

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
ENGENHARIA QUÍMICA**

YASMIN CEBAJOS ALVES ARAUJO

**PRODUÇÃO DE BIOCOAGULANTE A PARTIR DE SEMENTES DE MORINGA
OLEÍFERA PARA SUBSTITUIÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO NO
TRATAMENTO DE ÁGUAS EM ETAs**

**Bagé
2021**

YASMIN CEBAJOS ALVES ARAUJO

**PRODUÇÃO DE BIOCOAGULANTE A PARTIR DE SEMENTES DE MORINGA
OLEÍFERA PARA SUBSTITUIÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO NO
TRATAMENTO DE ÁGUAS EM ETAs**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tânia Regina de Souza

**Bagé
2021**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

A29p Araujo, Yasmin Cebajos Alves
Produção de biocoagulante a partir de sementes de moringa
oleífera para substituição de sulfato de alumínio no
tratamento de águas em ETAs / Yasmin Cebajos Alves Araujo.
63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2021.
"Orientação: Tânia Regina de Souza".

1. Acácia branca. 2. Biocoagulante. 3. Coagulante natural.
4. Moringa oleífera. 5. Tratamento de águas. I. Título.

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa**

YASMIN CEBAJOS ALVES ARAUJO

**PRODUÇÃO DE BIOCOAGULANTE A PARTIR DE SEMENTES DE MORINGA
OLEÍFERA PARA SUBSTITUIÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO NO
TRATAMENTO DE ÁGUAS EM ETAs**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de abril de 2021.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Tânia Regina de Souza
Orientadora
UNIPAMPA

Prof^a. Dr^a. Luciana Machado Rodrigues
UNIPAMPA

Prof^a. Dr^a. Maria Alejandra Liendo
UNIPAMPA

Assinado eletronicamente por **LUCIANA MACHADO RODRIGUES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/04/2021, às 17:54, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

Assinado eletronicamente por **TANIA REGINA DE SOUZA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/04/2021, às 20:06, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

Assinado eletronicamente por **MARIA ALEJANDRA LIENDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/04/2021, às 14:09, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0511340** e o código CRC **E74B31B2**.

Dedico essa obra aos meus avós Carlos Marques Araujo e Juçara Maria Martins Araujo, que foram essenciais para o término dessa jornada.

AGRADECIMENTO

Agradeço à toda minha família que sempre esteve comigo em todas as situações, me incentivando a estudar e por todo o carinho e amor.

Agradeço aos meus avós Carlos Marques Araujo e Juçara Maria Martins Araujo, por todo amor, carinho, compreensão e incentivo em todos os aspectos da minha vida, por nunca duvidarem do meu potencial como profissional e pessoa. Por estarem do meu lado sempre por mais arriscado que fosse. Agradeço por nunca virarem as costas para mim, por escutarem minhas dores e entendê-las.

Agradeço às minhas primas Francine Fernandes Araujo e Jéssica Fernandes Araujo por todo incentivo e orientação nas minhas escolhas e ações, por compartilharem comigo as coisas boas do meio acadêmico e as coisas ruins.

Agradeço à minha melhor amiga e irmã não sanguínea Beatriz Hobus Campestrini, por me apoiar sempre nas minhas ações acadêmicas e de vida, por sempre me incentivar, por estar presente sempre que precisei, nos momentos bons e ruins, por ser sempre prestativa a me ouvir e me ajudar quando eu não estava nas melhores condições emocionais. Assim como à sua mãe, Vera Beatriz Hobus Campestrini.

Agradeço às minhas amigas Renata Siqueira de Mello, Marina Dotto Garrastazu e Caroline Siqueira de Mello, por fazerem parte de um momento tão decisivo da minha vida, pelo incentivo e carinho.

Agradeço às minhas amigas e futuras colegas de profissão Gabriela Epp Hubert, Gabriela Fogliato Nunes, Marcella Nunes Carneiro e Mariana Fuchs Costa por estarem junto a mim em todos esses anos de formação, por todo carinho, afeto, por todos os momentos que passamos juntas, pelos momentos bons e ruins. Por minhas palavras serem ouvidas por vocês e por toda a amizade que foi criada há 6 anos atrás. O sucesso virá até nós!

Aos meus mestres, agradeço enormemente pela oportunidade de receber o todo o conhecimento que por eles fora transmitido e carinho. Agradeço, em especial, à Prof^a. Dr^a. Tânia Regina de Souza, pela dedicação e orientação a mim dada para realizar este trabalho e projeto de pesquisa que foram desenvolvidos por nós. Obrigado por acreditar nas minhas ideias e por me ajudar a desenvolver e concluir mais uma etapa.

Aos técnicos e laboratoristas, em especial à técnica Valéria Rondon Mesquita, que em uma situação tão complicada que estamos vivenciando, no meio de uma pandemia, se dispôs a me ajudar a concluir as etapas deste trabalho, não medindo esforços para me ajudar.

“Creían que yo era surrealista, pero no lo era.
Nunca pinté mis sueños. Pinté mi propia
realidad.”

Frida Kahlo

RESUMO

A distribuição de água com padrão de qualidade é de extrema importância, para isso é realizado o tratamento de águas onde o material particulado suspenso no corpo de água é removido, sabe-se que as partículas suspensas ali presentes são um potencial veículo de transporte de microorganismos patogênicos. Para realizar o tratamento da água, processos convencionais que envolvem as etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração são utilizadas. A etapa de coagulação ocorre a partir da adição de um coagulante, sintético ou natural sob agitação rápida e posteriormente lenta, seguido da etapa de sedimentação e filtração. A escolha do coagulante depende das características do corpo de água a ser tratado e quanto à tecnologia, eficiência e custo do mesmo. Os coagulantes químicos sintéticos são os mais utilizados em Estações de Tratamento de Águas (ETAs) pela sua eficiência no processo, porém há diversas problemáticas relacionadas ao seu uso como a quantidade característica de lodo gerado, potencial risco à saúde humana, problemas operacionais e valor agregado ao coagulante. Em vista disso, diversos estudos para o desenvolvimento de coagulantes naturais têm sido realizados como alternativa do uso de coagulantes. A acácia branca (*Moringa oleífera*) é uma árvore natural do norte da Índia e encontrada em regiões subtropicais, a espécie produz frutos com sementes, essas sementes possuem interesse ambiental por serem ricas de proteína catiônica, utilizada na produção de biocoagulante. O uso das sementes moídas de *Moringa oleífera* como biocoagulante permite a remoção de microorganismos em águas destinadas para o consumo humano, além de gerar um lodo biodegradável. Sendo assim, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo a obtenção de um biocoagulante à base das sementes de *Moringa oleífera* como substituto do Sulfato de Alumínio no tratamento de água em ETAs. Com o resultado das caracterizações físicas obteve-se um diâmetro de Sauter de 0,6675 mm, massa específica real de 0,530 g/cm³ e teor umidade presente na semente seca foi de 6,65%. Os resultados obtidos com a análise morfológica, foram de uma semente irregular, de coloração amarelo-claro, oleaginosa e fibrosa. As diferentes concentrações de soluções biocoagulantes produzidas foram eficientes na redução dos parâmetros de pH, cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica da água bruta analisada. Quando comparado com o Sulfato de Alumínio, o biocoagulante mostrou-se mais eficaz no tratamento de águas destinadas ao consumo humano.

Palavras-chave: Acácia branca. Biocoagulante. Coagulante natural. *Moringa oleífera*. Tratamento de águas.

ABSTRACT

The distribution of water with a quality standard and extreme importance, for this purpose water treatment is carried out where the particulate material suspended in the water body comes from, it is known that as suspended there, they are a potential vehicle for the transport of pathogenic microorganisms. To carry out the water treatment, conventional processes that involve the stages of coagulation, flocculation, sedimentation and filtration are used. The coagulation step occurs from the addition of a coagulant, synthetic or natural under rapid and then slow synthesis, followed by the sedimentation and filtration step. The choice of coagulant depends on the characteristics of the water body to be treated and on its technology, efficiency and cost. Synthetic chemical coagulants are the most used in Water Treatment Plants (WTP) due to their efficiency in the process, but several problems related to their use, such as the amount of sludge generated, potential risk to human health, operational problems and added value to the coagulant. In view of this, several studies for the development of natural coagulants have been carried out as an alternative to the use of coagulants. White acacia (*Moringa oleifera*) is a natural tree from northern India and found in subtropical regions, the species produces fruits with seeds, these seeds are of environmental interest because they are rich in cationic protein, exploited in the production of biocoagulant. The use of ground *Moringa oleifera* seeds as a biocoagulant allows the removal of microorganisms in distilled water for human consumption, in addition to generating biodegradable sludge. Therefore, this course conclusion work aims to obtain a biocoagulant based on Moringa oil seeds as a substitute for Aluminum Sulphate in the treatment of water in WTP. With the result of the physical characterizations a *Sauter* diameter of 0.6675 mm was obtained, a real specific mass of 0.530 g/cm³ and a moisture content of 6.65% present in the dry seed. The results obtained with the morphological analysis, were an irregular, light yellow colored, oily and fibrous seed. The different concentrations of biocoagulant solutions produced were efficient in reducing the parameters of pH, color, turbidity, total dissolved solids, dissolved oxygen and electrical conductivity of the raw water analyzed. When compared to Aluminum Sulfate, the biocoagulant proved to be more effective in the treatment of water intended for human consumption.

Keywords: White acacia. Biocoagulant. Natural coagulant. *Moringa oleifera*. Water treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de desestabilização de partículas e formação de flocos	20
Figura 2 – Reação de desacetilação da quitina e conversão em quitosana.....	25
Figura 3 – Estrutura química do tanino hidrolisável (a) e do tanino condensado (b).....	26
Figura 4 – Estruturas vegetais da <i>Moringa oleífera</i>	27
Figura 5 – Fluxograma geral da metodologia utilizada para realização do trabalho.....	36
Figura 6 – Sistema de peneiras	38
Figura 7 – Equipamentos de medições	39
Figura 8 – Módulo de Jar-Test	40
Figura 9 – Morfologia externa das sementes de <i>Moringa oleífera</i>	42
Figura 10 – Análise morfológica interna das sementes de <i>Moringa oleífera</i>	43
Figura 11 – Sementes de <i>Moringa oleífera</i> pré e pós secagem	44
Figura 12 – Curva de distribuição granulométrica	45
Figura 13 – Partículas retidas nas peneiras.....	46
Figura 14 – Solução coagulante de sementes de <i>Moringa oleífera</i>	47
Figura 15 – Solução coagulante de Sulfato de Alumínio	48
Figura 16 – Sementes dispostas na água bruta	48
Figura 17 – Água bruta.....	49
Figura 18 – Água bruta clarificada	50
Figura 19 – Soluções filtradas	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características dos coagulantes mais utilizados	21
Tabela 2 – Composição química das sementes de <i>Moringa oleífera</i>	28
Tabela 3 – Tipos de tratamentos para as classes de águas doces	34
Tabela 4 – VMP's dos parâmetros de água de acordo com as classes de corpo de água	34
Tabela 5 – Condições operacionais para etapas de coagulação, floculação e sedimentação ...	41
Tabela 6 – Resultados da caracterização física	46
Tabela 7 – Análises de parâmetros da água bruta	49
Tabela 8 – Parâmetros avaliados para as soluções clarificadas	50
Tabela 9 – Parâmetros avaliados para as soluções filtradas	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EDTA – Ácido Etilenodiamino Tetra-acético

ETA – Estação de Tratamento de Águas

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez

OD – Oxigênio Dissolvido

PAC – Policloreto de Alumínio

pH – Potencial Hidrogeniônico

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

VMP – Valor Máximo Permitido

LISTA DE SÍMBOLOS

d – Dureza total

D_i – Diâmetro da partícula

d_{ps} – Diâmetro de *Sauter*

F_C – Fator de correção

$V_{amostra}$ – Volume inicial da amostra

V_{EDTA} – Volume de EDTA

x_i – Fração mássica da partícula

ε – Porosidade do leito

ρ_{bulk} – Massa específica bulk

ρ_{real} – Massa específica real

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.1 Objetivos Específicos.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Coagulação e Floculação.....	19
3.1.1.1 Sulfato de Alumínio.....	21
3.1.1.2 Cloreto Férrico.....	22
3.1.1.3 Policloreto de Alumínio (PAC).....	23
3.1.2 Biocoagulantes	24
3.2 Acácia Branca (<i>Moringa oleífera</i>)	27
3.2.1 Emprego da <i>Moringa oleífera</i> como Biocoagulante.....	29
3.3 Parâmetros de Avaliação do Tratamento de Água	30
3.3.1 Turbidez	30
3.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	31
3.3.3 Cor	31
3.3.4 Dureza.....	31
3.3.5 Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	32
3.3.6 Oxigênio Dissolvido (OD).....	32
3.3.7 Condutividade Elétrica	33
3.4 Legislação Brasileira	33
4 MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 Materiais.....	35
4.2 Metodologia.....	36
4.3 Coleta das Sementes de <i>Moringa oleífera</i>	36
4.4 Análise Morfológica das Sementes de <i>Moringa oleífera</i>.....	36
4.5 Pré-tratamento das Sementes de <i>Moringa oleífera</i>	37
4.6 Caracterização Física da Semente <i>Moringa oleífera</i>	37
4.7 Coleta da Água Bruta.....	38
4.8 Análise dos Parâmetros Físico-químicos da Água Bruta.....	38
4.9 Obtenção do Biocoagulante	40
4.10 Ensaio em Jar-Test	40

4.11 Análise de Parâmetros Físico-Químicos da Água Bruta Tratada.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Análise Morfológica.....	42
5.2 Caracterização Física	44
5.4 Análise dos Parâmetros para a Água Bruta.....	48
5.5 Obtenção do Clarificado	49
5.6 Análises dos Parâmetros para o Clarificado.....	50
5.7 Obtenção do Filtrado	51
5.8 Análises dos Parâmetros do Filtrado	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A distribuição e acesso à água com padrão de qualidade para o consumo humano é questionada até os dias atuais, pois as tecnologias de tratamento de águas estão sempre sendo pesquisadas. Tendo em vista que, o consumo de água livre de contaminantes, substâncias patogênicas e toxicológicas é de extrema importância para que não haja risco à saúde do consumidor.

Com a crescente degradação dos recursos hídricos no ambiente, o acesso direto à água com qualidade também diminuiu, havendo a necessidade de implementar tecnologias que buscam tratar e adequar a qualidade da água para o seu uso, seja ela para o abastecimento público ou até mesmo agricultura.

Ao decorrer dos anos diversas técnicas foram desenvolvidas para tratar a água, muitas delas são sofisticadas e caras não sendo acessíveis para uma parcela da população, como comunidades com menor poder aquisitivo (SILVA, 2012). Outras técnicas estudadas e implementadas em Estações de Tratamento de Águas (ETAs) são eficientes, porém possuem aspectos negativos tal como corrosão em tubulações, geração de resíduo não biodegradável de caráter ecotoxicológico e podem afetar a saúde humana.

A tecnologia de filtração lenta no tratamento de águas apresenta facilidades no meio operacional e possui baixo custo quando comparada com o tratamento convencional. No entanto a presença de partículas coloidais dissolvidas na água bruta é o fator que limita o uso da filtração lenta, pois esse material particulado possui uma dimensão menor que ultrapassa o meio filtrante, o que acaba comprometendo a qualidade da água (ARANTES, 2010). Para melhoria da eficiência desse sistema de tratamento físico faz-se necessário uma etapa inicial com a utilização de coagulantes que formam aglomerados, partículas de maior dimensão, que são facilmente removidas no processo de sedimentação ou filtração.

