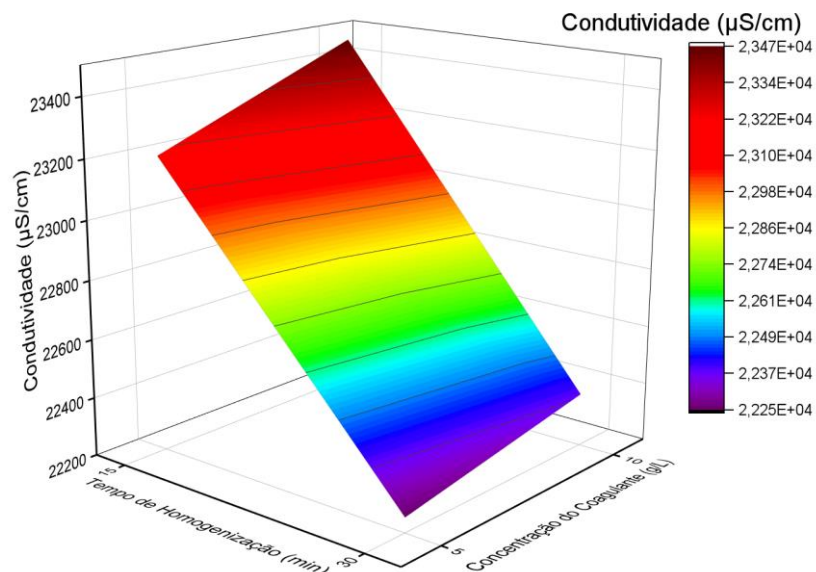
Fonte: Do autor (2024).

Analizando a Tabela 15, observa-se que o Efeito 1, que está associado ao tempo de homogeneização, possui um valor em módulo maior que o erro pelo t de student, o que indica a sua significância, embora essa significância seja consideravelmente menor em comparação com o observado para a turbidez. Como esse efeito é negativo, ocorre uma leve diminuição da condutividade ao aumentar de um nível menos (-) para um nível mais (+), nesse fator.

Já o Efeito 2, que trata da concentração da solução coagulante, apresentou um valor inferior ao erro pelo t de student, assim como o Efeito 1 2, que corresponde a interação entre o tempo de homogeneização e a concentração do coagulante, o que indica que esses efeitos não foram significativos.

A Figura 23, que exibe o gráfico de superfície de resposta, confirma o que foi mencionado anteriormente. Ao mudarmos de um nível mais baixo para um nível mais alto, do efeito 1 que relaciona o tempo de agitação, há uma leve redução na condutividade. Assim como ocorreu para a salinidade, o tempo de homogeneização de 30 minutos, se mostrou o mais apropriado para obtenção de resultados favoráveis.

Figura 23 – Gráfico de superfície de resposta referente a condutividade da água 1 pós-tratamento.



Fonte: Do autor (2024).

5.4 ÁGUA 2 PÓS-TRATAMENTO

De maneira análoga ao procedimento adotado para a água 1, foram conduzidas análises nos resultados pós-tratamento da água 2 que possui baixa turbidez, após aplicação dos coagulantes, de acordo com o planejamento fatorial previamente estabelecido, onde foram efetuadas medições dos parâmetros físico-químicos da água recém-tratada como turbidez, pH, salinidade e condutividade. Dessa forma, foi possível realizar os cálculos das médias, desvios, efeitos, erro e o produto do erro pelo t de Student. Esses resultados serão analisados a seguir.

5.4.1 Turbidez

A Tabela 16 apresenta os resultados dos ensaios conduzidos para avaliação da turbidez, incluindo suas respectivas médias. Observa-se uma diferença significativa entre os ensaios realizados, aqueles com concentrações mais elevadas de coagulante exibiram níveis mais elevados de turbidez. Em contrapartida, os ensaios que registraram redução na turbidez apresentaram uma variação relativamente modesta.

Tabela 16 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2² em relação a turbidez.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média (NTU)	Desvio Padrão
1	26,00	25,97	25,99	0,02
2	27,13	27,10	27,12	0,02
3	52,33	52,90	52,62	0,40
4	48,13	47,87	48,00	0,18

Fonte: Do autor (2024).

De maneira semelhante ao procedimento anterior, os valores dos efeitos de primeira e segunda ordem foram comparados utilizando o produto do erro pelo t de Student, conforme apresentado na Tabela 17, para proporcionar um entendimento aprofundado sobre quais fatores e níveis foram significativos.

Tabela 17 - 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 1 2	Erro	Erro*t de student
-1,7425	23,7575	-2,8725	0,1569	0,4359

Fonte: Do autor (2024).

