



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
MIRELLA KLAUSEN DA SILVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O USO DO COAGULANTE EXTRAÍDO DAS
SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA* E OS COAGULANTES QUÍMICOS NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

Palhoça
2021



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
MIRELLA KLAUSEN DA SILVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O USO DO COAGULANTE EXTRAÍDO DAS
SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA* E OS COAGULANTES QUÍMICOS NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Prof^a. Dr^a. Elisa Helena Siegel Moecke (Orientadora)

Palhoça
2021

MIRELLA KLAUSEN DA SILVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O USO DO COAGULANTE EXTRAÍDO DAS
SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA* E OS COAGULANTES QUÍMICOS NO
TRATAMENTO DE ÁGUA**

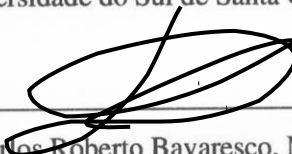
Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 14 de junho de 2021.



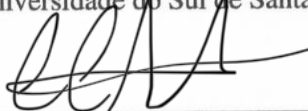
Professora Elisa Helena Siegel Moecke, Dr^a. (Orientadora)

Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Carlos Roberto Bavaresco, Ms. (Avaliador)

Universidade do Sul de Santa Catarina



Carlos Cesar Almeida Alves, Ms. (Avaliador)

Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Sérgio e Cátia, e a minha irmã Maysa por todo o incentivo e motivação ao longo desses anos da minha graduação. Sou eternamente grata por acreditarem em mim e por sempre estarem dispostos a me ajudar no que estivesse ao alcance de vocês.

A minha orientadora Elisa, que me apoiou na elaboração deste trabalho com seus conhecimentos e não apenas me ajudou a realizar um Trabalho de Conclusão de Curso em meio a pandemia, como me auxiliou mesmo com todas as dificuldades enfrentadas e me motivou a sempre buscar o melhor resultado.

Aos responsáveis pela ideia do tema deste trabalho, Carlos Cesar, Debora, Elaine e Vânio, que me proporcionaram a realização deste trabalho voltado ao tratamento de água, justamente pelas experiências e ensinamentos compartilhados ao longo do meu estágio realizado na CASAN, e que muito contribuíram para o meu crescimento na área.

À minha coordenadora de TCC, Silene, por todo o suporte ao longo deste semestre, assim como por todos os conhecimentos divididos ao longo da minha formação acadêmica.

Ao Engenheiro Químico Carlos Cesar e ao meu professor Carlos Bavaresco, por aceitarem fazer parte da minha banca e por participarem deste momento tão especial e marcante da minha vida.

A todos os meus amigos e pessoas importantes que estiveram presentes direta ou indiretamente neste período da minha formação acadêmica, principalmente aos membros do grupo “Hein?Genharia”, por todos os momentos, pela amizade e grupos de estudos. Levarei a amizade de vocês para sempre na minha vida pessoal e profissional.

“Com o poder da sua mente, determinação, instinto e experiência, você pode voar muito alto” (AYRTON SENNA).

RESUMO

A disponibilidade e a gestão sustentável da água, assim como o saneamento para todos, são um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). No tratamento de água, coagulantes são utilizados para desestabilizar partículas presentes na água bruta, propiciando a geração de flocos capazes de serem removidos pelo processo de decantação. Além dos coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio, há polímeros sintéticos e coagulantes naturais que podem ser utilizados para tal função. O presente trabalho objetivou avaliar a eficácia das sementes de *Moringa oleifera*, do cloreto de polialumínio (PAC) e do sulfato de alumínio, no processo de tratamento da água proveniente do rio localizado no Córrego dos Pombos. Os ensaios foram realizados em escala de bancada utilizando o equipamento *Jar test* para simular os processos de coagulação, floculação e decantação. Foram realizadas dosagens de 210 a 3200 mg/L do pó das sementes de *Moringa oleifera* (Método 1) e 1 a 1000 mg/L do extrato aquoso das sementes de *Moringa oleifera* (Método 2), para uma água de turbidez inicial de 21,30 NTU, e aplicadas dosagens de 7 a 8,58 mg/L de cloreto de polialumínio, 14 a 28 mg/L de sulfato de alumínio e 50 a 200 mg/L do extrato aquosos das sementes, para uma água com turbidez inicial de 73,98 NTU. A partir das análises dos parâmetros físico-químicos das amostras de água, antes e após os ensaios de coagulação, floculação e decantação, foi estabelecido a dosagem ótima para cada coagulante. Os resultados mostram que a dosagem ótima de 50 mg/L de extrato aquoso das sementes (Método 2) obteve uma melhor eficiência para uma água de turbidez inicial de 21,30 NTU, apresentando também uma geração de lodo inferior (0,8 mL/L) à do Método 1 (4,5 mL/L). Os coagulantes que obtiveram uma melhor eficiência na remoção da turbidez na água de 73,98 NTU foram o PAC e o extrato aquoso das sementes, com valores acima de 95% de remoção da turbidez, além de apresentarem uma estabilidade maior no pH quando comparados com o sulfato de alumínio. O extrato aquoso apresentou um menor volume de lodo em relação aos outros 2 coagulantes, mostrando ser uma opção eficiente, sustentável e viável para substituir os coagulantes químicos.