No sistema atual de tratamento de águas são utilizados coagulantes químicos sintéticos que são eficientes no processo, porém muitos possuem alto custo financeiro além de deixarem resíduos na água tratada. Outro problema encontrado é a geração do lodo na etapa da sedimentação, que deverá passar por uma etapa de tratamento, pois o mesmo não é biodegradável (SILVA, 2012). Dessa maneira, torna-se interessante a aplicação de coagulantes de origem vegetal no tratamento de águas, conhecidos como coagulantes naturais ou biocoagulantes.

Uma opção que vem sendo bastante estudada nos últimos anos é a utilização da semente moída de *Moringa oleifera* como biocoagulante em testes de filtração e clarificação de águas

turvas. Arantes (2010), utilizou o coagulante à base das sementes como auxiliar de filtração, o autor sugere que, apesar de comprovado o uso da tecnologia deve ser aprimorada a fim de reduzir a carga de sólidos da solução coagulante. Já Silva (2012), utilizou o pó das sementes de *Moringa oleífera* em sachês imersos na água bruta, com a finalidade de realizar o teste da dispersão da proteína catiônica presente na semente e diminuir a turbidez do clarificado. Apesar de comprovado o potencial para utilização Silva (2012), sugere que as etapas de coagulação e floculação devem ser efetuadas, visto que houve variação de resultados. Arantes (2014), avaliou o uso da *Moringa oleífera* como auxiliar de filtração utilizando mantas sintéticas não tecidas para tratamento de águas, tendo como finalidade a redução da turbidez e cor aparente, os resultados obtidos foram significativos e demonstram a redução nos parâmetros avaliados. No entanto, a adição do coagulante à água a ser tratada apresentou uma diminuição do período de filtração, devido à rápida colmatação do meio filtrante.

Neste contexto, com o interesse de trazer novas alternativas de utilização de coagulantes naturais que possam substituir os coagulantes sintéticos em Estações de Tratamento de Águas, para o aumento de eficiência operacional, redução dos impactos ambientais e riscos à saúde humana, o presente trabalho tem como objetivo principal a obtenção de um biocoagulante realizada a partir das sementes moídas de *Moringa oleífera* para ser utilizada como substituinte do Sulfato de Alumínio em Estações de Tratamento de Águas.

Neste trabalho, apresentam-se os objetivos, a revisão bibliográfica que tratará acerca da obtenção do biocoagulante, seguida da metodologia e resultados, e por fim, a conclusão deste trabalho de conclusão de curso (TCC).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Obtenção de um biocoagulante a partir das sementes da *Moringa oleífera*, para ser utilizado como substituto do Sulfato de Alumínio nas Estações de Tratamento de Água.

2.1 Objetivos Específicos

- a) Obtenção das sementes da *Moringa oleífera*;
- b) Revisão da literatura e determinação do melhor método para obter um biocoagulante a partir das sementes da *Moringa oleífera*;
- c) Análise morfológica das sementes de *Moringa oleífera*;
- d) Pré-tratamento das sementes de *Moringa oleífera*;
- e) Caracterização física, físico-química das sementes de *Moringa oleífera*, por meio da determinação do diâmetro de *Sauter*, da massa específica real e teor de umidade;
- f) Produção do biocoagulante a partir das sementes de *Moringa oleífera*;
- g) Realização de ensaios de Jar-Test utilizando o biocoagulante e o Sulfato de Alumínio, para comparar a eficácia dos dois produtos;
- h) Caracterização do clarificado através de análise de turbidez, cor, sólidos totais dissolvidos, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica;
- i) Elaboração do trabalho de conclusão de curso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A remoção de material particulado suspenso no tratamento de águas é de extrema importância, em vista dos padrões de turbidez e pH para o consumo humano, sabe-se que as partículas suspensas presentes em águas naturais são um comum veículo de transporte de contaminantes orgânicos e inorgânicos de compostos que são responsáveis pelo sabor, odor e coloração da água e agentes microbianos patogênicos, para isso processos convencionais que utilizam as etapas de coagulação, floculação e filtração são desenvolvidos para realizar o tratamento de águas. Esses são temas fundamentais para realização do presente trabalho e serão apresentados com mais detalhes neste capítulo.

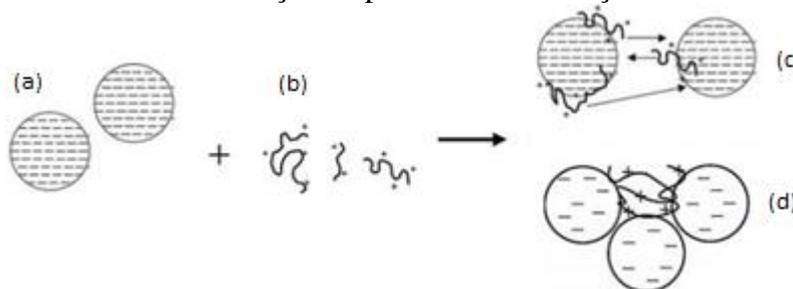
3.1 Coagulação e Floculação

O processo de coagulação ocorre com a adição de um coagulante em agitação rápida a fim de promover um maior contato do produto adicionado com as partículas indesejáveis presentes na água, formando flocos. Logo após a coagulação é adicionado na água o floculante e a agitação é reduzida a fim de promover uma maior interação entre os flocos, formando flocos maiores. Depois a água segue para sedimentadores, onde esses flocos sedimentarão no fundo, formando o lodo. Finalmente a água segue para os filtros, onde serão retidos os flocos de pequeno diâmetro.

De acordo com Pavanelli (2001) e Kawamura (2000), as partículas coloidais, presentes nas águas brutas, possuem um tamanho reduzido e sua sedimentação natural seria demorada ou nem ocorreria, ficando essas partículas em suspensão, então é necessário a adição de coagulantes para desestabilizar essas partículas, aglutinando-as e formando os flocos. Essa etapa é conhecida como coagulação e deve ocorrer sob agitação rápida. Quimicamente, o processo de coagulação ocorre para diminuir as forças de repulsão das partículas coloidais de cargas negativas, para isso adicionam-se coagulantes com cargas positivas e é realizada a primeira etapa de agitação rápida, para acelerar o processo de aglomeração de partículas (PAVANELLI, 2001). Esse processo é caracterizado pela redução do potencial zeta, que consiste em controlar a estabilidade dos coloides existentes na natureza. A estabilidade do coloide é o resultado da adsorção de íons e o potencial zeta é a medida dessa adsorção (SILVA, 1999). A Figura 1 mostra o processo inicial da formação de flocos, (a) cargas elétricas negativas presentes na superfície das partículas dispersas nas águas naturais; (b) coagulante catiônico;

(c) interação eletrostática entre um coagulante catiônico e as partículas e (d) estabelecimento das forças de Van der Waals de agregação das partículas, resultando na formação dos flocos.

Figura 1 – Processo de desestabilização de partículas e formação de flocos



Fonte: Lima; Abreu (2018, p. 715)

Logo após a coagulação (formação dos flocos) inicia-se a floculação, com o propósito de promover a colisão dos flocos que foram formados na etapa anterior, causando uma aglomeração dos mesmos, formando flocos maiores e sedimentáveis. Essa etapa ocorre com agitação lenta para que não se formem forças cisalhantes, que iriam quebrar os flocos formados em flocos de pequena dimensão e peso molecular baixo, pois a sedimentação seria prejudicada. Se necessária, nessa etapa é realizada a adição de floculantes (ou polímeros) para promover a criação de uma teia, que iria favorecer a aglomeração dos flocos (KAWAMURA, 2000).

Para Libânio (2010), a etapa da coagulação juntamente com a floculação e sedimentação, é uma operação unitária conhecida como clarificação de águas, constituída por um conjunto de atividades físicas e químicas, onde objetiva-se reduzir o número de partículas coloidais e suspensas na superfície, buscando a formação de flocos mais robustos que serão extraídos com maior facilidade posteriormente, nos sedimentadores.

A escolha do coagulante a ser utilizado dependerá principalmente das características da água ou efluente a ser tratado, da tecnologia do tratamento e do custo do próprio coagulante e a eficiência do processo de coagulação é indissociável ao tipo de coagulante escolhido (DI BERNADO; DANTAS, 2005).

Um importante aspecto que vem sendo considerado relevante na escolha do coagulante, refere-se à quantidade e às características do lodo gerado no tratamento, as quais dependem das características da água bruta e do coagulante utilizado. Ao longo das últimas décadas diferentes sais vêm sendo utilizados como coagulantes químicos, sendo eles majoritariamente de alumínio e ferro e em alguns casos são utilizados os biocoagulantes (LIBÂNIO, 2010).

3.1.1 Coagulantes Químicos

Segundo Borba (2001), os coagulantes químicos mais utilizados no tratamento de água, são o Sulfato de Alumínio - $Al_2(SO_4)_3$, o Cloreto Férrico - $FeCl_3$, e o Policloreto de Alumínio (PAC) - $Al_2(OH)_3Cl_3$ em virtude de sua elevada eficácia e baixo custo.

Possíveis impactos ambientais causados pela utilização de coagulantes inorgânicos à base de alumínio e ferro são constantemente discutidos, pois o lodo gerado no processo de coagulação e floculação é rico em hidróxidos metálicos que não são biodegradáveis, passando a apresentar potencial ecotoxicológico, necessitando de tratamento e despejo correto. Para Driscoll e Letterman (1988), cerca de 11% de todo alumínio presente nas águas, ou adicionado na forma de coagulante, permanece presente no lodo após o tratamento das águas. Essa porcentagem de alumínio pode causar danos ao organismo humano, em especial ao sistema nervoso, como o Alzheimer (LIMA; ABREU, 2018).

No Japão o uso de PAC, como coagulante alternativo tem sido estudado e obteve bons resultados na remoção de cor e material particulado, proporcionando uma boa clarificação da água, em uma faixa de pH mais elevada do que o uso de sulfato proporciona para coagulação (LIBÂNIO, 2010). A Tabela 1 apresenta as características usuais empregadas para os coagulantes mais utilizados.

Tabela 1 – Principais características dos coagulantes mais utilizados

Nome comercial	Composição típica	Dosagens usuais aplicadas em estações de tratamento (mg/L)	Massa específica (kg/m ³)	Disponibilidade
Sulfato de Alumínio	$Al_2(SO_4)_3.nH_2O$	10 a 60	600 a 1400	Sólido ou líquido
Cloreto Férrico	$FeCl_3 \cdot 6 H_2O$	5 a 40	1425	Sólido ou líquido
PAC	$Al_2(OH)_3Cl_3$	Menor que 10	1180 a 1280	Sólido ou líquido

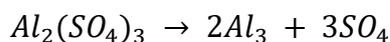
Fonte: Adaptado de Di Bernado; Dantas (2005); Libânio (2010)

3.1.1.1 Sulfato de Alumínio

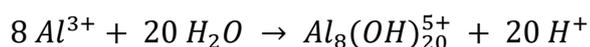
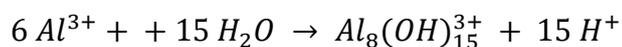
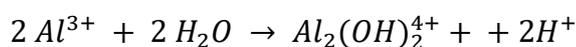
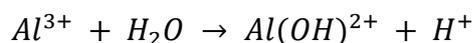
O Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3.nH_2O$) é o coagulante químico mais utilizado no tratamento de águas em todo o mundo devido a sua eficiência, facilidade de transporte, baixo custo e ser produzido em diversas regiões (KAWAMURA, 2000).

Segundo Rosalino (2011), quando o Sulfato de Alumínio entra em contato com água a sua dissociação ocorre imediatamente, formando dois mols de (Al_3^{+3}) e três mols de (SO_4^{-2}),

no decorrer da hidrólise são formados íons H^+ que tornam a solução ácida e promovem a eficiência do sistema, formando a reação:



Com esses íons presentes em solução aquosa, o alumínio reage com a água de diferentes maneiras formando diversas bases. Pavanelli (2001), demonstra os mecanismos de formação dessas bases em uma temperatura de $25^\circ C$, que podem ser visualizadas a seguir:



Como já constatado, quando o pH do meio torna-se mais alcalino, o sistema atinge sua melhor eficiência. Nesse contexto, o Sulfato de Alumínio é eficiente trabalhado na faixa de pH entre 5,5 e 8,5. Abaixo de 5,5 e acima de 8,5 os íons de alumínio tornam-se solúveis em água e acabam não precipitando, tornando a coagulação ineficiente (ROSALINO, 2011). Em estudos feitos por Di Bernardo e Dantas (2005), para a diminuição do valor de turbidez, a melhor faixa de pH a ser utilizada foi quando a água se encontrava na faixa de 7,5 e 8,5.

Apesar de eficiente e de baixo custo, a utilização do Sulfato de Alumínio como coagulante no tratamento de água possui diversas críticas, já citadas anteriormente. Em razão dessa problemática, estudos vêm sendo realizados a fim de desenvolver e utilizar diferentes coagulantes na água para substituição do Sulfato de Alumínio, ou recuperação do Sulfato de Alumínio do lodo formado nos sedimentadores, para ser utilizado no tratamento de efluentes.

3.1.1.2 Cloreto Férrico

O Cloreto Férrico, representado quimicamente como $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$ também pode ser utilizado no tratamento de efluentes industriais, como coagulante. No entanto, o mesmo apresenta propriedades corrosivas e sua manipulação exige cuidados especiais, como a utilização de equipamentos de segurança e recipientes anticorrosivos para seu armazenamento

(LIBÂNIO, 2010). Diferentemente do Sulfato de Alumínio, em ETAs (Estações de Tratamento de Água) a utilização desse coagulante não é muito difundida (SANTOS; RITA, 2002).

De acordo com Pavanelli (2001), o uso do Cloreto Férrico diminui drasticamente a turbidez e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), elimina fosfatos e uma boa parte de metais pesados (mercúrio, chumbo) ou venenosos (arsênio, selênio e bário), isso quando a coagulação é realizada em uma faixa de pH alcalina. Para Di Bernardo e Dantas (2005), a faixa de pH para utilização como coagulante está compreendida entre 5 a 11.

Em comparação com o Sulfato de Alumínio, o emprego do Cloreto Férrico conduz gradientes de velocidade ótimos e mais elevados. Em função do peso molecular desse metal, os flocos apresentam-se mais densos, mais resistentes ao cisalhamento e com maior sedimentabilidade, podendo resultar, quando em gradientes de velocidade baixos, uma deposição nas unidades de coagulação. Vale a pena ressaltar que a quantidade de lodo gerada no processo de sedimentação será maior quando é utilizado esse coagulante, do que quando se utiliza o Sulfato de Alumínio (LIBÂNIO, 2010).

3.1.1.3 Policloreto de Alumínio (PAC)

Com a crescente preocupação ambiental, na década de 90 teve início uma comparação mais acentuada entre os coagulantes utilizados nas ETAs e o PAC, passou a se destacar e ser estudado. De acordo com Pavanelli (2001), a produção de PAC na Europa e Japão chega a ser superior a 500.000 ton/ano.

Segundo Libânio (2010), estudos em escala real foram realizados a fim de comparar o desempenho deste coagulante em relação ao Sulfato de Alumínio para água natural de turbidez baixa e coloração moderada. Os resultados apontaram, em termos de ferro total e manganês, que a coagulação com uso de PAC obteve remoções médias de 81 e 54%, respectivamente, enquanto para o Sulfato de Alumínio 71 e 49%, respectivamente. Questões de viabilidade econômica também foram levadas em consideração, e nesse quesito o Sulfato de Alumínio possui o melhor custo-benefício. Por fim, descobriu-se a hipótese de que o PAC formou flocos mais resistentes às forças hidrodinâmicas do escoamento do leito filtrante. Desta forma, ocorreu maior sedimentação dos flocos, diminuindo os flocos de pequeno diâmetro presentes na superfície da água, que seriam arrastados para os filtros, sobrecarregando as camadas filtrantes e atrapalhando a eficiência da filtração.