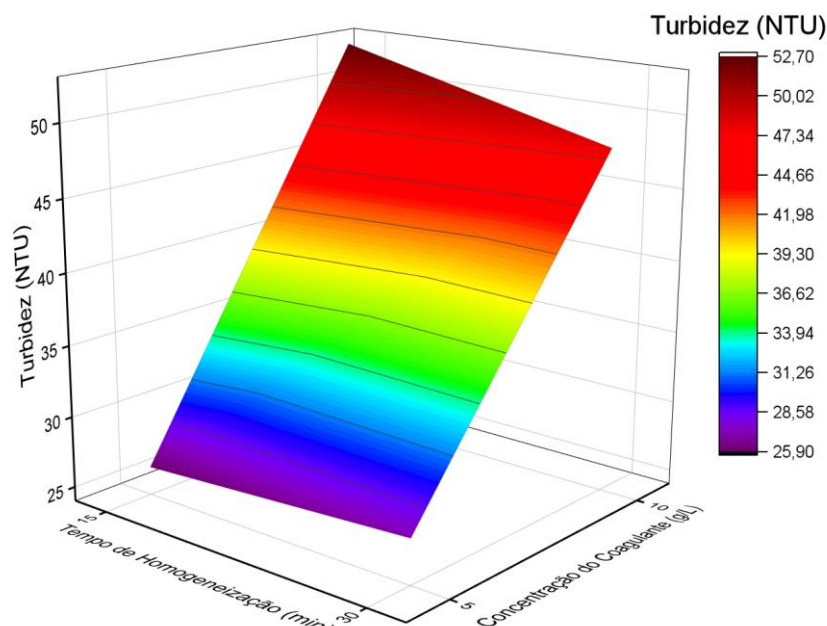
Analizando o Efeito 2, que está relacionado à concentração do coagulante, é notável uma considerável variação de seu valor em relação ao produto do erro pelo t de Student. O fato deste valor ser positivo sugere que há um aumento na turbidez ao se aumentar de um nível mais baixo para um nível mais alto, ou seja, quando há aumento na concentração do coagulante, ocorre um aumento da turbidez da amostra.

O Efeito 1, relacionado ao tempo de homogeneização do coagulante, e o Efeito 1 2, que representa a interação entre o tempo de homogeneização e a concentração do coagulante, demonstraram valores diferentes do produto do erro pelo teste t de Student, porém em magnitude inferior ao Efeito 2. Como esses valores são negativos, nota-se uma ligeira redução da turbidez ao aumentar de um nível mais baixo para o mais alto em ambos os efeitos.

Um dos motivos para esse aumento é a baixa eficiência dos coagulantes de *Moringa oleifera* em água de baixa turbidez. Estudos conduzidos por Okuda *et al.* (2001), verificaram que a eficácia das propriedades coagulantes da moringa foi mais eficiente em amostras de água com alta turbidez. Ao observar tanto a Tabela 4, nota-se que a água 1 apresenta uma turbidez superior à da água 2 nos parâmetros iniciais das amostras.

Analizando a Figura 24, confirma as conclusões discutidas anteriormente, mostrando que quando a concentração do coagulante é aumentada, há um aumento significativo em relação a turbidez.

Figura 24 - Gráfico de superfície de resposta referente a turbidez da água 2 pós-tratamento.



Fonte: Do autor (2024).

Outro fator que possivelmente influenciou esses resultados é o pH das amostras tratadas. Em um estudo conduzido por Muthuraman e Sasikala (2014), foi observado que a eficiência dos coagulantes de *Moringa oleifera* na remoção da turbidez diminuía à medida que o pH aumentava. Esta relação foi observada pelos dados apresentados na Tabela 4, onde o pH das amostras de água 2 foi mais elevado do que o das amostras de água 1.

5.4.2 pH

Os resultados de pH fornecidos na Tabela 18 revelaram uma notável consistência, com valores próximos uns aos outros e indicando uma tendência à alcalinidade, o que representa resultados satisfatórios.

Pode-se observar que, de forma semelhante aos resultados obtidos na água 1, na água 2, que apresentou um pH médio de 7,68, não houve uma variação significativa desse parâmetro para as amostras de água após o tratamento. Isso também foi comprovado por Silva (2005), que observou que a introdução de coagulantes derivados da *Moringa oleifera* não resultou em variações significativas no pH da água.

Tabela 18 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação ao pH.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média	Desvio Padrão
1	7,87	7,82	7,85	0,03
2	7,75	7,70	7,73	0,05
3	7,40	7,46	7,43	0,04
4	7,56	7,58	7,57	0,01

Fonte: Do autor (2024).

Analizando a Tabela 19, é possível perceber que o Efeito 2, que está relacionado a concentração do coagulante, apresenta valor em módulo um pouco maior que o produto do erro pelo t de Student. Como o seu valor é negativo, e sua magnitude não é tão grande, nota-se uma leve redução do pH quando sai de um nível mais baixo para o nível mais alto nesse efeito.

Já o Efeito 1, ligado ao tempo de homogeneização, apresenta valor menor que o produto do erro pelo t de Student, sendo não significativo. O Efeito 1 2, que associa a interação entre o tempo de homogeneização e a concentração do coagulante, apresenta valor em módulo da mesma ordem de grandeza que o produto do erro pelo t de Student, sendo também não significativo.

Dessa forma, é conveniente optar, da mesma forma que foi feito com a água 1, pelas condições de tratamento que demonstraram os resultados mais promissores em relação aos outros parâmetros analisados, visto que os efeitos não foram significantes nas análises de pH.

Tabela 19 - 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 1 2	Erro	Erro*t de student
0,01	-0,285	0,13	0,0237	0,0658

Fonte: Do autor (2024).

5.4.3 Salinidade

Considerando os resultados da salinidade obtidos para cada ensaio (ver a Tabela 20), foram determinados os efeitos de primeira ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo t de Student (ver a Tabela 21). Houve um aumento em relação à salinidade inicial que obteve um valor de 0,39 ppt, explicado pela utilização dos extratos coagulantes à base de NaCl 1 mol/L. Os resultados dos ensaios realizados mostraram uma proximidade notável entre os valores, indicando uma variação mínima entre as medições.

Tabela 20 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2² em relação a salinidade.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média (ppt)	Desvio Padrão
1	13,50	13,50	13,50	0
2	13,90	14,00	13,95	0,07
3	14,40	14,20	14,30	0,14
4	14,80	14,90	14,85	0,07

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 21 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação a salinidade.