Palavras-chave: Coagulante natural. Lodo. Turbidez.

ABSTRACT

The availability and sustainable water management, as well as sanitation for all are part of the Sustainable Development Goals (SDGs). In water treatment, coagulants are used to destabilize particles that are in the raw water, generating flakes that can be removed by the decantation process. In addition to chemical coagulants, like aluminum sulfate, there are synthetic polymers and natural coagulants that can be used for this function. The present study aimed to evaluate the effectiveness of the *Moringa oleifera* seeds, polyaluminium chloride (PAC) and aluminum sulphate, in a river water treatment, located in Córrego dos Pombos. Bench scale tests were performed using the Jar test to simulate the coagulation, flocculation and decantation processes. Dosages of 210 to 3200 mg/L of *Moringa oleifera* seed powder (Method 1) and 1 to 1000 mg/L of *Moringa oleifera* seeds extract (Method 2) were used in a water with initial turbidity of 21.30 NTU. Dosages of 7 to 8.58 mg/L of polyaluminium chloride, 14 to 28 mg/L of aluminum sulphate and 50 to 200 mg/L of aqueous seed extract were used in a water with initial turbidity of 73.98 NTU. From the analysis of the physical-chemical parameters of the water samples, before and after the coagulation, flocculation and decantation tests, the optimum dosages for each coagulant were established. The results show that the optimal dosage of 50 mg/L of aqueous extract (Method 2) obtained a better efficiency in a water with an initial turbidity of 21.30 NTU, presenting a lower sludge generation (0.8 mL/L) than Method 1 (4.5 mL/L). The coagulants that had a better efficiency in removing turbidity in water of 73.98 NTU, were the polyaluminium chloride and the aqueous extract, with turbidity removal values above 95%, in addition to presenting better pH stability compared to aluminum sulphate. The aqueous extract had a smaller sludge volume when compared to the other 2 coagulants, proving to be an efficient, sustainable and viable option to replace chemical coagulants.