De acordo com Ferreira e Waelkens (2009), a possibilidade do uso de PAC é positiva pois apresenta uma menor quantidade de lodo produzido durante a sedimentação e ainda um

lodo com menor quantidade de alumínio residual, em comparação aos demais coagulantes empregados no tratamento de águas. No que se refere a comparação entre o PAC e Sulfato de Alumínio, quando utilizados nas mesmas dosagens, a quantidade de lodo produzido é bastante semelhante, porém o preço do PAC é muito superior ao do Sulfato de Alumínio.

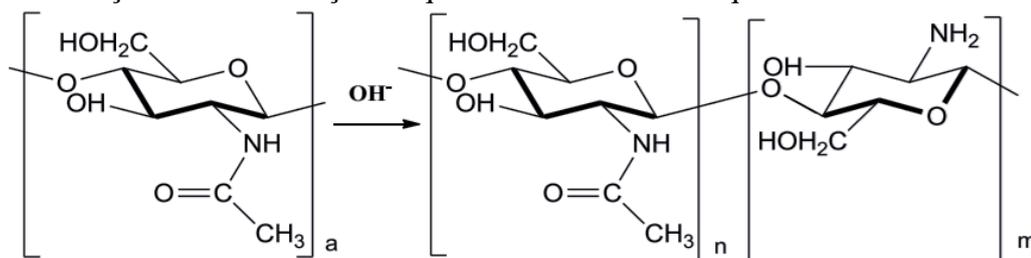
3.1.2 Biocoagulantes

Em virtude dos riscos à saúde humana pela utilização de coagulantes químicos, em especial, o Sulfato de Alumínio, e também devido à geração de lodo de difícil tratamento e deposição final, estudos para o desenvolvimento de coagulantes naturais vêm sendo realizados e aperfeiçoados no decorrer das últimas décadas. Segundo Bongiovani *et al.* (2010), os coagulantes naturais apresentam-se de maneira alternativa em relação aos químicos, devido ao fato de serem biodegradáveis e não tóxicos.

Os coagulantes de origem orgânico-naturais, são conhecidos comumente como polieletrólitos e são representados por compostos que constituem grandes cadeias moleculares, dotadas de sítios com cargas positivas ou negativas (BORBA, 2001). Tanto os polímeros sintéticos como os naturais, têm sido utilizados como um auxiliar de coagulação e floculação, com o objetivo de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, tal como, a sua resistência contra as forças de cisalhamento que podem ocorrer com a veiculação da água pós floculação. Em suas citações Borba (2001), afirma que a presença de um polieletrólito orgânico, natural ou sintético no meio aquoso pode promover o crescimento de matéria orgânica ou inorgânica, podendo agravar o aparecimento de substâncias mal cheirosas e com sabor desagradável, caso a matéria orgânica não seja eliminada nas etapas de coagulação e floculação, faz-se necessário o uso de carvão ativado ou desinfecção com cloro.

Estudos com diversos tipos de coagulantes naturais vêm sendo realizados para o tratamento de águas, um exemplo é a quitosana. Que por sua vez, é um polímero natural obtido a partir da quitina, as principais vantagens características do uso da quitosana, são a biodegradabilidade, a possibilidade de encapsulamento, a formação de ligações de hidrogênio intermoleculares (eficientes na remoção de poluentes), entre outros. A quitina está presente na parede celular dos fungos e nos exoesqueletos e carapaças de crustáceos (LIMA; ABREU, 2018). Na Figura 2 estão descritas as reações de desacetilação da quitina em meio alcalino e conversão em quitosana.

Figura 2 – Reação de desacetilação da quitina e conversão em quitosana



Fonte: Lima; Abreu (2018, p. 720)

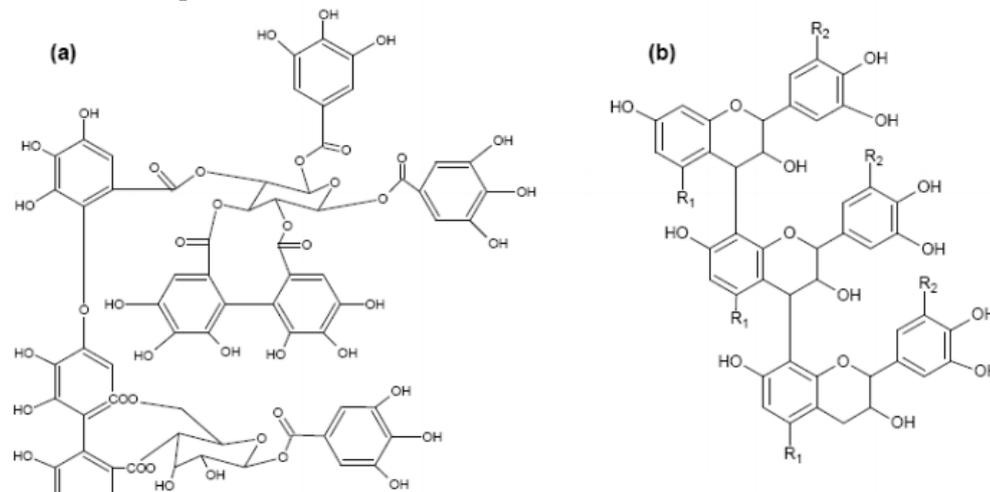
A eficiência do uso da quitosana como coagulante para o tratamento de águas é relatada em estudos que simulam condições ótimas de desempenho de cada coagulante. Os taninos também podem ser utilizados como biocoagulantes e se constituem como uma das maiores classes de metabólitos secundários produzidos por diferentes vegetais, pertencem a um grupo de compostos polihidrofênicos, sendo constituídos de polifenóis simples (polifenóis menores, flavanóides entre outros), solúveis em água e podem ser classificados em hidrolisáveis e condensados. Encontram-se em árvores de grande e pequeno porte e em grãos como o milho (SILVA, 1999).

Segundo Vieira *et al.* (2008), os taninos são utilizados na indústria de curtimento de couro, devido à facilidade de precipitação de proteínas, como o colágeno, mas a sua possibilidade de aplicação em diferentes áreas é vasta.

Os taninos atuam em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes de hidrogênio (CASTRO-SILVA *et al.*, 2004), por se tratarem de compostos fenólicos quimicamente reativos. De acordo com Castejon (2011), essas pontes de hidrogênio intra e intermoleculares são altamente oxidáveis, tanto pela influência de metais quanto das enzimas vegetais presentes, que causam o rápido escurecimento da solução e formam complexos insolúveis em água, com alcalóides, gelatinas e outras proteínas.

Para Mangrich *et al.* (2014), os taninos são classificados em hidrolisáveis e condensados. Os taninos hidrolisáveis possuem como unidade básica o ácido gálico que está ligada à estrutura glicosídica como pode se observar na Figura 3a, já os taninos condensados estão baseados em unidades monoméricas do tipo flavan-3-ol (catequina) observado na Figura 3b. Para Silva (1999), os taninos condensados são unidos por ligação C-C, que são difíceis de serem rompidas por hidrólise.

Figura 3 – Estrutura química do tanino hidrolisável (a) e do tanino condensado (b)



Fonte: Mangrich *et al.* (2014, p. 9)

Como vantagem no processo de tratamento de águas, dentre as propriedades presentes no tanino, uma delas é que ele não altera o pH da água, dado que não consome a alcalinidade do meio, sendo efetivo em uma ampla faixa de pH, que varia entre 4,5 a 8,0 (MARTINEZ, 1996). Outra vantagem na utilização de alguns taninos vegetais é o fato de possuírem propriedades adsorvativas dos metais dissolvidos em água, aglutinando-os por precipitação e promovendo sua remoção (SILVA, 1999).

Segundo Castro-Silva *et al.* (2004), embora a biodegradabilidade do lodo que resulta da floculação com o uso de um coagulante natural ser boa, essa biodegradação pode causar o crescimento excessivo de microorganismos na estação de tratamento, necessitando que haja manutenções frequentes, o que acarreta no aumento do custo do tratamento.

Polímeros catiônicos, derivados dos taninos vegetais são produzidos a partir da reação de Mannich, que consiste em uma reação de síntese orgânica que envolve um aldeído (como o metanal), o extrato do tanino vegetal e uma substância nitrogenada que formará compostos derivados de aminas secundárias e terciárias, chamadas bases de Mannich (LIMA; ABREU, 2018; SAHOO; JOSEPH; HALLIGUDI, 2006).

A síntese ocorre em duas etapas, na primeira etapa ocorre a formação de um cátion (CH_2NH_3^+) oriunda da reação entre o aldeído e a substância nitrogenada (cloreto de amônio ou amina), em temperaturas que variam entre 50 a 100°C. Posteriormente, ocorre a reação do intermediário formado com o tanino, originando o produto catiônico (LIMA; ABREU, 2018).

Segundo Graham *et al.* (2008), o produto dessa síntese de reação é um polímero catiônico com poder ionizante e dissolvem-se em soluções aquosas, adquirindo carga positiva

e atuando como um cátion. A reação de Mannich é fundamental na transformação de um tanino sem carga em um tanino catiônico, também conhecido como tanato quaternário de amônio.

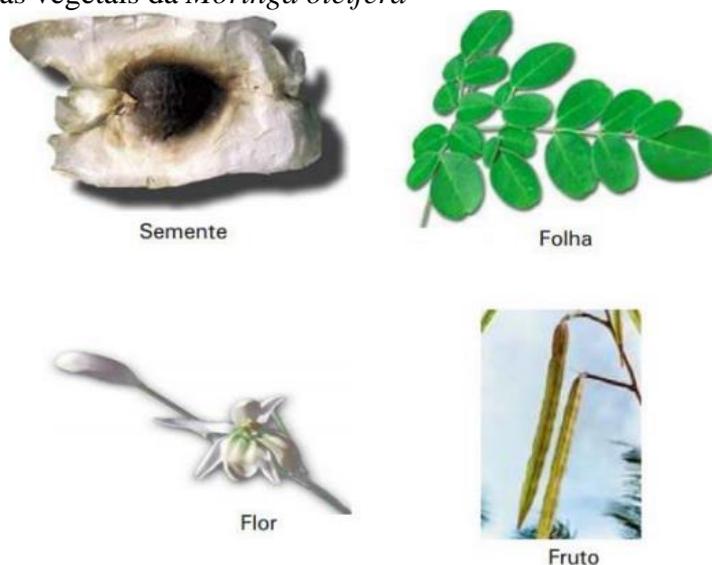
Isasmendi (2017), produziu um biocoagulante para ser utilizado em tratamento de águas, utilizando as reações de Mannich, a partir de folhas de cinamomo (*Melia Azedarach L.*). Essa planta foi escolhida pois se encontra em grande quantidade na região sul do Brasil e possui quantidades consideráveis de tanino. O biocoagulante obtido foi eficaz na redução da turbidez, porém acrescentou cor à água, provavelmente pelo pigmento da folha ter sido extraído junto com os taninos.

Uma outra planta que possui uma quantidade elevada de proteína catiônica e pode ser utilizada na obtenção de biocoagulantes é a Acácia Branca (*Moringa oleífera*), que será mais estudada nesse trabalho de conclusão de curso (TCC).

3.2 Acácia Branca (*Moringa oleífera*)

A *Moringa oleífera* é uma planta pertencente à família Moringaceae, composta de apenas um gênero e 14 espécies. Natural do norte da Índia, encontra-se em regiões subtropicais e se adapta a uma ampla faixa de solo, sendo tolerante a secas. Com quase 10 metros de altura, possui crescimento rápido, a espécie produz frutos, conhecidos como vagens, com sementes, como mostra a Figura 4. Essas sementes possuem interesse ambiental pois são utilizadas na produção de biocoagulante, ocasionando a clarificação e remoção de microorganismos em águas destinadas para o consumo humano (KATAYON *et al.*, 2006).

Figura 4 - Estruturas vegetais da *Moringa oleífera*



Fonte: Adaptado de Rangel (2003)

Segundo Gallão, Damasceno e Brito (2006), a semente da *Moringa oleífera* é composta em sua maior parte por proteínas e lipídeos, como pode-se observar na Tabela 2, que contém sua composição química. Essas apresentam um potencial para a produção de biocoagulante que será empregado no tratamento de águas (NDABIGENGESERE; NARASIAH; TALBOT, 1995; BORBA, 2001).

Tabela 2 – Composição química das sementes de *Moringa oleífera*

Composição	Semente
Umidade (%)	6,3
Açúcares solúveis (g/100g)	3,14
Oligossacarídeos (g/100g)	3,31
Amido (g/100g)	6,02
Proteínas (g/100g)	39,9
Lipídeos (g/100g)	18,8

Fonte: Adaptado de Gallão; Damasceno; Brito (2006)

As sementes também são compostas por polissacarídeos com poder aglutinante e ácido oleico. O óleo da semente de *Moringa oleífera* vem sendo muito utilizado como ligante asfáltico, por se tratar de uma fonte biodegradável apresentando bons resultados como substituinte de compostos não renováveis. Recentes estudos apontam outras alternativas para o uso da *Moringa oleífera* como a produção de biodiesel, pois trata-se de uma importante fonte de extração de ácido oleico com um percentual presente que varia de 75 a 80%, o que lhe confere grande estabilidade oxidativa (ausência de ligações duplas conjugadas) sendo mais eficiente que o biodiesel de soja nesse contexto (ARANDA *et al.*, 2009; LUCENA; SILVEIRA; COSTA, 2016).

Segundo Borba (2001), o tipo de coagulação independe da alcalinidade da água, podendo ocorrer em uma vasta faixa de pH que varia de 4,0 a 12,0. Borba (2001), ainda contesta que a má preservação das sementes de *Moringa oleífera* pode acarretar na degradação da proteína catiônica presente, sendo assim, o ideal é utilizar sementes recentemente colhidas para o tratamento das águas.

A utilização das sementes e vagem da *Moringa oleífera* juntamente à filtração no tratamento de água evidenciam bons resultados e reduzem o uso de coagulantes químicos não biodegradáveis, além de apresentar como vantagens uma menor geração de lodo, a produção de lodo biodegradável, uma boa remoção de turbidez e cor, remoção de quase 90% de bactérias e mantendo o pH da água (BONGIOVANI *et al.*, 2010).

As limitações envolvidas no uso dessa semente é a necessidade do tratamento prévio da semente e posteriormente, a adição de agentes desinfetantes para eliminação de

microorganismos patogênicos residuais que possam se fazer presente, outra limitação que se faz presente é em relação ao seu uso em forma de solução, pois o seu potencial catiônico tende a decrescer em temperatura ambiente e refrigerada (PINTO; HERMES, 2006; MORETI *et al.*, 2012).

Estudos feitos por Silva (2011), apontam que a dispersão da matéria orgânica direta no meio aquoso pode reduzir as carreiras de filtração em múltiplas etapas. Em decorrência desse fato, o pré tratamento da amostra de *Moringa oleífera* foi realizado por meio de moagem transformando as sementes em pó, as mesmas foram adicionadas em sachês de diferentes materiais obtendo resultados positivos na diminuição da turbidez.

Contudo, estudos realizados sobre a *Moringa oleífera* conferem que a mesma não apresenta riscos à saúde humana, não apresentando sintomas de toxicidades, especialmente nas doses necessárias para o tratamento de águas. Apesar de se caracterizar como um eficiente coagulante natural, as demais etapas para o tratamento de águas como floculação, sedimentação e filtração não devem ser descartadas a fim de atender a legislação vigente da Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), garantindo a potabilidade da água (SANTOS, 2011; SORIANI, 2015).

Vale a pena ressaltar, como observação, que a Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde foi revogada em 2017, ano em que passou a vigorar a Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). Porém, ela é citada por alguns autores que apresentaram trabalhos anteriores a esse ano.