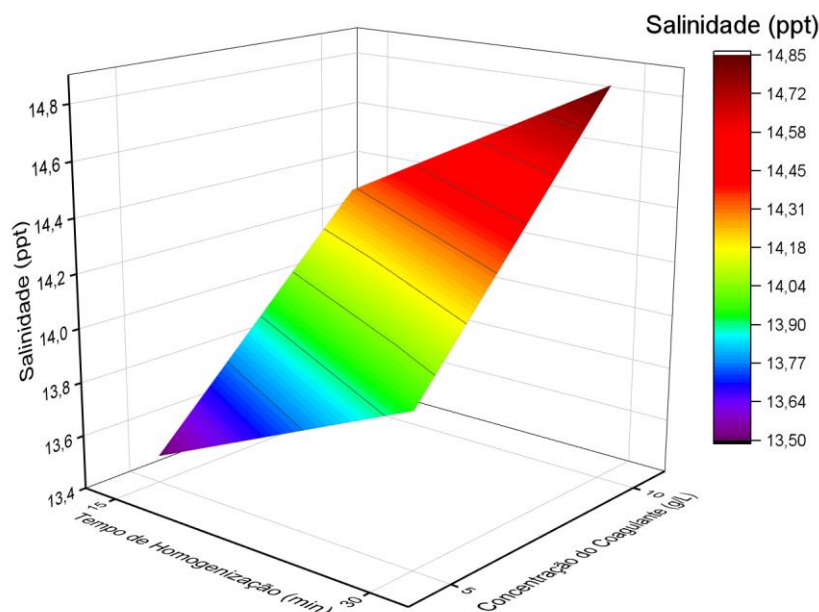
Efeito 1	Efeito 2	Efeito 1 2	Erro	Erro*t de student
0,5	0,85	0,05	0,0612	0,1700

Fonte: Do autor (2024).

A Tabela 21, mostra que o Efeito 1, correspondente a tempo de homogeneização do coagulante, e o Efeito 2, correspondente a concentração do coagulante, mostra valores em módulo superiores ao produto do erro pelo t de Student, com magnitudes inferiores ao que foi observado para a turbidez. Como seus valores são positivos, isso mostra que quando se aumenta de um nível mais baixo para um nível mais alto, a um pequeno aumento da salinidade nesses fatores.

O Efeito 1 2, que envolve a interação entre o tempo de homogeneização e a concentração do coagulante, demonstrou um valor em módulo menor que o produto do erro pelo t de Student, sendo não significativo.

A Figura 25 ilustra precisamente esse padrão, mostrando que em ambos os casos, ao aumentar o tempo de agitação e a concentração do coagulante, ocorre um leve aumento na salinidade.

Figura 25 – Gráfico de superfície de resposta referente a salinidade da água 2 pós-tratamento.

Fonte: Do autor (2024).

5.4.4 Condutividade

Diante dos resultados de condutividade obtidos para cada ensaio (Ver Tabela 22), os efeitos de primeira ordem, os efeitos de interação, o erro e o produto do erro pelo t de Student foram determinados (Ver Tabela 23), seguindo um procedimento semelhante ao das etapas anteriores. Assim como a salinidade, a condutividade também apresentou um aumento significativo em relação às análises iniciais das amostras coletadas que tiveram média de 740,68 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que pode ser atribuído à utilização dos extratos coagulantes à base de NaCl 1 mol/L.

Tabela 22 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2^2 em relação a condutividade.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Desvio Padrão
1	21300	21700	21500	282,84
2	22970	22700	22835	190,91
3	23730	23800	23765	49,50
4	24130	24200	24165	49,50

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 23 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação a condutividade.

Efeito 1	Efeito 2	Efeito 1 2	Erro	Erro*t de student
867,5	1797,5	-467,5	123,1614	342,0194

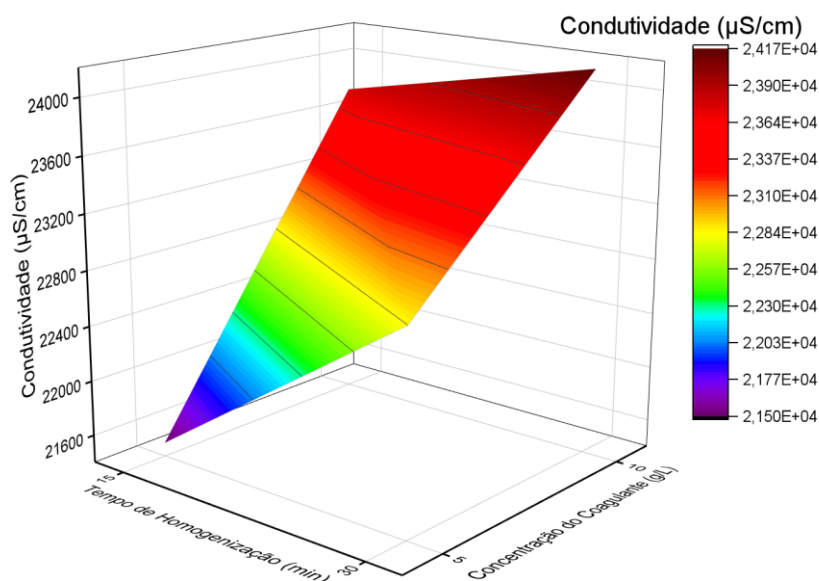
Fonte: Do autor (2024).