Keywords: Natural coagulant. Sludge. Turbidity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dimensões dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	17
Figura 2 – Demandas de Uso da Água no Brasil no ano de 2017, segundo dados da ANA.	19
Figura 3 – Fluxograma com os componentes de um sistema de abastecimento de água.	21
Figura 4 – Fluxograma apresentando o tratamento convencional de água para abastecimento.	22
Figura 5 – Desestabilização de partículas coloidais em solução pelo uso de coagulante catiônico.....	24
Figura 6 – Fotos da planta <i>Moringa oleifera</i> (esquerda) e suas sementes (direita).....	27
Figura 7 – Teste convencional de coagulação realizado no Teste de Jarros (<i>Jar Test</i>).....	30
Figura 8 – Expressão dos resultados obtidos no Método do Cone de <i>Imhoff</i>	32
Figura 9 – Foto tirada da área de estudo (rio), no ano de 2021.	36
Figura 10 – Coleta da água bruta (com o auxílio de um cachimbo) proveniente do rio.	37
Figura 11 – Método Titulométrico utilizado na determinação da alcalinidade total.....	39
Figura 12 – Medidor Multiparâmetro utilizado para a determinação da condutividade elétrica.	40
Figura 13 – Disco de cor utilizado para a determinação da cor aparente.....	41
Figura 14 – pH-metro utilizado para a determinação do potencial hidrogeniônico.	42
Figura 15 – Turbidímetro utilizado para a determinação da turbidez.	43
Figura 16 – Etapas da preparação do extrato aquoso das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	44
Figura 17 – Operação realizada no <i>Jar Test</i> para a determinação da dosagem ótima.....	46
Figura 18 – Método do Cone de <i>Imhoff</i> para determinar o material sedimentado (lodo) gerado.	47
Figura 19 – Volume de lodo gerado pelo pó das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	49
Figura 20 – Volume de lodo gerado no Ensaio 1 do extrato das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	51
Figura 21 – Volume de lodo gerado no Ensaio 2 do extrato das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	53
Figura 22 – Volume de lodo gerado pelo sulfato de alumínio.	55
Figura 23 – Volume de lodo gerado pelo cloreto de polialumínio.	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Vazões de Retirada (m ³ /s) para Abastecimento Humano Urbano nas UFs.....	20
Gráfico 2 – Vazões de Retirada (m ³ /s) para Abastecimento Humano Rural nas UFs.....	21
Gráfico 3 – Eficiência da remoção de turbidez do pó das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	49
Gráfico 4 – Eficiência de remoção da turbidez após o uso do extrato aquoso no Ensaio 1.	51
Gráfico 5 – Eficiência de remoção da turbidez após o uso do extrato aquoso no Ensaio 2.	52
Gráfico 6 – Eficiência de remoção da turbidez após o uso do sulfato de alumínio.....	54
Gráfico 7 – Eficiência de remoção da turbidez após o uso do cloreto de polialumínio.	56
Gráfico 8 – Comparação entre os resultados da dosagem ótima do Método 1 e 2.....	57
Gráfico 9 – Comparação entre os resultados dos ensaios da dosagem ótima dos 3 coagulantes.	58
Gráfico 10 – Dosagem do coagulante utilizada para volume de água consumido por habitante.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores dos ODS 6 e 14 e suas finalidades relacionadas ao presente trabalho.	18
Tabela 2 – Famílias de plantas utilizadas como coagulantes e floculantes naturais.	26
Tabela 3 – Materiais utilizados nas análises laboratoriais.....	37
Tabela 4 – Resultados obtidos no Ensaio do pó das sementes trituradas de <i>Moringa oleifera</i>	48
Tabela 5 – Resultados obtidos no Ensaio 1 do extrato das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	50
Tabela 6 – Resultados obtidos no Ensaio 2 do extrato das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	52
Tabela 7 – Resultados obtidos após o uso do sulfato de alumínio.	53
Tabela 8 – Resultados obtidos após o uso do cloreto de polialumínio.....	55
Tabela 9 – Volume total de água consumido por habitante em determinado período.	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – ODS	16
3.1.1	Usos da água no Brasil.....	19
3.2	ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL	20
3.3	TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO E SUAS ETAPAS.....	22
3.3.1	Coagulação, Floculação e Decantação.....	23
3.4	COAGULANTES	23
3.4.1	Coagulantes inorgânicos	24
3.4.1.1	Sulfato de Alumínio	24
3.4.2	Coagulantes poliméricos inorgânicos	25
3.4.2.1	Cloreto de Polialumínio.....	25
3.4.3	Coagulantes orgânicos	26
3.4.3.1	<i>Moringa oleifera</i>	26
3.5	EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO	29
3.5.1	Testes de Jarros	29
3.6	PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA.....	30
3.6.1	Parâmetros físico-químicos	31
3.6.1.1	Condutividade elétrica.....	31
3.6.1.2	Cor	31
3.6.1.3	Material sedimentado	32
3.6.1.4	Turbidez.....	33
3.6.1.5	Alcalinidade.....	33
3.6.1.6	Potencial hidrogeniônico	34
3.7	PORTARIA GM/MS Nº 888/2021	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1	AMOSTRAGEM	36

4.2	DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	37
4.2.1	Determinação da alcalinidade total	38
4.2.2	Determinação da condutividade elétrica.....	40
4.2.3	Determinação da cor aparente	41
4.2.4	Determinação do potencial hidrogeniônico (pH).....	41
4.2.5	Determinação da turbidez	42
4.3	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	43
4.3.1	Preparação das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	43
4.3.1.1	Preparação do Método 1 – Pó da semente	43
4.3.1.2	Preparação do Método 2 – Extrato aquoso da semente	44
4.3.2	Preparação do Sulfato de Alumínio.....	45
4.3.3	Preparação do Cloreto de Polialumínio – PAC	45
4.3.4	Operação no <i>Jar Test</i>	45
4.3.5	Determinação do volume de material sedimentado (lodo)	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1	PÓ DAS SEMENTES TRITURADAS DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	48
5.2	EXTRATO AQUOSO DAS SEMENTES DE <i>MORINGA OLEIFERA</i>	50
5.2.1	Resultados do Ensaio 1 – Água com turbidez de 21,30 NTU	50
5.2.2	Resultados do Ensaio 2 – Água com turbidez de 73,98 NTU	51
5.3	SULFATO DE ALUMÍNIO	53
5.4	CLORETO DE POLIALUMÍNIO – PAC	55
5.5	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS COAGULANTES	57
5.6	PROPOSTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO O EXTRATO DAS SEMENTES DE <i>MORINGA OLEIFERA</i> EM UMA PEQUENA COMUNIDADE	60
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
6.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	64
	REFERÊNCIAS.....	65
	APÊNDICES	70
	APÊNDICE A – Etapas de floculação e decantação dos ensaios realizados no <i>Jar Test</i> ..	71
	ANEXOS.....	72
	ANEXO A – Tabela de padrão de turbidez para água pós-desinfecção ou pós-filtração	73
	ANEXO B – Tabela de padrão organoléptico de potabilidade da água	74
	ANEXO C – Estimativa do consumo predial diário (valores indicativos)	75