3.2.1 Emprego da *Moringa oleífera* como Biocoagulante

Em estudos feitos por Ndabigengesere, Narasiah e Talbot (1995), e Francisco (2012), o mecanismo de coagulação utilizando *Moringa oleífera* para remoção de poluentes da água, ocorre devido à junção dos mecanismos de coagulação e neutralização de cargas. Sendo este, similar ao mecanismo de coagulação do Sulfato de Alumínio.

Como já citado anteriormente, as sementes da *Moringa oleífera* possuem quantidades significativas de proteínas catiônicas solúveis, e quando são trituradas em forma de pó e adicionadas em águas turvas, liberam cargas positivas atraindo as partículas que estão carregadas negativamente, como barro, argila, bactérias e demais particulados presentes na água. A coagulação ocorrerá quando as proteínas catiônicas ligam-se às partículas negativas formando flocos (PINTO; HERMES, 2006). De acordo com Schwarz (1996), a *Moringa oleífera* pode clarificar em águas de alta, média e baixa turbidez. O tempo para a coagulação ocorrer depende

do nível de turbidez da água e a eficiência do uso das sementes de *Moringa oleífera* varia de uma água para outra, tal como para o uso de outros coagulantes.

Rangel (2003), ressalva que enquanto coagulantes com base de alumínio são eficientes em uma faixa restrita de níveis de pH no tratamento de águas, o uso das sementes de *Moringa oleífera* independem do pH da água a ser tratada para sua eficiência.

Outro efeito benéfico que deve ser observado, quando a *Moringa oleífera* é utilizada como biocoagulante, é o efeito do tratamento biológico da água, que ocorre concomitante com a coagulação. Tal efeito se deve ao fato da *Moringa oleífera* possuir uma substância antimicrobiana que age juntamente aos microorganismos que encontram-se nas partículas em suspensão na água e acabam sendo eliminados juntamente com o lodo (PINTO; HERMES, 2006; JAHN, 1988).

3.3 Parâmetros de Avaliação do Tratamento de Água

A fim de obter melhores resultados na avaliação da qualidade da água tratada a ser consumida, amostras são separadas para análises. Dentre os principais parâmetros para avaliação do tratamento de água são realizadas análises de turbidez, pH, cor, alcalinidade, dureza, sólidos totais dissolvidos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido, entre outros. As análises mais frequentemente realizadas são turbidez, pH, cor, dureza, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica.

3.3.1 Turbidez

A turbidez ocorre pela presença de materiais em suspensão que pode ser caracterizada como de origem natural ou não, que por sua vez provocam a absorção e/ou dispersão da luz. Sua determinação é dada a partir de um turbidímetro, que baseia-se na transmissão da radiação emitida por uma fonte luminosa ao passar pela amostra. A unidade de medida adotada na avaliação deste parâmetro é a NTU (unidade nefelométrica de turbidez) (PIANTÁ, 2008; LIMA; ABREU, 2018). A Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), estabelece que o valor de turbidez deve ser no máximo 5,0 NTU em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).

De acordo com Lima e Abreu (2018), níveis elevados de turbidez podem interferir nas reações fotossintéticas que ocorrem naturalmente pela redução da entrada de luz. Também pode

contribuir na proliferação de contaminantes patogênicos que causam doenças de veiculação hídrica como vírus, bactérias e protozoários.

3.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O controle de pH é fundamental para a estabilidade operacional do sistema em redes de tratamento e distribuição de água potável, esse representa a concentração de íons de hidrogênio (H^+), condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Em geral, a faixa adequada de pH para água tratada varia de 6 e 9,5, quando abaixo do limite inferior a água torna-se agressiva em certos materiais e acima do limite a tendência é que ocorra a formação de incrustações e precipitações de materiais solúveis (RICHTER; NETTO, 1991). De acordo com o Anexo XX da Portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, recomenda-se que o pH de águas potáveis para distribuição nas residências esteja na faixa de 6,0 a 9,5 (BRASIL, 2017).

3.3.3 Cor

A água natural é isenta de cor, no entanto em condições naturais a presença de materiais dissolvidos ou em suspensão de origem natural, como substâncias húmicas e taninos podem contribuir para o surgimento de colorações, tal como as algas e seus produtos metabólicos (GREGOR *et al.*, 1996). Segundo Lima e Abreu (2018), a presença de íons inorgânicos como ferro (Fe^{2+}) e manganês (Mn^{2+}) também conferem colorações típicas em águas naturais.

A determinação desse parâmetro é realizada pela comparação visual, normalmente realizada em colorímetros e a unidade utilizada é mg/mL. Os padrões determinados para a qualidade em águas naturais de acordo com a Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde variam entre 0 a 200 mg/mL (BRASIL, 2011) e para águas potáveis é de 15 mg/mL (PIANTÁ, 2008), sendo mantido na Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

3.3.4 Dureza

O parâmetro dureza é determinado pela indicação da concentração de cátions multivalentes em solução. Os cátions mais associados à dureza são os de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) e em menor quantidade alumínio (Al^{3+}), ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}) e estrôncio (Sr^{2+}).

Uma característica apresentada por águas que possuem elevado valor de dureza é a resistência à reação de saponificação, fato indesejado para algumas empresas, como de tingimento de tecidos.

A dureza pode ser classificada como dureza carbonato ou dureza não carbonato dependendo do ânion o qual está associado. A dureza carbonato refere-se à alcalinidade possuindo condições de indicar a capacidade de tamponamento da água, já a dureza não carbonato ou dureza permanente corresponde à presença de íons metálicos divalentes que encontram-se ligados aos sulfatos, cloretos ou nitratos, esta pode ser determinada pela diferença entre a dureza total e a alcalinidade da água (LIBÂNIO, 2010).

A dureza da água é expressa em mg/L equivalentes em carbonato de cálcio (CaCO_3) e de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), o padrão organoléptico de potabilidade para dureza total é de 500 mg/L para o valor máximo permitido (VMP).

3.3.5 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Para Feitosa e Manoel (1997), a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) é caracterizada pela soma de todos os constituintes minerais presentes em solução, podendo alterar as características organolépticas das águas. De acordo com Macedo (2007), toda impureza da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos recursos hídricos. A Resolução CONAMA nº 396 (BRASIL, 2008), estabelece que, para fins de abastecimento humano o VMP é de 1000 mg/L, o mesmo é admitido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

5.3.6 Oxigênio Dissolvido (OD)

A determinação de oxigênio dissolvido é um dos mais importantes parâmetros a ser avaliado quanto à capacidade de um corpo hídrico em suportar a atividade biológica dos organismos aquáticos. A presença de oxigênio dissolvido é essencial para organismos aeróbios, já que as bactérias utilizam o oxigênio no seu processo respiratório, podendo reduzir da sua concentração no meio. Em contrapartida, caso o oxigênio for consumido totalmente têm-se as condições aeróbias que causam a geração de maus odores e mortalidade de seres aquáticos (NAIME; NASCIMENTO, 2009). Em águas naturais o índice de oxigênio dissolvido varia de 0 a 19 mg/L, já em águas subterrâneas a quantidade de oxigênio é muito inferior por estar longe

da atmosfera. A Resolução CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005), estabelece que o padrão adequado de oxigênio dissolvido utilizado para águas de distribuição não devem ser inferiores a 5 mg/L. A Portaria de Consolidação n° 5 do Ministério da Saúde não estabelece valores para o teor de oxigênio dissolvido (BRASIL, 2017).

3.3.7 Condutividade Elétrica

A determinação de condutividade elétrica é um parâmetro muito importante, de acordo com Pinto e Hermes (2006), esse parâmetro mede a capacidade de uma solução aquosa de conduzir corrente elétrica gerada por íons. Essa propriedade varia com a concentração das substâncias dissolvidas em água, com a temperatura e valência dos íons. A condutividade elétrica é expressa em microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou miliSiemens por centímetro (mS/cm) e sua aferição de amostras é realizada por um condutivímetro. A legislação brasileira não determina um limite inferior nem superior para a condutividade elétrica, porém deve-se perceber que há oscilações na condutividade elétrica de um corpo hídrico (LÔNDERO; GARCIA, 2010).

De acordo a Fundação Nacional de Saúde (BRASIL, 2014), em águas naturais a condutividade elétrica varia na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e em ambientes poluídos por esgotos industriais ou domésticos a condutividade chega atingir 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3.4 Legislação Brasileira

A Portaria n° 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Essa portaria foi revogada em 2017, ano em que passou a vigorar a Portaria de Consolidação n° 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

A Portaria de Consolidação n° 5 do Ministério da Saúde, dispõe as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. O Anexo XX dessa portaria dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017).

Ambas as Portarias estabelecem valores máximos de parâmetros, que devem ser seguidos para que a água seja considerada potável, o não seguimento dos valores estipulados acarreta à classificação da água como não potável.

Os parâmetros que serão avaliados no decorrer desse trabalho são turbidez, pH, cor, dureza e STD, descritos anteriormente.

Além das Portarias determinadas pelo Ministério da Saúde há outra legislação que deve ser levada em consideração quando trata-se de padrão de qualidade e tratamento de águas, que é a Resolução n° 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) consolidada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a mesma dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Segundo a Resolução, os corpos de água presentes no território nacional são divididos em águas doces, salinas e salobras e podem ser classificados por critérios de qualidade de água em treze classes diferentes.

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357 as águas doces, com exceção da classe IV, podem ser destinadas ao consumo humano, porém deve ser realizado um tratamento prévio convencional e/ou de desinfecção (BRASIL, 2005). Na Tabela 3 é demonstrado qual tipo de tratamento deve ser realizado.

Tabela 3 – Tipos de tratamentos para as classes de águas doces

Classe	Tratamento
Classe especial	Processo de desinfecção
Classe I	Tratamento simplificado
Classe II	Tratamento convencional
Classe III	Tratamento convencional ou avançado

Fonte: Adaptado de Brasil (2005)

Assim como na Portaria n° 2.914 do Ministério da Saúde e na Portaria de Consolidação n° 5 do Ministério da Saúde, a Resolução CONAMA n° 357 também relata o VMP dos parâmetros que serão avaliados nesse trabalho. A Tabela 4 ilustra esses valores.

Tabela 4 – VMP's dos parâmetros de água de acordo com as classes de corpo de água

Parâmetros	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Turbidez	Até 40 NTU	100 NTU	100 NTU	-
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Cor aparente	-	75 mg Pt/L	75 mg Pt/L	-
Dureza	-	-	-	-
STD	500 mg/L	500 mg/L	500 mg/L	500 mg/L
Oxigênio dissolvido	Não inferior a 6 mg/L de O ₂	Não inferior a 5 mg/L de O ₂	Não inferior a 4 mg/L de O ₂	Superior a 2 mg/L de O ₂

Fonte: Adaptado de Brasil (2005)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os materiais, a metodologia empregados a fim de avaliar a eficiência do uso das sementes da *Moringa oleífera* como biocoagulante no tratamento de águas, bem como as operações unitárias utilizadas no preparo do biocoagulante e a realização das análises físico-químicas da água pré e pós tratamento.

4.1 Materiais

Para realização do presente trabalho foram utilizadas sementes de acácia branca (*Moringa Oleífera*) e para execução dos experimentos foram utilizados os equipamentos presentes nos Laboratórios de Engenharia Química.

Os equipamentos utilizados para a execução dos experimentos foram:

- Balança analítica;
- Condutivímetro;
- Estufa;
- Medidor de sólidos dissolvidos;
- Microscópio estereoscópio;
- Moinho de facas;
- Múltiplo medidor digital;
- Sistemas de peneiras;
- Medidor de pH de bancada;
- Turbidímetro.

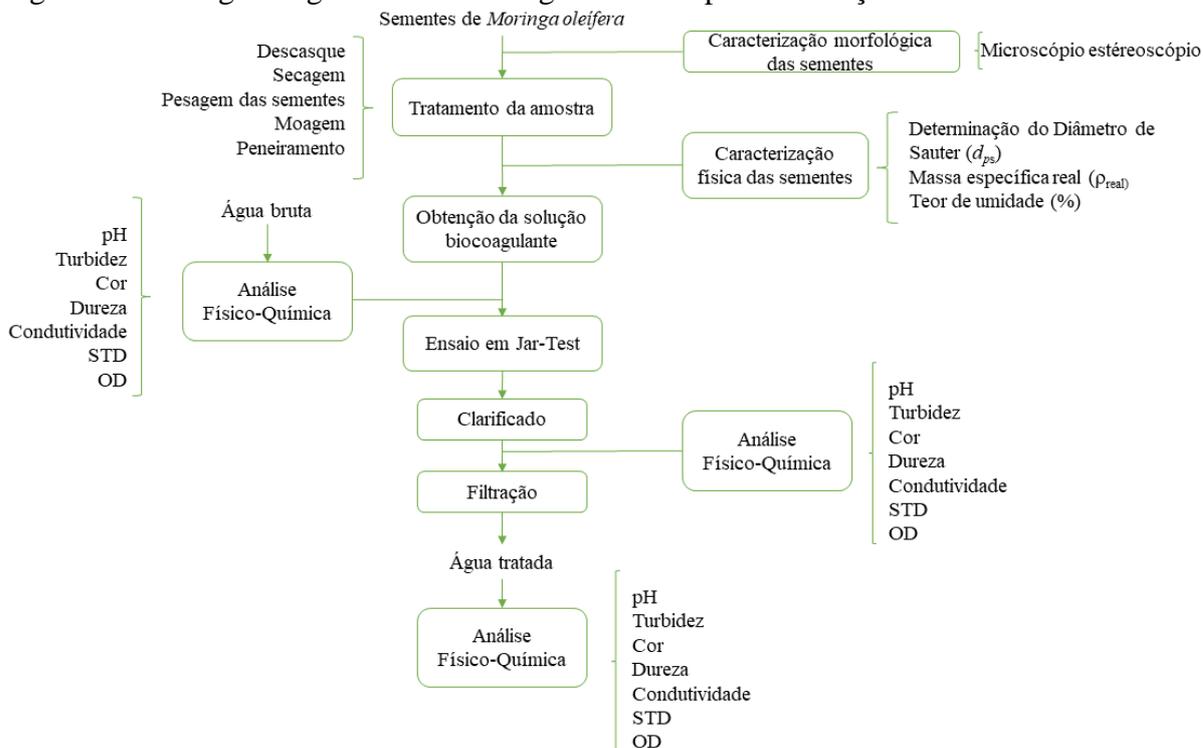
Para a determinação da dureza total presente nas amostras de água, utilizaram-se soluções padrões para realizar a titulação:

- Solução de hidróxido de sódio;
- Indicador de negro eriocromo-T;
- Solução EDTA (Ácido Etilenodiamino Tetra-acético) 0,01 M e 0,1 M.

4.2 Metodologia

Na Figura 5 está disposto o fluxograma geral da metodologia experimental aplicada para a realização do presente trabalho.

Figura 5 – Fluxograma geral da metodologia utilizada para realização do trabalho



Fonte: Autora (2020)

4.3 Coleta das Sementes de *Moringa oleífera*

A coleta das sementes de *Moringa oleífera* foi realizada em um terreno baldio, onde árvores de acácia branca eram cultivadas, no município de Itatiba, estado de São Paulo.

4.4 Análise Morfológica das Sementes de *Moringa oleífera*

Após a coleta, as vagens e cascas que envolvem as sementes foram retiradas manualmente e a análise morfológica iniciou-se utilizando um microscópio estereoscópio. Para visualização do interior da semente de *Moringa oleífera*, foi realizado um corte longitudinal no meio da mesma para melhor visualização.