Ao analisar os efeitos 1 e 2, associados ao tempo de homogeneização e à concentração do coagulante, respectivamente, observamos que ambos apresentam valores em módulo maiores que o produto do erro pelo t de Student. Dado que esses valores são positivos, observa-se um aumento na condutividade em ambos os casos. Entretanto, esse aumento não é tão significativo como foi para a turbidez. Portanto, há um leve aumento na condutividade.

O Efeito 1 2, que representa a interação entre o tempo de homogeneização e a concentração do coagulante, demonstrou valores de magnitude semelhante ao produto do erro pelo t de Student, podendo ser desconsiderado.

A Figura 26 exibe o gráfico da superfície de resposta para este parâmetro, e é possível observar que ao aumentar o tempo de homogeneização, há um aumento no valor da condutividade. Além disso, esse aumento também é observado ao aumentar a concentração do coagulante, sendo que o aumento é mais significativo com o tempo de homogeneização maior.

Figura 26 – Gráfico de superfície de resposta referente a condutividade da água 2 pós-tratamento.



Fonte: Do autor (2024).

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir que o coagulante natural salino da *Moringa oleifera* demonstra eficácia no tratamento da água cinza, uma vez aplicado conforme descrito.

No que diz respeito a turbidez, o coagulante demonstrou maior eficácia nas amostras de água 1, que apresentam níveis mais elevados de turbidez, alcançando uma taxa de remoção de 64,15 % após 30 minutos de homogeneização. Tanto o coagulante com menor concentração (5 g/L) quanto o com maior concentração (10 g/L) foram mais eficazes quando o tempo de homogeneização foi prolongado. No entanto, na água 2, o coagulante com menor concentração resultou em uma redução mínima da turbidez, enquanto o de maior concentração teve um efeito adverso, aumentando a turbidez das amostras de água que possuíam menor turbidez. Portanto, pode-se afirmar que para águas de menor turbidez, o coagulante de *Moringa oleifera* não apresenta eficácia, considerando as concentrações do coagulante utilizadas nesse trabalho.

Em relação ao pH, a aplicação dos coagulantes de *Moringa oleifera* tanto na água 1 quanto na água 2 não provocou alterações significativas em comparação com os valores iniciais dessas amostras de água, independentemente da concentração do coagulante ou do tempo de homogeneização.

Na análise da salinidade e condutividade, foi notado um padrão similar em ambos os ensaios, demonstrando um considerável aumento em relação aos valores iniciais. Este fenômeno pode ser explicado pelo emprego de coagulantes de *Moringa oleifera* em solução aquosa de NaCl com uma concentração de 1 mol/L. Tal comportamento é atribuído devido a relação desses parâmetros, onde o aumento da salinidade resulta em um aumento da condutividade elétrica do meio.

Dessa forma, apesar do aumento nos parâmetros de salinidade e condutividade, o que representa um aspecto negativo, os demais parâmetros, como turbidez e pH, mostraram-se comportamentos aceitáveis. A turbidez diminuiu na maioria dos ensaios, enquanto o pH permaneceu sem variações significativas em todos os ensaios. Para solucionar o problema da salinidade e condutividade, seria pertinente explorar o uso de coagulantes com menor concentração molar de NaCl, por exemplo, 0,5 mol/L. Em relação ao aumento da turbidez observado na água 2 com os coagulantes de maior concentração, seria prudente reduzir a

concentração do coagulante, a fim de otimizar sua eficácia em amostras de água com menor turbidez.

Portanto, pode-se concluir que o processo de coagulação utilizando coagulantes de *Moringa oleifera* em solução aquosa de NaCl 1,0 mol/L como solvente demonstrou eficácia na remoção da turbidez e na não alteração significativa do pH das amostras de água cinza, contribuindo assim para a melhoria da qualidade da água tratada, levando em consideração esses dois parâmetros.

Para a amostra de água 1, os resultados mais eficazes foram alcançados ao adotar um período de homogeneização de 30 minutos e uma concentração de coagulante de 5 g/L. Nessa configuração, a turbidez foi reduzida registrando uma média de 41,80 NTU pós-tratamento. Em contrapartida, embora a salinidade e a condutividade tenham aumentado em relação aos valores iniciais, ambas atingiram seus valores mais baixos após a aplicação do coagulante nessas condições.

Para a amostra de água 2, observou-se que o coagulante de *Moringa oleifera* não foi tão eficaz quanto na amostra de água 1, principalmente devido à baixa turbidez dessa amostra. No entanto, em relação aos parâmetros de salinidade e condutividade, os melhores resultados após a aplicação do coagulante foram obtidos com um tempo de homogeneização de 15 minutos e uma concentração de 5 g/L.

REFERÊNCIAS

ALI, E. N.; MUYIBI, S. A.; SALLEH, H. M.; ALAM, M. Z.; SALLEH, M. R. M. Production of Natural Coagulant from Moringa Oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. **Journal Of Water Resource And Protection**, v. 02, n. 03, p. 259-266, dez. 2010. Disponível em: <https://www.scirp.org/html/10-9400117_1498.htm>. Acesso em: 23 jun. 2023.

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

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/>>. Acessado em 14 nov 2023.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021**: relatório pleno. Brasília: Ana, 2022. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_2021_pdf_final_revdirec.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2023.