1 INTRODUÇÃO

Assegurar a disponibilidade, a gestão sustentável da água e saneamento para todos é um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esse objetivo se intensifica devido ao recurso, que é fundamental para a sobrevivência dos seres vivos, estar se tornando cada vez mais escasso, pela demanda por água ser fundamental para o desenvolvimento econômico e pelo fato de bilhões de pessoas em todo o mundo ainda terem acesso precário a água, saneamento e higiene. Segundo o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e da Organização Mundial da Saúde (OMS), em torno de 2,2 bilhões de pessoas em todo o mundo não têm serviços de água tratada (UNICEF, 2017).

Os corpos hídricos superficiais continentais constituem o tipo de manancial mais utilizado para abastecimento público no Brasil. Devido à necessidade de obter um padrão adequado de potabilidade antes de ser destinada ao consumo humano, a água deve ser tratada e adequada ao padrão estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A tecnologia mais utilizada no tratamento de água nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) do Brasil é a do tipo ciclo completo, composta pelas etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração, seguida pela desinfecção e fluoretação. Entre as etapas mencionadas anteriormente, destaca-se a etapa da coagulação, devido a sua eficiência estar relacionada ao bom desempenho das operações posteriores e, conseqüentemente, no tratamento da água. Dessa forma, são realizados estudos para identificar a eficiência de algum coagulante e para a seleção da sua dosagem ótima (GHERNAOUT *et al.*, 2015).

No tratamento de água, as interações entre as partículas coloidais estão relacionadas com o afastamento ou agregação das mesmas, definindo a etapa de coagulação sendo a responsável pela desestabilização das partículas e a floculação sendo responsável pela agregação de flocos. Já na etapa de decantação, após floculação, ocorre a separação das partículas por meio da ação da gravidade, decantando as impurezas para o fundo do recipiente e realizando a clarificação da água (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Geralmente os sais de ferro ou alumínio, como o sulfato de alumínio, são os coagulantes mais utilizados nas ETAs do Brasil. Tem-se estudado o uso de coagulantes poliméricos orgânicos e inorgânicos como alternativa aos coagulantes inorgânicos convencionais. Entre os polímeros inorgânicos, o cloreto de polialumínio (PAC) é o mais

comum e de maior disponibilidade no mercado nacional atualmente (KAMIWADA *et al.*, 2020).

Além disso, o uso de coagulantes de origem natural também se tornou uma alternativa na substituição dos coagulantes químicos convencionais, destacando-se em relação à biodegradabilidade, sustentabilidade, baixa toxicidade e baixa produção de lodo.

A *Moringa oleifera* é um exemplo desses coagulantes naturais. A espécie pertence à família *Moringaceae*, originária da Índia e que tem se adaptado bem às condições climáticas brasileiras, especialmente nas regiões nordestinas. As sementes da planta apresentam proteínas catiônicas hidrossolúveis responsáveis pela capacidade coagulante, fazendo com que a mesma possa ser utilizada na clarificação de águas turvas (NWAIWU *et al.*, 2012).

Nesse contexto, este trabalho visa avaliar a eficácia dos diferentes tipos de coagulantes nas etapas que constituem o tratamento da água, em específico as etapas de coagulação/floculação/decantação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia do coagulante natural (*Moringa oleifera*), do coagulante polimérico inorgânico (cloreto de polialumínio) e do coagulante inorgânico (sulfato de alumínio) no processo de tratamento de água proveniente do rio localizado no Córrego dos Pombos, próximo a UNISUL – *Campus Pedra Branca*

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer e avaliar a forma de preparo do coagulante natural da semente de *Moringa oleifera*;
- Avaliar a eficácia do tratamento de água usando diferentes coagulantes (*Moringa oleifera*, cloreto de polialumínio e sulfato de alumínio) através dos ensaios de alcalinidade total, condutividade elétrica, cor aparente, pH e turbidez;
- Estabelecer as dosagens ótimas de cada coagulante nas etapas do tratamento da água simuladas no *Jar test* (coagulação/floculação/decantação);
- Avaliar a quantidade de lodo gerado após a ação dos coagulantes na amostra.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

No presente referencial teórico foram apresentados temas que subsidiaram o desenvolvimento deste trabalho.