4.5 Pré-tratamento das Sementes de *Moringa oleífera*

Para a obtenção do biocoagulante é necessário realizar o pré-tatamento das sementes, pós descasque e análise morfológica, a amostra foi pesada em uma balança analítica e levada a uma estufa à 65°C e mantida por 24 horas, conforme recomendações de Arantes (2010).

Posteriormente, fez-se a pesagem das amostras secas em uma balança analítica. A fim de se obter uma menor granulometria para o preparo da solução coagulante utilizou-se o moinho de facas para a moagem das sementes de *Moringa oleífera*, diversos equipamentos de moagem podem ser utilizados para essa operação. De acordo com Arantes (2010), o uso de um equipamento de moagem apresenta a maior eficiência na redução dos valores de turbidez.

4.6 Caracterização Física da Semente *Moringa oleífera*

A caracterização do pó obtido pela moagem das sementes, foi realizada por um ensaio de peneiramento, onde foram utilizados o sistema de peneiras 9, 16 e 32 MESH/TYLER, tendo a última peneira uma abertura de 0,5 mm, para determinação do diâmetro de *Sauter* (d_{ps}). O resultado pode ser obtido pela Equação 1.

$$d_{ps} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{D_i} \right)} \quad (1)$$

Onde D_i é o diâmetro da partícula e x_i a fração mássica da partícula.

Na Figura 6 está apresentado o equipamento utilizado para realizar o peneiramento das sementes moídas.

Figura 6 – Sistema de peneiras



Fonte: Autora (2020)

4.7 Coleta da Água Bruta

A amostra de água bruta foi coletada proveniente de uma barragem, que fica localizada dentro da Indústria Arrozeira Coradini Alimentos. A coleta foi realizada a partir de uma válvula de captação de água da barragem para a estação de tratamento da arrozeira, as amostras foram dispostas em galões de água de 5 L e 2 L e conduzidas para a UNIPAMPA, onde foram realizadas as análises no mesmo dia da coleta.

4.8 Análise dos Parâmetros Físico-químicos da Água Bruta

Após a coleta da água bruta, foi necessário realizar a análise físico-química da mesma, a fim de analisar os parâmetros de temperatura, pH, cor, turbidez, dureza, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e oxigênio dissolvido antes do tratamento, para que possa ser feita uma comparação dos parâmetros analisados anterior e posterior ao tratamento da água bruta.

As medições de pH foram realizadas em medidor de pH digital de bancada, marca Metrohm, modelo 827 pH lab (Figura 7a); o índice de turbidez, em turbidímetro de bancada, marca Del Lab, modelo DLT-WV (Figura 7b); condutividade elétrica e teor de sólidos dissolvidos totais foram ambos determinados em um múltiplo medidor digital, marca Hanna Instruments, modelo HI 9835 (Figura 7c), com condutivímetro de precisão 1% (+0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e

medidor de sólidos totais dissolvidos (0,5 ppm) e para a obtenção dos dados de oxigênio dissolvido foi utilizado o equipamento portátil de medição marca Hanna modelo HI 9146 (Figura 7d). A coloração da água tratada foi avaliada visualmente.

Figura 7 – Equipamentos de medições



Fonte: Autora (2020)

Para a determinação da dureza total presente nas amostras foi utilizada a metodologia proposta por Richter e Netto (1991). O método consiste em diluir 25 mL da amostra para uma solução de 50 mL contendo água destilada em um balão volumétrico. A solução foi transferida para um béquer onde foram adicionadas gotas de hidróxido de sódio com a finalidade de elevar o pH para valores próximos de 10. Posteriormente, serão adicionadas 6 gotas de negro de eriocromo T, até o surgimento de uma cor avermelhada. Feito isso, foi realizada uma etapa de titulação da solução utilizando EDTA como titulante, cujo ponto de viragem é determinado pelo surgimento de uma coloração azul. Com o volume de EDTA empregado para cada titulação, foi possível determinar a dureza total da água através da Equação 2 a seguir:

$$d = \frac{V_{EDTA} \cdot 1000 \cdot F_C}{V_{amostra}} \quad (2)$$

Em que d é a dureza total (mg/L CaCO_3), V_{EDTA} é a diferença de volume de EDTA gasto na titulação do branco do volume gasto de EDTA na titulação da amostra (mL), F_C é o fator de correção do EDTA e o $V_{amostra}$ é o volume inicial da amostra (mL).

4.9 Obtenção do Biocoagulante

Para o preparo da solução biocoagulante, seguiu-se a metodologia utilizada de Ramos (2005), e adaptada por Arantes (2010). De acordo com o autor para uma turbidez inicial de 50 NTU a melhor dosagem para o biocoagulante aquoso seria a uma concentração de 2%, sendo 2 g da amostra moída das sementes de *Moringa oleífera* em 100 mL de água destilada.

A fim de obter melhores resultados, o preparo do biocoagulante aquoso foi realizado em diferentes concentrações de *Moringa oleífera*, também foi utilizado a semente inteira para análise dos resultados. Nessas condições, o biocoagulante foi obtido a partir da pesagem de 1,5, 2 e 3 g da amostra moída das sementes em 100 mL de água destilada, separadamente.

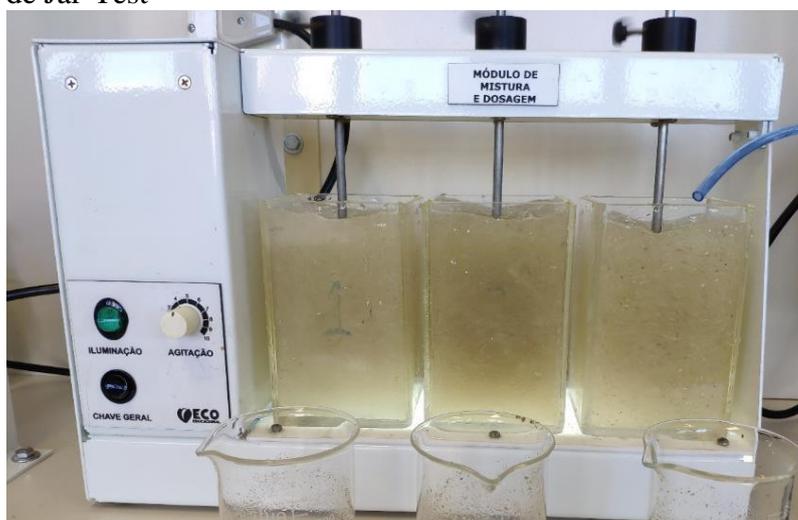
A solução foi agitada em um agitador magnético por 4 minutos para melhor homogeneização.

4.10 Ensaio em Jar-Test

Com o biocoagulante líquido obtido foram conduzidos os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos (Jar-Test), em triplicata, tendo como objetivo avaliar a eficiência do uso do biocoagulante utilizando sementes de *Moringa oleífera*.

As etapas de trabalho foram realizadas em estação de tratamento de águas em escala laboratorial no Laboratório de Fenômenos de Transporte do Curso de Engenharia Química do campus Bagé – UNIPAMPA, mostrada na Figura 8.

Figura 8 – Módulo de Jar-Test



Fonte: Autora (2020)

Os jarros foram preenchidos com 900 mL da água bruta a ser tratada, posteriormente o biocoagulante líquido na dosagem indicada foi adicionado e o ensaio teve início. De acordo com Arantes (2010), para as condições operacionais para as etapas de coagulação, floculação e sedimentação os valores de gradiente médio de velocidade e tempo de mistura na utilização do biocoagulante à base das sementes de *Moringa oleífera* podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 – Condições operacionais para etapas de coagulação, floculação e sedimentação

Etapa	Tempo de mistura e repouso
Coagulação	60 s (Mistura rápida)
Floculação	10 min (Mistura lenta)
Sedimentação	30 min (Repouso)

Fonte: Adaptado de Arantes (2010)

A mistura rápida ocorre na condição de 5 rpm, e para a mistura lenta a operação ocorre na condição de 2-3 de rotações por minuto. Após o término da sedimentação, uma amostra de 275 mL do clarificado foi retirada das cubas para realização das análises dos parâmetros físico-químicos e posteriormente foi executada a filtração da amostra utilizando um filtro de papel.

4.11 Análise de Parâmetros Físico-Químicos da Água Bruta Tratada

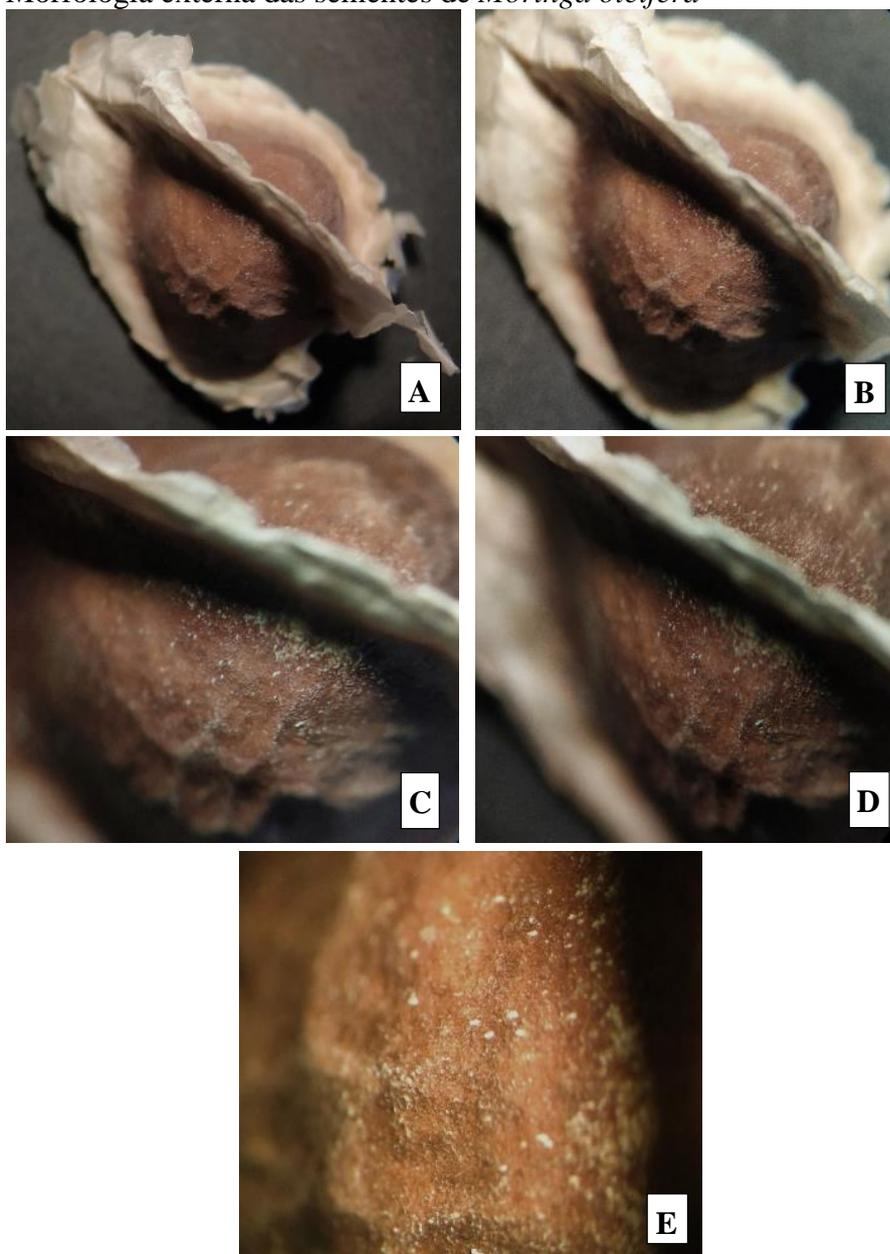
Após as etapas de tratamento da água bruta e a obtenção da mesma tratada, fez-se as análises dos parâmetros de pH, cor, turbidez, dureza, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e oxigênio dissolvido, com o objetivo de validar o uso das sementes de *Moringa oleífera* como biocoagulante no tratamento de águas havendo a possibilidade de agir como um substituto do Sulfato de Alumínio em ETAs.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise Morfológica

Na Figura 9 está apresentada a morfologia característica das sementes de *Moringa oleífera* ainda com casca, com diferentes ampliações. A Figura 9 (a) representa uma magnificação de 64x, (b) 100x, (c) 160x, (d) 250x e (e) 400x.

Figura 9 – Morfologia externa das sementes de *Moringa oleífera*

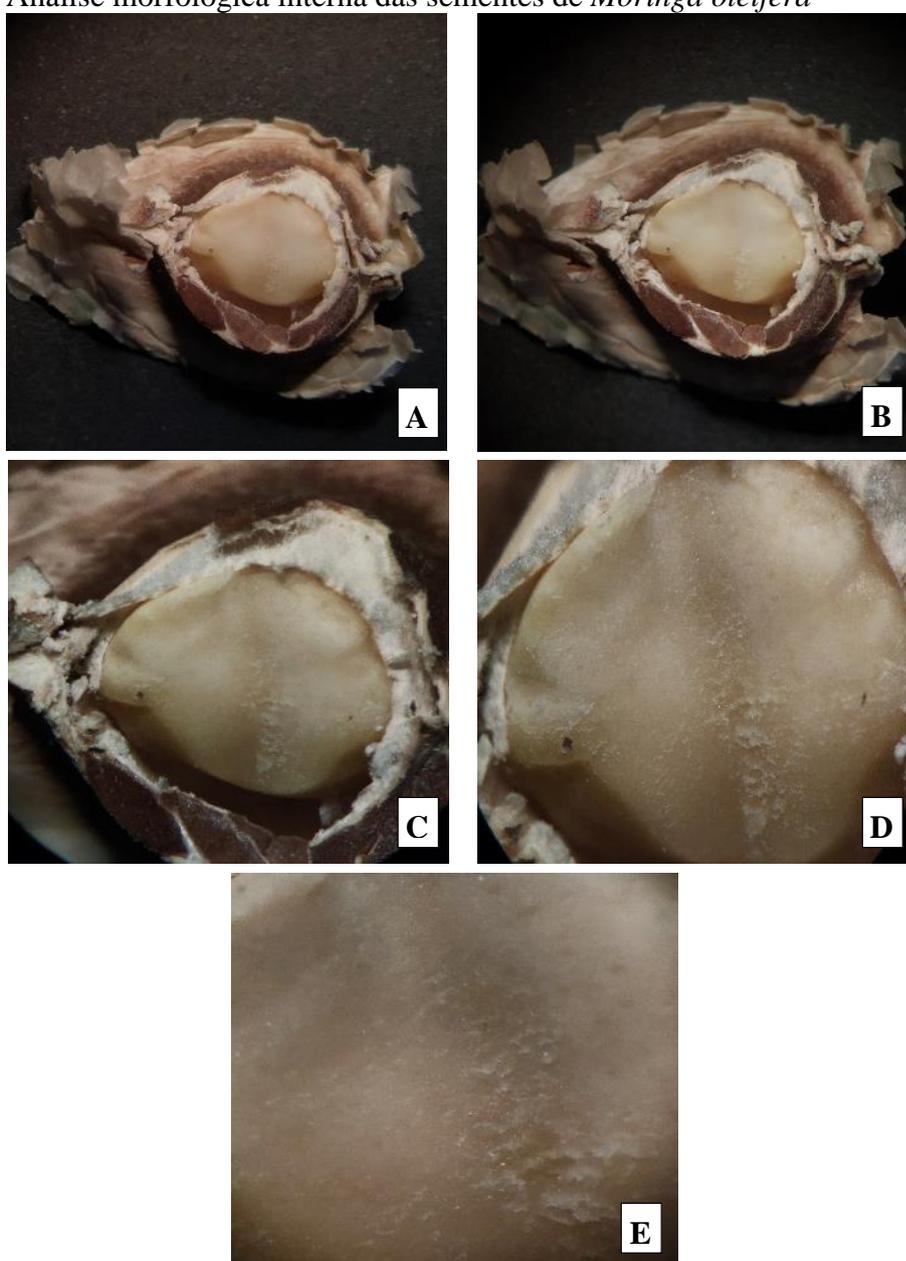


Fonte: Autora (2021)

Nas micrografias podem-se observar as três estruturas aladas e similares que compõem a casca que recobre a semente, tal como sua coloração castanho-claro nas alas e escura no centro da mesma, denominado como tegumento. Nas análises com maior ampliação observa-se que o tegumento possui uma superfície rugosa, rígida e não porosa.