ARANTES, C. C. **UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS À BASE DE SEMENTES DE Moringa oleifera E TANINO COMO AUXILIARES DA FILTRAÇÃO EM MANTAS NÃO TECIDAS**. 2010. 128 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ARAÚJO, N. S.; SOUZA, N. F.; LIMA-FARIA, J. M.; PAZ, A. T. S.; SCALIZE, P. S.; SABÓIA-MORAIS, S. M. T.; RUGGERI JUNIOR, H. C.; CONCEIÇÃO, E. C. Treatment of cosmetic industry wastewater by flotation with Moringa oleifera Lam. and aluminum sulfate and toxicity assessment of the treated wastewater. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 1199-1209, 4 ago. 2021.

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.

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.

BANCO MUNDIAL. **Brazil may be the Owner of 20% of the World's Water Supply but it is still Very Thirsty**. Washington, D.C: World Bank, 2016. Disponível em:<<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2016/07/27/how-brazil-managing-water-resources-new-report-scd>>. Acesso em: 11 nov. 2023. (a).

BANCO MUNDIAL. **High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy**. Washington, D.C: World Bank, 2016. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/a370e177-5b9d-507c-bcc4-c357f6f97c35>>. Acesso em: 11 nov. 2023. (b).

BANKS, W. A.; NIEHOFF, M. L.; DRAGO, D.; ZATTA, P. Aluminum complexing enhances amyloid β protein penetration of blood–brain barrier. **Brain Research**, [S.L.], v. 1116, n. 1, p. 215-221, out. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000689930602292X?casa_token=ksVgMFaVD5QAAAAA:TeJD49KNwTE42slqTz2mZsE97WlOzvsj0j00nbIdU6QFOp3Fj7i0pUNC_SV-Er7IB7JSMZ6m>. Acesso em: 29 jul. 2023.

BAWA, L. M.; DJANEYE-BOUNDJOU, G.; BOUKARI, Y.; SANI, A. Coagulação de algumas soluções húmicas ácidas pela *Moringa oleifera* Lam: efeito na exigência do cloro. **Boletim da Sociedade Química da Etiópia**, v. 15, n. 2, p. 119-129, 2001.

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.

BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 295-299, jun. 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/hb/a/WdxmGFfWQJWvcFsXNPh8Wtx/?format=html&lang=pt>>. Acesso em: 9 nov. 2023.

BLANKY, M; RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, S; HALPERN, M; FRIEDLER, E. Legionella pneumophila: from potable water to treated greywater; quantification and removal during treatment. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 533, p. 557-565, nov. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715303259?via%3Dihub>>. Acesso em: 4 dez. 2023.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da moringa oleifera lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

BOUAROU DJ, Sara; MENAD, Ahmed; BOUNAMOUS, Azeddine; ALI-KHODJA, Hocine; GHERIB, Abdelfettah; WEIGEL, Dana E.; CHENCHOUNI, Haroun. Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. **Chemosphere**, [S.L.], v. 219, p. 76-88, mar. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653518323002?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Consulta pública sobre critérios para reúso direto de água começa nesta quinta-feira (20)**. Brasília, Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, 20 out. 2022. Disponível em:

<<https://www.gov.br/mdr/pt-br/ultimas-noticias/consulta-publica-sobre-criterios-para-reuso-direto-de-agua-comeca-nesta-quinta-feira-20>> Acesso em: 18 out. 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2019**. Brasília, 2020.

CALDEIRA, N. C. A. **AValiação da Moringa oleifera LAM PARA REMOÇÃO DE DUREZA DE ÁGUAS**. 2012. 44 f. Monografia (Especialização) - Curso de Recursos Hídricos e Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2012.

CAMACHO, F. P; SOUSA, V. S; BERGAMASCO, R; TEIXEIRA, M. R. The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 313, p. 226-237, abr. 2017.

CARVALHO, L. D. A emergência da lógica da “convivência com o semi-árido” e a construção de uma nova territorialidade. **Educação para a convivência com o semiárido: reflexões teórico práticas**. Juazeiro-BA: Secretaria Executiva da Rede de Educação do Semiárido Brasileiro, 2004.

CARVALHO, M. J. H. **USO DE COAGULANTES NATURAIS NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL**. 2008. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CASTRO, Haroldo; PAULINO, Giselle. **Moringa, a árvore mágica que pode acabar com a fome no mundo**. 2015. Disponível em: <<https://epoca.oglobo.globo.com/colunas-e-blogs/viajologia/noticia/2015/06/moringa-arvore-magica-que-pode-acabar-com-fome-no-mundo.html>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

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

ERIKSSON, E; AUFFARTH, K; HENZE, M; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 85-104, mar. 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462075801000644?casa_token=uAtRd-rKEfcAAAAA:rrylnqDvW9obdwerfa9ds_e1c3jP8ui0e_sql9Pa9U_TVmQ0hw6x3Qx-UqKd6-0SBxUwpA-bA>. Acesso em: 27 nov. 2023.

FAO. **El riego en América del Sur, Centroamérica y Caribe en cifras**. Roma: Fao, 2016. Disponível em: <<https://www.fao.org/publications/card/es/c/CA3580ES>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

FIGUEIREDO, M. T. S.; SANTOS, C. B.; SANTOS, M. H.; SILVA, D. K.; OLIVEIRA, T. L. R. Water treatment using Moringa oleifera seed extract: An integrative review. **Research**,

Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 1-9, jan. 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i2.25889. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25889>>. Acesso em: 11 julho. 2023.

FIORI, S; FERNANDES, V. M. C; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 1, p. 19-30, abr. 2006.

FOIDL, N; MAKKAR, H.P.S; BECKER, K. The potential of Moringa oleifera for agricultural and industrial uses. **What Developm Ent Pot Ent ial For Moringa Product s ?**, Dakar, p. 45-76, nov. 2001.

FRANCO, C. S; BATISTA, M. D. A; OLIVEIRA, L. F. C; KOHN, G. P; FIA, R. Coagulação com semente de moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 781-788, ago. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/ZGTXxZwjpZH9wJZtKyXjh8B/>. Acesso em: 29 jan. 2024.

FRIGHETTO, R. T. S.; FRIGHETTO, N.; SCHNEIDER, R. P.; LIMA, P. C. Fernandes. O Potencial da Espécie Moringa oleifera (Moringaceae). I. A Planta como Fonte de Coagulante Natural no Saneamento de Águas e como Suplemento Alimentar. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 02, p. 78-88, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/76>>. Acesso em: 08 ago. 2023.

GALLÃO, M. I; DAMASCENO, L. F; BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

GUEYRARD, D.; BARILLARI, J.; IORI, R.; PALMIERI, S.; ROLLIN, P. First synthesis of an O-glycosylated glucosinolate isolated from Moringa oleifera. **Tetrahedron Letters**, [S.L.], v. 41, n. 43, p. 8307-8309, out. 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040403900014660>>. Acesso em: 5 dez. 2023.

HESPANHOL, I. Água e Saneamento Básico. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G.. (Org.). **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Escrituras, 2006, v. 3, p. 269-324.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 75-95, dez. 2002. Disponível em:

<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4904400/mod_resource/content/1/leitura%20complementar%20aula%204.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2023.

JAHN, S. A. A. Monitored Water Coagulation with Moringa Seeds in Village Households. **Gtz: Gate**, [s. l.], n. 1, p. 40-41, maio 1989.

KERR W E; SILVA, A. R. **Moringa: uma nova hortaliça para o Brasil**. Uberlândia: Ufu/Diriu, 1999. 95 p.

LADOJA, N.A.; SALIU, T.D.; OLOLADE, I.A.; ANTHONY, E.T.; BELLO, G.A.. A new indigenous green option for turbidity removal from aqueous system. **Separation And Purification Technology**, [S.L.], v. 186, p. 166-174, out. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586616329148?casa_token=me5tk6V8yScAAAAA:hagKxrO2vr1_axa5L4I-aqdiMGMWdBy3RGwEVY51vLnPa59UGzE0qwVITxqZgbaLgv0avCYd3Q>. Acesso em: 2 dez. 2023.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. 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, jun. 2018.

LOTUFO, L. V. C; KHAN, M. T. H; ATHER, A; WILKE, D. V; JIMENEZ, P. C; PESSOA, C; MORAES, M. E. A; MORAES, M. O. Studies of the anticancer potential of plants used in Bangladeshi folk medicine. **Journal Of Ethnopharmacology**, [S.L.], v. 99, n. 1, p. 21-30, maio 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378874105001145?via%3Dihub>>. Acesso em: 26 nov. 2023.

MADRONA, G. S; BRANCO, I. G; SEOLIN, V. J; ALVES FILHO, B. A; FAGUNDES-KLEN, M. R; BERGAMASCO, R. Evaluation of extracts of Moringa oleifera Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. *Acta Scientiarum. Technology*, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 289-293, maio 2012.

MARCH, J. G.; GUAL, M. Breakpoint Chlorination Curves of Greywater. **Water Environment Research**, [S.I.], v. 79, n. 8, p. 828-832, ago. 2007.

MARINHO, J. B. M; ARRUDA, A. M. V; FERNANDES, R. T. V; MELO, A. S; SOUZA, R. F; SANTOS, L. O. G; FIGUEIRÊDO, L. C; FERNANDES, R. T. V; MESQUITA, A. C. N. Uso da moringa na alimentação animal e humana: Revisão. **Pubvet**, [s. l], v. 10, n. 8, p. 619-627, ago. 2016. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/e955/06264e9558b267653ba6c8b00bf3558f0b9d.pdf>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

MARQUES, Flávia. **Entenda o que é coagulante e sua função no tratamento de água**. Disponível em: <<https://acquablog.acquasolution.com/entenda-o-que-e-coagulante-e-qual-sua-funcao-no-tratamento-de-agua/>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

MARTINS, Ramiro José Espinheira; HIGAWA, Gustavo Eiji. AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES NATURAIS DA SEMENTE DE MORINGA OLEIFERA NA DESIDRATAÇÃO DE LAMAS DO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS. **Meio Ambiente: Gestão, preservação e desenvolvimento sustentável**, [S.L.], v. 3, n. 37, p. 536-551, out. 2021. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/27339>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

MARZZOCO, A; TORRES, B. B. **Bioquímica básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015. 392 p.

MATOS, Antônio Teixeira de. **Poluição Ambiental: Impactos no Meio Físico**. Viçosa: UFV, 2020.

MEDEIROS, R. L. S; CAVALCANTE, A. G; CAVALCANTE, A. C. P; SOUZA, V. C. CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE Moringa oleifera Lam EM DIFERENTES PROPORÇÕES DE COMPOSTO ORGÂNICO. **Revista Ifes Ciência**, [s. l], v. 1, n. 3, p. 204-216, 2017. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/315>. Acesso em: 12 dez. 2023.

MENDONÇA, K. P. L. **TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA PROVENIENTES DE LAVANDERIAS VISANDO REÚSO**. 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

METCALF, L; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh, 2016.