Na Figura 10 observa-se a análise morfológica interna das sementes de *Moringa oleífera*, para isso realizou-se um corte transversal na semente para melhor visualização. As ampliações seguiram as mesmas anteriores, a Figura 10 (a) 64x, (b) 100x, (c) 160x, (d) 250x e (e) 400x.

Figura 10 – Análise morfológica interna das sementes de *Moringa oleífera*



Fonte: Autora (2021)

No caso da Figura 10, pode-se analisar como é constituída a anatomia da semente sem a interferência do tegumento. A semente de *Moringa oleífera* apresenta-se com uma coloração amarelo-claro e homogênea, com aroma comum ao de amendôas. Quando realizado o corte na semente percebe-se que o tegumento é um material fibroso preenchido por uma camada branca não porosa, pode-se ver a partir da Figura 10(c). A semente de *Moringa oleífera* não é uma esfera perfeita e possui deformações nas suas extremidades.

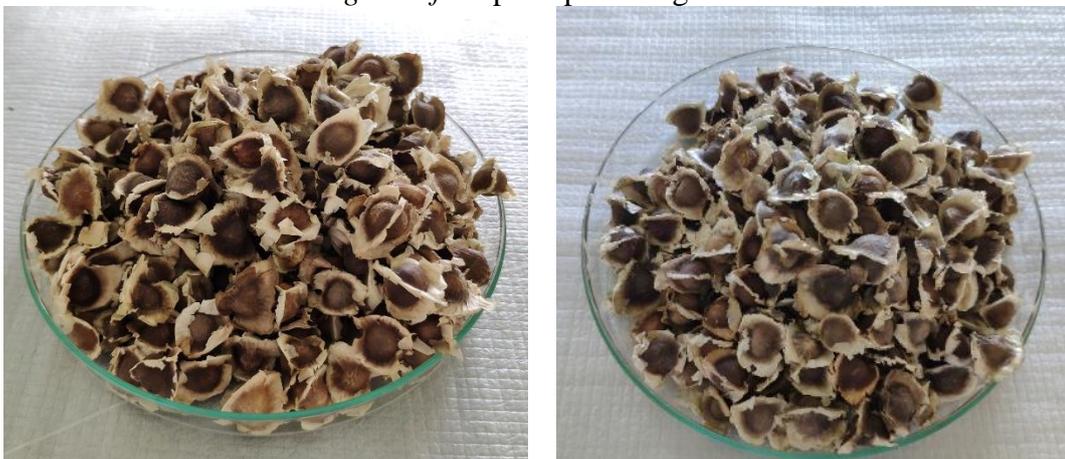
Como já citado anteriormente, a semente de *Moringa oleífera* é composta por 18,8 g de lipídeos em 100 g de sementes. Os lipídeos são associados aos óleos e gorduras presentes na semente, na Figura 10(e) nota-se a presença de óleos a partir do corte. Os pontos brilhantes na imagem são característicos da presença de óleos nas sementes como no amendoim, amêndoas e pinhão.

5.2 Caracterização Física

Os resultados obtidos para a caracterização física das sementes de *Moringa oleífera* estão apresentadas a seguir.

A umidade presente nas sementes após a secagem foi de 6,65% de acordo com Calvacante (2018), as sementes de *Moringa oleífera in natura* possuem uma umidade relativa de 7%, a massa média das sementes *in natura* era de 53,05 g após realizada a secagem a massa média obtida foi de 49,52 g, tendo uma perda de 3,53 g de água, validando o processo de desidratação. A Figura 11(a) apresenta a morfologia das sementes de *Moringa oleífera in natura* e a Figura 11(b), as sementes após o processo de secagem.

Figura 11 – Sementes de *Moringa oleífera* pré e pós secagem

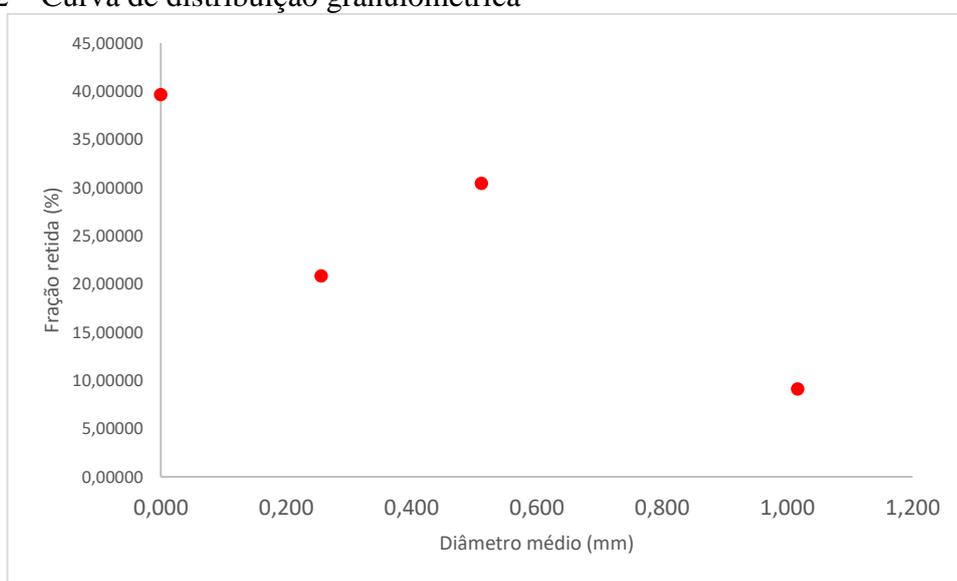


Fonte: Autora (2021)

Ao observar a Figura 11 nota-se que não houve diferença significativa no aspecto físico das sementes pré e pós secagem.

Para uma melhor dispersão da proteína catiônica fez-se um ensaio de moagem e peneiramento para se obter o pó das sementes utilizadas na produção da solução coagulante à base de *Moringa oleífera*. Para uma melhor visualização dos dados obtidos para o cálculo do diâmetro de Sauter, realizado após o peneiramento, na Figura 12 está apresentada a curva de distribuição granulométrica, que representa os dados de fração retida (%) em função do diâmetro médio da partícula (mm).

Figura 12 – Curva de distribuição granulométrica



Fonte: Autora (2021)

Pelo gráfico gerado na Figura 12 observa-se que aproximadamente 40% das partículas apresentaram um diâmetro de 0,6675 mm, as partículas desenvolveram um comportamento não típico de distribuição granulométrica diferencial, com forma curva e de distribuição normal. Isso deve ter ocorrido pois algumas partículas ficaram retidas nas peneiras de MESH/TYLER igual a 9, 16, 32 e o fundo, como pode-se observar na Figura 13.

Figura 13 – Partículas retidas nas peneiras



Fonte: Autora (2021)

Pela Figura 13 apresentada, observa-se o quanto de massa permaneceu retida nas peneiras. No fundo a massa retida de pó de semente de *Moringa oleifera* foi de 17,130 g, já para as peneiras de MESH/TYLER 9, 16 e 32 obtiveram-se os valores de 3,90 g, 13,15 g e 9,0 g, respectivamente.

Tabela 6 – Resultados da caracterização física

Caracterização	Resultado
Diâmetro de Sauter (mm)	0,6675
Massa específica real (g/cm ³)	0,530
Umidade das sementes secas (%)	6,655

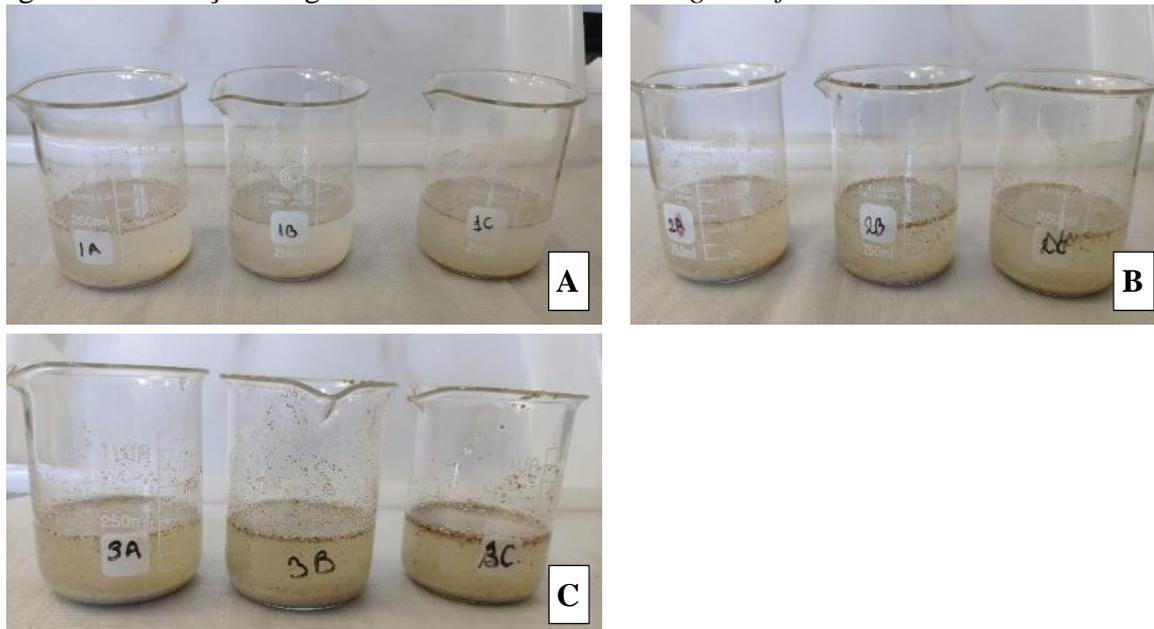
Fonte: Autora (2021)

A partir da Tabela 6 observa-se que o valor do diâmetro médio das partículas de semente de *Moringa oleifera* foi de 0,6675 mm e a massa específica real de 0,530 g/cm³, não sendo possível comparar esses dados com a literatura devido à inexistência dos mesmos.

5.3 Obtenção da Solução Coagulante

A solução coagulante foi obtida a partir da adição de diferentes concentrações de pó de sementes de *Moringa oleífera* (1,5, 2 e 3 g) em 100 mL de água destilada em triplicatas, como mostram as Figuras 14(a), (b) e (c) respectivamente.

Figura 14 – Solução coagulante de sementes de *Moringa oleífera*



Fonte: Autora (2021)

As médias de massas com desvio padrão obtidas para obtenção da solução para as concentrações de 1,5, 2 e 3 g foram de $1,52 \text{ g} \pm 0,001$, $2,01 \text{ g} \pm 0,007$, $3,01 \text{ g} \pm 0,044$, respectivamente.

Com a finalidade de analisar e comparar a eficiência da *Moringa oleífera* e do Sulfato de Alumínio, uma solução 2% de Sulfato de Alumínio foi preparada, e dispostas 5 sementes em um jarro contendo 1000 mL de água bruta, essa análise foi realizada em duplicata, apresentado na Figura 15 e Figura 16.

Figura 15 – Solução coagulante de Sulfato de Alumínio



Fonte: Autora (2021)

Figura 16 – Sementes dispostas na água bruta



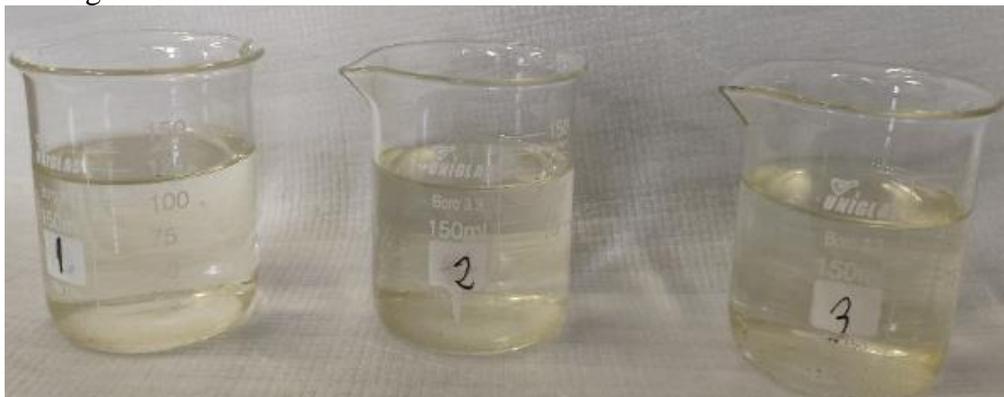
Fonte: Autora (2021)

A amostra de água bruta que está apresentada na Figura 16 é proveniente da mesma barragem de onde as outras amostras foram coletadas, porém esta possui uma coloração mais esverdeada possivelmente porque foi a primeira amostra coletada e como a água estava parada na tubulação, provavelmente havia a presença de limo.

5.4 Análise dos Parâmetros para a Água Bruta

Anterior ao ensaio de Jar-Test foram realizadas as análises dos parâmetros de pH, turbidez, dureza, cor, STD, OD e condutividade elétrica para a água bruta obtida, a fim de comparar ao final do estudo se a utilização do biocoagulante foi eficiente. Na Figura 17 estão apresentadas as amostras de água bruta.

Figura 17 – Água bruta



Fonte: Autora (2021)

As análises foram realizadas em triplicata e estão dispostas na Tabela 7.