MONTEIRO, R. C. M. **VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREGO DE SISTEMAS TIPO “WETLANDS” PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA VISANDO O REÚSO NÃO POTÁVEL**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MORETI, Livia de Oliveira Ruiz; CAMACHO, Franciele Pereira; BONGIOVANI, Milene Carvalho; STROHER, Ana Paula; NISHI, Leticia; VIEIRA, Angelica Marquetotti Salcedo; BERGAMASCO, Rosangela. EMPREGO DAS SEMENTES DE MORINGA OLEIFERA LAM, COMO COAGULANTE ALTERNATIVO AO POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC), NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS POTÁVEIS. **E-Xacta**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 153-165, 10 jun. 2013. <Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/991>>. Acesso em: 26 dez. 2023.

MOURA, P. G; ARANHA, F. N; HANDAM, N. B; MARTIN, L. E; SALLES, M. J; CARVAJAL, E; JARDIM, R; SOTERO-MARTINS, A. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 25, n. 6, p. 791-808, dez. 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/7888VSVHBqZK7Bnz85X5Z8x/#>>. Acesso em: 2 dez. 2023.

MUNIZ, G. L; DUARTE, F. V; OLIVEIRA, S. B. Uso de sementes de Moringa oleifera na remoção da turbidez de água para abastecimento. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 10, n. 2, p. 454-463, abr. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/QVhp6qcLkncb3kFt5bZKHhp/>>. Acesso em: 08 dez. 2023.

MUTHURAMAN, G.; SASIKALA, S. Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. **Journal Of Industrial And Engineering Chemistry**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 1727-1731, jul. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X13003869>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, [S.L.], v. 29, n. 12, p. 2689-2695, dez. 1995. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043135495001336>>. Acesso em: 5 dez. 2023.

NDABIGENGESERE, A; NARASIAH, K. S; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. **Water Research**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 703-710, fev. 1995. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313549400161Y>>. Acesso em: 1 dez. 2023.

NOGUEIRA, F. C. B. **SEMENTES DE MORINGA E PÓ DE QUIABO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO**. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Animal, Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, 2012.

OKUDA, T; BAES, A; NISHIJIMA, W; OKADA, M. Isolation and characterization of coagulant extracted from *moringa oleifera* seed by salt solution. **Water Research**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 405-410, fev. 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135400002906>>. Acesso em: 8 dez. 2023.

OLADOJA, N.A.; SALIU, T.D.; OLOLADE, I.A.; ANTHONY, E.T.; BELLO, G.A.. A new indigenous green option for turbidity removal from aqueous system. **Separation And Purification Technology**, [S.L.], v. 186, p. 166-174, out.2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586616329148?casa_token=tRR8V4McIhYAAAAA:RQunGIA2TLW-TiloUuvyP3TkkDP-EDD-up_dfK8GG5jP45-0X-E8J1YhAaWLfzItL_euJ1KV>. Acesso em: 1 ago. 2023.

ONU - Organização mundial das nações unidas, **Consumo vampírico está esgotando a água no mundo, afirma secretário-geral da ONU**. 2023. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/224386-consumo-vamp%C3%ADrico-est%C3%A1-esgotando-%C3%A1-gua-no-mundo-afirma-secret%C3%A1rio-geral-da-onu>>. Acesso em: 07 julho 2023.

ONU – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DAS NAÇÕES UNIDAS. **A Agenda 2030**. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 07 julho 2023.

PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

PAULA, H. M. **Uso de suspensões preparadas com sementes de moringa oleifera associada a coagulantes químicos no tratamento da água residuária de usinas de concreto**. 2014. 155 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

PAULA, H. M.; FERNANDES, C. E. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Catalão, v. 23, n. 5, p. 951-961, out. 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/mvMZXkkKwZTLXt9zM3NzGYk/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

PEREIRA, D. F. **POTENCIALIDADES DA MORINGA OLEIFERA LAM NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E NO TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA NA EXTRAÇÃO DE PETRÓLEO**. 2011. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2011. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/5068/1/DAIANE_FARIAS_PEREIRA.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2023.

PEREIRA, E. R; FRANCISCO, A. A; THEODORO, J. D. P; BERGAMASCO, R; FIDELIS, R. COMPARAÇÃO ENTRE A APLICAÇÃO DO COAGULANTE NATURAL MORINGA OLEIFERA E DO COAGULANTE QUÍMICO SULFATO DE ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA COM DIFERENTES NÍVEIS DE TURBIDEZ. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 3010-3020, jun. 2015. Disponível em: <<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28687>>. Acesso em: 9 dez. 2023.

PINTO, E. Geopolítica da água. **Revista de Geopolítica**, [S.I], v. 8, n. 1, p. 19-32, jun. 2017. Disponível em: <<http://revistageopolitica.com.br/index.php/revistageopolitica/article/viewFile/172/166>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

POLIZZI, S.; PIRA, E.; FERRARA, M.; BUGIANI, M.; PAPALEO, A.; ALBERA, R.; PALMI, S. Neurotoxic Effects of Aluminium Among Foundry Workers and Alzheimer's Disease. **Neurotoxicology**, [S.L.], v. 23, n. 6, p. 761-774, dez. 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161813X02000979?casa_token=pTrD6Q1dqkAAAAA:Llxw78ZfpCDxiLhmofhuYyG3sHLmu2Gtpd17dDtAai3lLvMCt6ic5uXlcEy5OpLOKcHG_PMj>. Acesso em: 30 jul. 2023.

RANGEL, M. S. **UM PURIFICADOR NATURAL DE ÁGUA E COMPLEMENTO ALIMENTAR PARA O NORDESTE DO BRASIL**. 2007. Disponível em: <<http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>>. Acesso em: 28 out. 2023.