Tabela 7 – Análises de parâmetros da água bruta

Amostra	pH	Turbidez (NTU)	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	OD (%)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Amostra 1	6,82	8,48	47,2	296	2,6	585
Amostra 2	6,9	8,8	39,2	258	2,6	508
Amostra 3	6,96	8,68	31,2	248	2,7	502

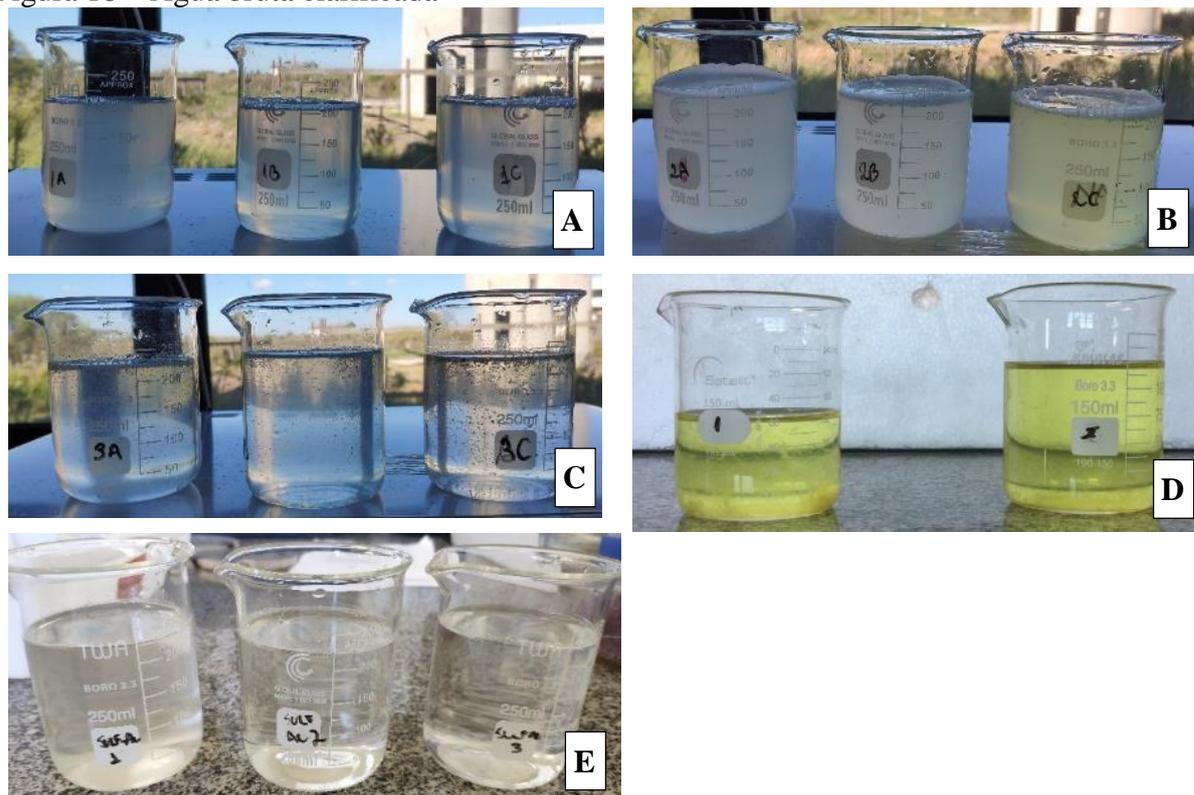
Fonte: Autora (2021)

As médias obtidas para os parâmetros de análise com desvio padrão foram de $6,89 \pm 0,07$ para o pH, $8,65 \text{ NTU} \pm 0,16$ para turbidez, $39,2 \text{ mg/L} \pm 8,0$ para dureza, $2,63\% \pm 0,058$ para oxigênio dissolvido e $531,67 \mu\text{S}/\text{cm} \pm 16,28$ para a condutividade elétrica da água bruta, sem o tratamento. A coloração presente na amostra de água bruta é amarelada, com leve presença da cor verde, possivelmente pela presença de limo na tubulação.

5.5 Obtenção do Clarificado

Na Figura 18 observam-se os resultados obtidos para a solução clarificada após o ensaio de Jar-Test e sedimentação. Na Figura 18(a) vê-se o clarificado obtido, utilizando a solução contendo 1,5 g de *Moringa oleífera*/100 mL de água, na Figura 18(b) o clarificado resultante da solução de 2 g/100 mL, na Figura 18(c) o clarificado resultante da solução de 3 g/100 mL, na Figura 18(d) o clarificado utilizando as sementes inteiras de *Moringa oleífera* e na Figura 18(e), o clarificado utilizando uma solução 2% de Sulfato de Alumínio.

Figura 18 – Água bruta clarificada



Fonte: Autora (2021)

5.6 Análises dos Parâmetros para o Clarificado

Os parâmetros avaliados para as soluções filtradas foram: pH, turbidez, dureza, cor, STD, OD e condutividade elétrica. Na Tabela 8 estão dispostos os resultados obtidos para as soluções clarificadas.

Tabela 8 – Parâmetros avaliados para as soluções clarificadas

	pH	Cor	Turbidez (NTU)	Dureza (mg/L)	STD (mg/L)	OD (%)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$)
Sol. 1,5%	6,82 \pm 0,05	Incolor	13,86 \pm 3,07	6,67 \pm 1,05	248 \pm 29,82	2,13 \pm 0,06	486,33 \pm 43,29
Sol. 2%	7,02 \pm 0,05	Incolor/ Verde	61,4 \pm 7,61	18,38 \pm 11,85	264 \pm 2,65	2,36 \pm 0,23	521,66 \pm 12,34
Sol. 3%	6,38 \pm 0,16	Incolor	15,86 \pm 8,04	18,26 \pm 4,55	438,33 \pm 2,65	2,76 \pm 0,15	872,33 \pm 18,04
Sementes	6,56 \pm 0,12	Verde	16,05 \pm 1,34	59,8 \pm 25,17	235,5 \pm 30,41	2,75 \pm 0,07	467,5 \pm 58,69
Al ₂ (SO ₄) ₃ 2%	4,6 \pm 0,02	Incolor	13,38 \pm 5,23	127,06 \pm 13,42	848,66 \pm 32,87	1,9 \pm 1,47	1706 \pm 73,91

Fonte: Autora (2021)

Os valores obtidos utilizando a solução coagulante à base de semente de *Moringa oleífera* após os ensaios de Jar-Test e sedimentação foram eficientes para diminuição dos parâmetros de dureza, sólidos totais dissolvidos e oxigênio dissolvido na água bruta, o parâmetro de pH não variou muito quando comparada com a análise da água bruta sem o tratamento. Percebe-se visualmente que a coloração não variou quando comparado com a água não tratada utilizando as soluções biocoagulante, as sementes inteiras e o Sulfato de Alumínio.

No entanto, para os parâmetros de turbidez e condutividade elétrica as soluções contendo a semente moída acabou elevando os valores, possivelmente pela dispersão lenta da solução biocoagulante. Quando comparado o uso das sementes inteiras de *Moringa oleífera* e a solução biocoagulante, percebe-se que não houveram variações significativas para os parâmetros de pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica, porém a mesma não mostrou-se eficiente na redução da dureza e houve um aumento desejado na elevação do oxigênio dissolvido.

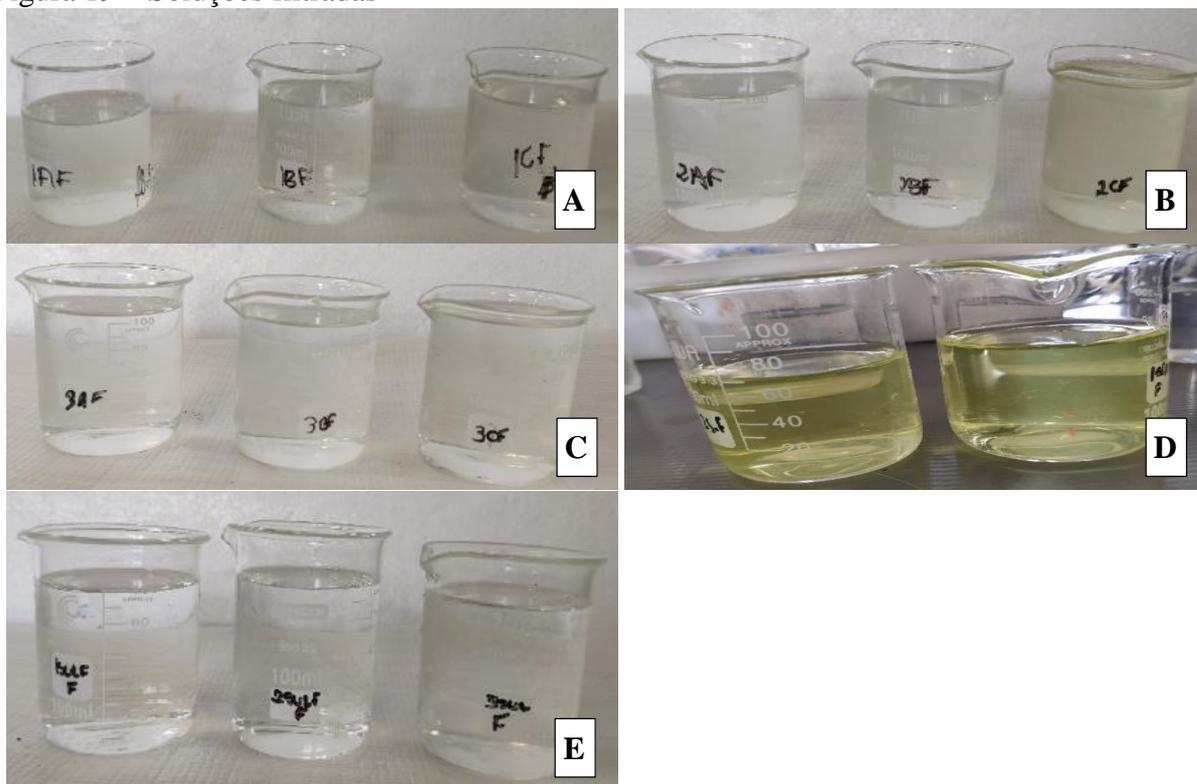
Quando comparada à solução biocoagulante em diferentes concentrações e a solução contendo 2% de Sulfato de Alumínio é perceptível a eficiência do uso do biocoagulante para diminuição dos valores de turbidez, dureza, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e pH em águas clarificadas sem a etapa de filtração. O uso de Sulfato de Alumínio diminuiu o pH de 6,89 para 4,6 o que não é aconselhável de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, que recomenda que o pH de águas potáveis para distribuição nas residências esteja na faixa de 6,0 a 9,5 (BRASIL, 2017).

Os valores obtidos dos parâmetros analisados para a utilização de uma solução biocoagulante à base de sementes de *Moringa oleífera*, são eficientes na diminuição dos parâmetros para usos gerais, porém os mesmos não são eficientes para distribuição como água potável, sendo necessário realizar o ensaio de filtração.

5.7 Obtenção do Filtrado

Com a finalidade de diminuir os parâmetros e obter melhores resultados no tratamento de água utilizando *Moringa oleífera* como biocoagulante, realizou-se um ensaio de filtração utilizando filtro de papel. Na Figura 19 estão apresentadas as soluções filtradas, sendo a Figura 19(a) o filtrado utilizando a solução contendo 1,5 g de *Moringa oleífera*/100 mL de água, na Figura 19(b) o filtrado resultante da solução de 2 g/100 mL, na Figura 19(c) o filtrado resultante da solução de 3 g/100 mL, na Figura 19(d) o filtrado utilizando as sementes inteiras e na Figura 19(e), o filtrado utilizando uma solução 2% de Sulfato de Alumínio.

Figura 19 – Soluções filtradas



Fonte: Autora (2021)

5.8 Análises dos Parâmetros do Filtrado

Os parâmetros avaliados para as soluções filtradas foram: pH, turbidez, dureza, cor, STD, OD e condutividade elétrica. Na Tabela 9 estão dispostos os resultados obtidos para as soluções filtradas.

Tabela 9 – Parâmetros avaliados para as soluções filtradas

	pH	Cor	Turbidez (NTU)	Dureza (mg/L CaCO ₃)	STD (mg/L)	OD (%)	Condutividade elétrica (μS/cm)
Sol. 1,5%	6,66±0,09	Incolor	8,51±3,29	25,6± 2,62	245±8,54	2,4±0,0	545,33±1,53
Sol. 2%	6,63±0,01	Incolor/ Verde	13,73±0,42	23,86±4,20	262±5,86	2,36±0,06	574,33±5,51
Sol. 3%	6,01±0,17	Incolor	6,96±0,78	26,66±1,22	438±3,46	2,43±0,06	928±20,29
Sementes	6,62±5,47	Verde	5,47±0,83	34,8 ±1,13	255±7,07	2,35±0,07	495±5,66
Al ₂ (SO ₄) ₃ 2%	4,6±0,01	Incolor	1,0±0,0	166,6±19,7	840±45,29	2,46±0,06	1704,67±67,02

Fonte: Autora (2021)

Não houve variação da cor aparente, quando comparada com o clarificado, pode-se concluir visualmente que a utilização da solução biocoagulante e Sulfato de Alumínio alteraram pouco a coloração da água bruta inicial. O uso das sementes inteiras não foi eficiente visualmente na diminuição da cor da água bruta. Constata-se que a filtração utilizando o filtro de papel não reteu alguns sólidos ou algas presentes no clarificado, sendo necessário utilizar um filtro de areia, assim a coloração tende a diminuir pela camada absorvente de carvão ativado existente no filtro.

Fazendo-se uma comparação com a análise realizada para a água clarificada pós Jar-Test e sedimentação, vemos que os parâmetros de pH e turbidez foram inferiores após a filtração para as soluções que continham o pó das sementes de *Moringa oleífera*, o parâmetro de STD não apresentou variação significativa. No entanto, para os demais parâmetros os resultados foram superiores depois da filtração.

Uma provável ocorrência da variação organoléptica da água tratada pode ser devido à diferença de dias que a análise foi feita e pela degradação natural do biocoagulante. A filtração realizada dois dias após o ensaio de Jar-Test e sedimentação, pode ser inadequada, aconselhando-se que a filtração seja realizada logo após o ensaio de sedimentação utilizando um filtro de areia.

Utilizando as sementes inteiras de *Moringa oleífera* obteve-se resultados melhores para turbidez, dureza, OD, o pH não variou significativamente, porém os valores de STD e condutividade elétrica foram superiores quando comparados com a solução clarificada analisada, isso ocorre possivelmente pela diferença de dias de análise e pela degradação do biocoagulante, como comentado.

Quanto ao uso da solução de Sulfato de Alumínio 2%, este mostrou-se eficiente na diminuição dos níveis de turbidez da amostra, apresentando-se como a melhor opção de coagulante para a diminuição da turbidez da água bruta. Porém, os demais valores para os parâmetros de pH, dureza, STD, OD e condutividade elétrica, não mostraram-se eficientes quando comparados com as soluções coagulantes de *Moringa oleífera* e as sementes inteiras utilizadas para o tratamento da água.

Com isso pode-se dizer que a utilização da solução biocoagulante à base das sementes moídas de *Moringa oleífera* e as sementes inteiras foram eficientes no tratamento da água, quando comparada com o Sulfato de Alumínio o uso das mesmas não dependeria da utilização de uma solução alcalinizante para aumentar o pH, caso que ocorre utilizando o Sulfato de Alumínio.

Vale a pena ressaltar que os parâmetros obtidos não foram suficientes para garantir a potabilidade da água e enquadrá-la na Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017). Os valores de pH estipulados pela Portaria estão entre 6 e 9, o que mostra que somente com o uso do coagulante Sulfato de Alumínio obtiveram-se valores fora desse intervalo. Já para a dureza e o teor de sólidos dissolvidos a Portaria estabelece um valor de até 500 mg/L CaCO₃ e 1000 mg/L respectivamente, pode-se observar que tanto para o biocoagulante, quanto para o Sulfato de Alumínio esses valores foram atendidos. Para a turbidez, nota-se que somente o uso de Sulfato de Alumínio obteve valores dentro do estipulado pela Portaria que é de até 5 NTU.

Para os valores obtidos de oxigênio dissolvido é importante salientar que estes valores são pequenos e que a água poderia ser classificada como classe 4, segundo a Resolução 357 do CONAMA de 2005, sendo indicada apenas para navegação e harmonia paisagística. Para que essa água possa ser transformada em água potável é necessário uma aeração inicial, antes de ser encaminhada para ETA. Como a água coletada estava parada na tubulação pode ser que os valores obtidos foram afetados e que esse valor não corresponde ao encontrado na barragem.

Quanto aos valores de condutividade elétrica a FUNASA (2014), Fundação Nacional de Saúde, estabelece que esse parâmetro pode também ser considerado um fator indicativo de qualidade e, sugere que águas naturais apresentam teores de condutividade elétrica na faixa de 10 a 100 µS/cm, enquanto em ambientes poluídos, os valores aumentam, podendo atingir cerca de 1.000 µS/cm. Todos os valores obtidos nos experimentos foram superiores a 100 µS/cm o que indica que havia uma elevada quantidade de íons dissolvidos na água e que a mesma não apresentava a qualidade desejada.