REBOUÇAS, A. C. **Água no Brasil**: abundância, desperdício e escassez. Bahia análise & dados, v. 13, p. 341-345, 2003.

RIBEIRO, J. V. M; ANDRADE, P. V; REIS, A. G. Moringa oleifera seed as a natural coagulant to treat low-turbidity water by in-line filtration. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 1-9, out. 2019.
RICHTER, Carlos A. **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.

SANTOS FILHO, D. F. **TECNOLOGIA DE TRATAMENTO DE ÁGUA**: água para a indústria. Rio de Janeiro: Almeida Neves Editores, Ltda, 1976. 251 p.

SILVA, C. A. **Estudos aplicados ao uso da Moringa oleifera como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SILVA, C. H. S. T; NUNES, B. R. P; SILVA, E. S; PIRES, J. J. B; ALMEIDA, S. N. R; MORAIS, M. S. N; SILVA, V. M. A; FREITA, C. S. Avaliação comparativa de agentes coagulantes químico e natural no tratamento do efluente da lavagem de veículos no município de Sumé-PB. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1670-1687, jan. 2020.

SILVA, F. J. A; MATOS, J. E. X. Sobre dispersões de moringa oleifera para tratamento de água. **Revista Tecnologia**, Foz de Iguaçu, v. 29, n. 2, p. 157-163, dez. 2008.

SOARES, B.C.V; QUINTÉIRO, S.L; VINDRAMEL, S.M.R. **Tratamento de efluentes na indústria de laticínios**. 2018. Disponível em:

<<https://www.milkpoint.com.br/artigos/industria-de-laticinios/tratamento-de-efluentes-na-industria-de-laticinios-211719/>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

SODRÉ, F. F. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. Grupo de Automação, **Quimiometria e Química Ambiental (Aqqua)**, Brasília, v.1, p.9-16, 2012. Disponível em: <<https://aqqua.unb.br/images/Artigos/Tematicos/difusa.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SOUZA, J. A. **TRATAMENTO DE EFLUENTES: UM ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS EM LATICÍNIOS NO MUNICÍPIO DE ITUIUTABA-MG**. 2022. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2022.

SUASSUNA, J. **Artigo – A má distribuição da água no Brasil**. 2004. Disponível em: <<https://reporterbrasil.org.br/2004/04/b-artigo-b-a-ma-distribuicao-da-água-no-brasil/>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

TAVARES, Fíamã Beatriz; SILVA, Ana Carla Rodrigues da; FERNANDES, Cleyton dos Santos; MOURA, Karidja Kalliany Carlos de Freitas; TRAVASSOS, Kaline Dantas. CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE PIMENTÃO UTILIZANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA TRATADA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 3683-3690, abr. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340702385_CRESCIMENTO_E_PRODUCAO_D_E_PIMENTAO_UTILIZANDO_AGUA_RESIDUARIA_DOMESTICA_TRATADA>. Acesso em: 12 jan. 2024.

TEAGUE, J; JOHNSTON, E. A; GRAHAM, J. P. Water, sanitation, hygiene, and nutrition: successes, challenges, and implications for integration. **International Journal Of Public**

Health, [S.L.], v. 59, n. 6, p. 913-921, jul. 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00038-014-0580-8>>. Acesso em: 29 nov. 2023.

TORRES, D. M.; NASCIMENTO, S. S.; SOUZA, J. F.; FREIRE, J.O. TRATAMENTO DE EFLUENTES E PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO PARA FINS AGRÍCOLAS. **Holos**, [s.l.], v. 8, p. 1-15, dez. 2019. Disponível em: <<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/9192/pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2023.

UN WATER. **VALUING WATER**: the united nations world water development report 2021. Paris: Unesco, 2021. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

WALTON, J.R. Aluminum Involvement in the Progression of Alzheimer's Disease. **Journal Of Alzheimer'S Disease**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 7-43, mar. 2013. Disponível em: <<https://content.iospress.com/articles/journal-of-alzheimers-disease/jad121909>>. Acesso em: 29 jul. 2023.

WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme). **The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource**. Paris: UNESCO, 2017. Disponível em: < <https://www.unep.org/resources/publication/2017-un-world-water-development-report-wastewater-untapped-resource>>. Acesso em: 19 out. 2023.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v., n. 36, p. 126-142, 2014.

APÊNDICE A – PLANEJAMENTO FATORIAL 2²

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Média	1	2	12	R1	R2	Média		Ensaio	Tempo de reação (min)	Concentração da suspensão (g/L)	
2	1	-1	-1	1	66,33	65,63	65,98		1	15	5	
3	1	1	-1	-1	41,37	42,23	41,80		2	30	5	
4	1	-1	1	-1	64,27	65,07	64,67		3	15	10	
5	1	1	1	1	46,37	45,73	46,05		4	30	10	
6												
7												
8	Média	1	2	12		Quadrado dos desvios	0,49		Tempo de Reação (min)	Concentração da suspensão (g/L)		
9	65,98	-65,98	-65,98	65,98		0,7396			5	10		
10	41,8	41,8	-41,8	-41,8		0,64			15	65,98	64,67	
11	64,67	-64,67	64,67	-64,67		0,4096			30	41,80	46,05	
12	46,05	46,05	46,05	46,05								
13	Média	1	2	12		0,2849	Variância conjunta					
14	54,625	-21,4	1,47	2,78								
15						0,14245	variância do efeito					
16						0,37742549	desvio padrão					
17						1,04811058	desvio padrão * t de Student					
18												
19												
20												
21												
22												
23												

Fonte: Do autor (2024).