Esses valores evidenciam a necessidade de uma etapa intermediária entre a etapa de coagulação e a etapa de filtração. Nessa etapa intermediária seria utilizado um produto flocculante com o objetivo de aumentar o tamanho dos flocos formados na coagulação, acarretando uma maior eficiência de sedimentação. Porém, devido a pandemia e a bandeira preta que foi estabelecida na cidade de Bagé, os laboratórios da UNIPAMPA ficaram fechados por um longo período, impedindo a realização desses experimentos adicionais, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos objetivos deste trabalho, foi investigado o potencial de produção de um biocoagulante à base de sementes de *Moringa oleífera* para substituição do coagulante sintético Sulfato de Alumínio em ETAs.

Primeiramente, realizou-se uma análise morfológica da semente de *Moringa oleífera* em microscópio estereoscópio, observando-se a anatomia externa e interna da semente a partir de um corte transversal. Os resultados obtidos a partir das micrografias foram de uma semente com três estruturas aladas de coloração castanho-claro, que compõem a casca que recobre a semente, denominada tegumento com coloração escura. Foi observado que o tegumento possui uma superfície áspera, rugosa e rígida. Quando partida, a semente de *Moringa oleífera* apresenta-se com uma coloração amarelo-claro e homogênea, percebe-se também a presença de óleos na semente, caracterizado pelos pontos brilhantes retratados na imagem.

Posteriormente, foi realizado o tratamento da semente de *Moringa oleífera* a partir do descasque, secagem em estufa e moagem, seguido da sua caracterização física e físico-química, dada a partir do diâmetro de *Sauter*, massa específica real e teor de umidade presente na semente seca. Os resultados quanto à granulometria mostram um diâmetro de *Sauter* de 0,6675 mm, massa específica real de 0,530 g/cm³ a umidade presente nas sementes pós secagem foi de 6,65%, estima-se que a umidade da semente *in natura* seja de 7%.

A fim de testar a eficiência da solução biocoagulante e sementes interiras de *Moringa oleífera*, foram realizados testes em Jar-Test utilizando diferentes concentrações do coagulante em água bruta, disponibilizada pela Indústria Arrozeira Coradini Alimentos. Foram analisados os parâmetros de pH, cor, turbidez, STD, OD e condutividade elétrica tanto da água bruta quanto das águas pós tratamento, sendo realizada após a sedimentação e posterior a etapa de filtração. Com a finalidade de comparar a eficiência como coagulante, utilizou-se o coagulante sintético de Sulfato de Alumínio no tratamento da água bruta, os mesmos parâmetros foram avaliados para o uso. Constatou-se que para a análise do clarificado o coagulante que se sobrepôs foi o biocoagulante à base das semente, mais especificamente a dosagem de 1,5 g de sementes moídas/100 mL de água, adicionando um pouco de turbidez ao tratado possivelmente causado pela dispersão da proteína catiônica, mas para os demais parâmetros obteve-se uma diminuição de 32,5 mg/L para dureza e 27 µS/cm de condutividade elétrica, os sólidos totais dissolvidos e o pH não variaram, o OD teve uma queda de 0,5% e a coloração mostrou-se mais límpida e incolor. O uso do biocoagulante mostra-se eficiente nessa etapa do tratamento quando comparado com o uso do Sulfato de Alumínio, que por sua vez alterou o parâmetro de pH,

sendo necessário uso de uma solução alcalinizante para aumentar o mesmo para ser enquadrado na Portaria de Consolidação nº 5, que relata que águas para distribuição devem possuir pH na faixa de 6,0 e 9,0.

Os resultados para água tratada após a etapa de filtração foram mais eficientes para a diminuição dos parâmetros, os valores para pH se enquadram na faixa relatada pela Portaria de Consolidação nº 5, assim como os parâmetros de dureza e STD. A solução contendo 1,5 g/100 mL de água obtiveram uma redução de 0,11 NTU para turbidez, 13,6 mg/L para dureza, 12 mg/L para STD, 0,23% para OD e um aumento de 13,63 μ S/cm para condutividade elétrica. Para a solução contendo 2 g/100 mL de água obtiveram uma redução de 15,3 mg/L para dureza, 0,27% para OD e um aumento de 5,08 NTU para turbidez, 14,6 mg/L para STD 42,63 μ S/cm para condutividade elétrica. Já para a solução contendo 3 g/100 mL de água obtiveram uma redução de 1,68 NTU para turbidez, 12,53 mg/L para dureza, 0,23% para OD e um aumento de 190 mg/L para STD e 396,33 μ S/cm para condutividade elétrica. A coloração não variou visualmente da análise do clarificado para o filtrado, tornando-se necessário utilizar um filtro de areia para reter os sólidos que produzem a coloração na água, os mesmos seriam removidos pela camada de carvão ativado presente no filtro.

Verificou-se novamente após a filtragem a eficiência das sementes de *Moringa oleífera* como biocoagulante no tratamento de águas quando comparado ao uso de coagulantes sintéticos como o Sulfato de Alumínio, o mesmo apesar de eficiente na redução do parâmetro de turbidez apresenta menor eficiência quando comparado ao uso das sementes de *Moringa oleífera*, sendo necessário a utilização de mais produtos para enquadrar a água na legislação, elevando o gasto financeiro da empresa.

Como em todo tratamento de águas, em ambos casos de uso de coagulante seja ele natural ou sintético, é indispensável a realização da etapa de floculação para obtenção de uma água com melhor qualidade.

Por fim, pode-se dizer que a proposta da produção de um biocoagulante à base de sementes de *Moringa oleífera* para a substituição do Sulfato de Alumínio no tratamento de águas em ETAs foi satisfatória, pois cumpriu seu papel na melhoria dos parâmetros avaliados.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para melhores resultados nas análises, realizar filtração da solução coagulante à base de *Moringa oleífera* para retirada do material suspenso na solução, utilizando uma peneira de 0,125 mm de abertura, para posterior uso como biocoagulante líquido.

Torna-se necessário que a análise dos parâmetros e a filtração seja realizada logo após o ensaio de sedimentação, a fim de que não ocorra degradação natural da amostra e aumento nos parâmetros.

Para verificar se ocorre aumento da eficiência da sedimentação, seria aconselhável realizar uma etapa intermediária entre a coagulação e a filtração, com o uso de floculantes.

Como já citado, é necessário realizar a etapa de filtração da água tratada, para melhores resultados, e para esse ensaio sugere-se que o mesmo seja realizado com o uso de um filtro de areia.

Sugere-se em trabalhos futuros que se realize uma análise utilizando a semente inteira de *Moringa oleífera*, em conjunto com a solução biocoagulante para visualizar os efeitos.

Realizar a análise colorimétrica da amostra tratada e também realizar a caracterização física das sementes para determinação da massa específica *bulk* (ρ_{bulk}) e porosidade do leito (ϵ).

REFERÊNCIAS

- ARANDA, D. A. G. *et al.* The use of acids, niobium oxide, and zeolite catalysts for esterification reactions. **Journal of Physical Organic Chemistry**, New Jersey, v. 22, n. 7, p. 709-716, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/poc.1520>. Acesso em: 20 set. 2020.
- ARANTES, C. C. **Utilização de coagulantes naturais a base de sementes de Moringa oleifera e tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2010. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257799/1/Arantes_CamilaClementina_M.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.
- ARANTES, C. C. **Aplicação de coagulante a base de Moringa oleifera confinado em sachês no tratamento de água**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2014. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258114/1/Arantes_CamilaClementina_D.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 26 ago. 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, n. 66, p. 64-68, 07 abr. 2008. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso em: 26 ago. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília, DF: FUNASA, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+%C3%A1gua+para+t%C3%A9cnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 26 ago. 2020.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, p. 39, 14 dez. 2011. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 26 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, ed. 190, p. 360, 03 out. 2017. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida---o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2020.

BONGIOVANI, M. C. *et al.* Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para obtenção de água potável. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 167-170, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226526013>. Acesso em: 08 jul. 2020.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da Moringa oleifera lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba. Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, João Pessoa, 2001. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/38659392/viabilidade-do-uso-da-moringa-oleifera-lam-no-tratamento>. Acesso em: 27 jul. 2020.

CASTEJON, F. V. **Taninos e Saponinas**. Goiânia: UFG, 2011. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/67/o/semi2011_Fernanda_Castejon_1c.pdf. Acesso em: 27 ago. 2020.

CASTRO-SILVA, M. A. *et al.* Microorganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quaternário de amônio) – I. Microorganismos filamentosos. **Estudos de Biologia**, Curitiba, v. 26, n. 54, p. 21-27, 2004. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/estudosdebiologia/article/view/21277>. Acesso em: 27 jul. 2020.

CAVALCANTE, A. J.; LOPES, L. K.; EVANGELISTA, A. N.; PINHEIRO, M. R.; SEDREZ, S. F. Morfologia de sementes e Plântulas de Moringa (Moringa oleífera LAM) Moringaceae. **Magistra, Cruz das Almas, Bahia**, v.29, n. 3/4, p. 290-297, 2018. Disponível em: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/608#:~:text=As%20sementes%20de%20moringa%20apresentam,cotil%C3%A9dones%20recobrimdo%20o%20eixo%20embrion%C3%A1rio>. Acesso em: 31 mar 2021.

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

DRISCOLL, C. T.; LETTERMAN, R. D. Chemistry and fate of Al(III) in treated drinking water. **Journal of Environmental Engineering**, Reston, v. 114, n. 1, p. 21-37, 1988. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9372%281988%29114%3A1%2821%29>. Acesso em: 09 jul. 2020.

FEITOSA, A. C. F.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia** - conceitos e aplicações. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Fortaleza: Gráfica LCR, 1997.

FERREIRA FILHO, S. S.; WAELKENS, B. E. Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso do cloreto de polialumínio e sua disposição em estações de tratamento de esgotos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14 n. 3, p. 317-326, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v14n3/v14n3a05.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2020.

FRANCISCO, A. R. **Coagulação com Moringa oleifera seguida da filtração lenta na redução de oocistos de *Cryptosporidium* spp. por simulação com microesferas de poliestireno**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2012. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/256806/1/Francisco_AdrianaRibeiro_D.pdf. Acesso em: 05 jul. 2020.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de Moringa. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/224>. Acesso em: 05 jul. 2020.

GRAHAM, N. *et al.* Characterization and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A preliminary assessment. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, Amsterdam, v. 327, n. 1-3, p. 9-16, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927775708003750>. Acesso em: 03 jul. 2020.

GREGOR, J. E. *et al.* Interactions of calcium and aluminium ions with alginate. **Water Research**, Amsterdam, v. 30, n. 6, p. 1319-1324, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0043135495001948>. Acesso em: 25 ago. 2020.

ISASMENDI, P. A. **Avaliação do potencial de produção de coagulante natural à base de tanino a partir de folhas de cinamomo (*Melia azedarach* L.) para o tratamento de água**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2017.

JAHN, S. A. A. Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. **Journal American Water Works Association**, Washington, DC, v. 80, n. 6, p. 43-50, 1988. Disponível em: <https://awwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.1551-8833.1988.tb03052.x>. Acesso em: 05 jul. 2020.

KATAYON, S. *et al.* Effects of storage conditions of Moringa oleifera seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 97, n. 13, p. 1455-1460, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/7552928_Effects_of_storage_conditions_of_Moringa_oleifera_seeds_on_its_performance_in_coagulation. Acesso em: 23 jul. 2020.

KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2. ed., Nova York: John Wiley & Sons, Inc., 2000.

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

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 10, n. 3, p. 709-735, 2018. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v10n3a20.pdf> Acesso em: 03 jul 2020.

LÔNDERO, E.; GARCIA, C. **Sovergs**. Site Higienistas. 2010. Disponível em: <http://www.sovergs.com.br/site/higienistas/trabalhos/10474.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2020.

LUCENA, L. C. F. L.; SILVEIRA I. V.; COSTA, D. B. Avaliação de ligantes asfálticos modificados com óleo da Moringa oleífera Lam para uso em misturas mornas. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 72-82, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/3558/2712>. Acesso em: 27 jul. 2020.

MACEDO, J. A. B. **Águas e águas**. 3. ed., Belo Horizonte: CRQ/MG, 2007.

MANGRICH, A. S. *et al.* Green chemistry in water treatment: use of coagulant derived from *Acacia mearnsii* tannin extracts. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2014. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v6n1a02.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2020.

MARTINEZ, F. L. **Taninos Vegetais e suas aplicações**. Havana: Universidade de Havana, 1996.

MORETI, L. O. R. *et al.* Emprego das sementes de Moringa oleifera Lam, como coagulante alternativo ao policloreto de alumínio (PAC), no tratamento de água para fins potáveis. **Revista E-xacta**, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, p. 153-165, 2012. Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/991/586>. Acesso em: 23 jul. 2020.

NAIME, R.; NASCIMENTO, C. A. Monitoramento de pH, temperatura, OD, DBO e condições microbiológicas das águas do arroio Pampa em Novo Hamburgo – RS. **Uniciências**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 107-134, 2009. Disponível em: <https://revista.pgskroton.com/index.php/uniciencias/article/view/899>. Acesso em: 25 jul. 2020.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. **Water Research**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/004313549400161Y#:~:text=It%20is%20show%20that%20the,neutralization%20of%20the%20colloidal%20charges>. Acesso em: 27 jul. 2020.

SAHOO, S.; JOSEPH, T.; HALLIGUDI, S. B. Mannich reaction in Brønsted acidic ionic liquid: a facile synthesis of β -amino carbonyl compounds. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, Amsterdam, v. 244, n. 1-2, p. 179-182, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1381116905006552>. Acesso em: 06 jul. 2020.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2001. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21012003-084719/publico/Pavanelli+G.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2020.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água.** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26026/000754989.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2020.

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. **Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do Semiárido do Brasil.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMA/7457/1/documentos_53.pdf. Acesso em: 27 ago. 2020.

RAMOS, R. O. **Clarificação de água com turbidez baixa e cor moderada utilizando sementes de Moringa oleifera.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2005. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/257086/1/Ramos_RenataOttina_D.pdf. Acesso em: 09 jul. 2020.

RANGEL, M. S. **Moringa oleifera: um purificador natural de água e complemento alimentar para o nordeste do Brasil.** São Paulo: Jardim de Flores, 2003. Disponível em: <http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>. Acesso em: 23 jul. 2020.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água – tecnologia atualizada.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1991.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/303714863.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2020.

SANTOS, W. R. *et al.* Estudo do tratamento e clarificação de água com torta de sementes de Moringa oleifera Lam. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 295-299, 2011. Disponível em: <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev133/Art1339.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2020.

SANTOS FILHO, J. D.; RITA, E. S. S. **Gerenciamento do resíduo gerado na clarificação de água da RLAM.** 2002. Monografia (Especialista em Gerenciamento e Tecnologia Ambientais na Indústria) – Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-graduação em Gerenciamento e Tecnologia Ambientais na Indústria, Salvador, 2002. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/view/12982525/gerenciamento-do-residuo-gerado-na-clarificacao-de-agua-da-rlam>. Acesso em: 28 jul. 2020.

SCHWARZ, D. Water clarification using *Moringa oleifera*. **Technical Information**, W1e, p. 1-7, Eschborn, Germany, 1996. Disponível em: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SCHWARTZ%202000%20Water%20Clarification%20Using%20Moringa%20Oleifera.pdf. Acesso em: 15 ago. 2020.

SILVA, G. K. **Método alternativo para aplicação do coagulante natural *Moringa oleifera* no tratamento de água**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2012. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258604/1/Silva_GabrielaKurokawa_e_M.pdf. Acesso em: 05 jul. 2020.

SILVA, T. S. S. **Estudo da tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. 1999. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz. Programa de Pós-graduação em Saúde Pública, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/4660/2/204.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2020.

SORIANI, M. **Eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5327/1/LD_COEAM_2015_1_14.pdf. Acesso em: 27 jul. 2020.

VIEIRA, A. M. *et al.* Curtimento de peles de peixe com taninos vegetal e sintético. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 359-363, 2008. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/5717/5717>. Acesso em: 03 jul 2020.