3.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E DOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – ODS

A água potável é um recurso fundamental para a sobrevivência de uma população, tornando o tratamento de água essencial para a saúde pública e o desenvolvimento urbano. As águas superficiais estão sujeitas a possuir tipos distintos de impurezas, tais como: gases dissolvidos, patógenos, coloides, compostos orgânicos e inorgânicos (dissolvidos e em suspensão). Visto isso, é necessário realizar a aplicação de formas distintas de tratamento para uma remoção efetiva dessas impurezas e o estabelecimento da potabilidade da água (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Embora seja necessário consumir a água para a sobrevivência, a sociedade ao usufruir do recurso acaba poluindo o mesmo, gerando perdas de quantidade e qualidade da água. Por isso, a preservação da qualidade e da disponibilidade de água é fundamental para garantir o equilíbrio hídrico e o abastecimento da população (SAIDELLES *et al.*, 2014).

A água e o saneamento básico são recursos fundamentais para o ser humano, cujos acessos são essenciais para a saúde, sustentabilidade ambiental e economia. A importância de ambos os recursos em específico levou a criação de um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sendo o 6º objetivo, o qual visa assegurar que o acesso à água e saneamento seja garantido para todos, independentemente de condição social, econômica e cultural.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são uma agenda mundial, composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até o ano de 2030. Os objetivos fornecem metas para que todos os países pratiquem de acordo com suas próprias prioridades, visando gerar mudanças benéficas após a aplicação dos mesmos, sendo um assunto muito importante a ser mencionado (AGENDA 2030, 2021).

Conforme ilustrado na Figura 1, os ODS refletem em três dimensões do desenvolvimento sustentável: social, econômica e ambiental, portanto, não é possível avançar

especificamente em um ODS, mas sim trabalhar em *prol* de todos os 17 ODS para tornar o desenvolvimento sustentável uma realidade (AGENDA 2030, 2021).

Figura 1 – Dimensões dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).



Fonte: Agenda 2030, 2021.

Nas dimensões da biosfera, é salientada a importância da água, destacando o ODS 6 – Água Potável e Saneamento. No ODS 6 são apresentadas duas metas específicas e relacionadas a este trabalho, sendo a meta 6.3, a qual possui a seguinte finalidade: até o ano de 2030 alcançar uma melhoria da qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo, minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente; e a meta 6.1, que busca alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível para todos até 2030.

Assim como o objetivo mencionado anteriormente, o ODS 14 também apresenta uma relação com este trabalho, já que é um objetivo composto de metas com finalidades gerais voltadas a conservação dos recursos hídricos. Em específico, temos a meta 14.1, que aborda

sobre a conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares, e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2021).

Vale ressaltar a existência dos identificadores presentes nas metas de todos os objetivos. Diante disso, os identificadores relacionados a este trabalho, dentro dos ODS 6 e ODS 14, são apresentados a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 – Indicadores dos ODS 6 e 14 e suas finalidades relacionadas ao presente trabalho.

Indicador	Informações
Indicador 6.1.1	Apresentar a proporção da população que utiliza serviços de água potável gerenciados de forma segura, informando a parcela da população de um país que utiliza serviços de água potável a partir de uma gestão segura, com disponibilidade quando necessário, livre de contaminação fecal e de substâncias químicas prejudiciais ao homem.
Indicador 6.3.1	Apresentar a proporção do fluxo de águas residuais tratadas de forma segura. O indicador é formado por 2 subindicadores, o de tratamento de águas residuais domésticas e de águas residuais industriais.
Indicador 6.3.2	Proporção de corpos hídricos com boa qualidade ambiental, ou seja, aquele que não prejudica a função do ecossistema e a saúde humana.
Indicador 14.1.1	Informar o índice de eutrofização costeira, sendo este um processo que indica o enriquecimento da água por nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, causando danos para o sistema aquático.

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Em ambos os ODS apontados anteriormente, é necessário abordar sobre o uso de técnicas menos prejudiciais no tratamento de água e as suas relações com os recursos hídricos em geral, assim como a vida aquática que neles reside, o saneamento e a água potável consumida pelo ser humano.

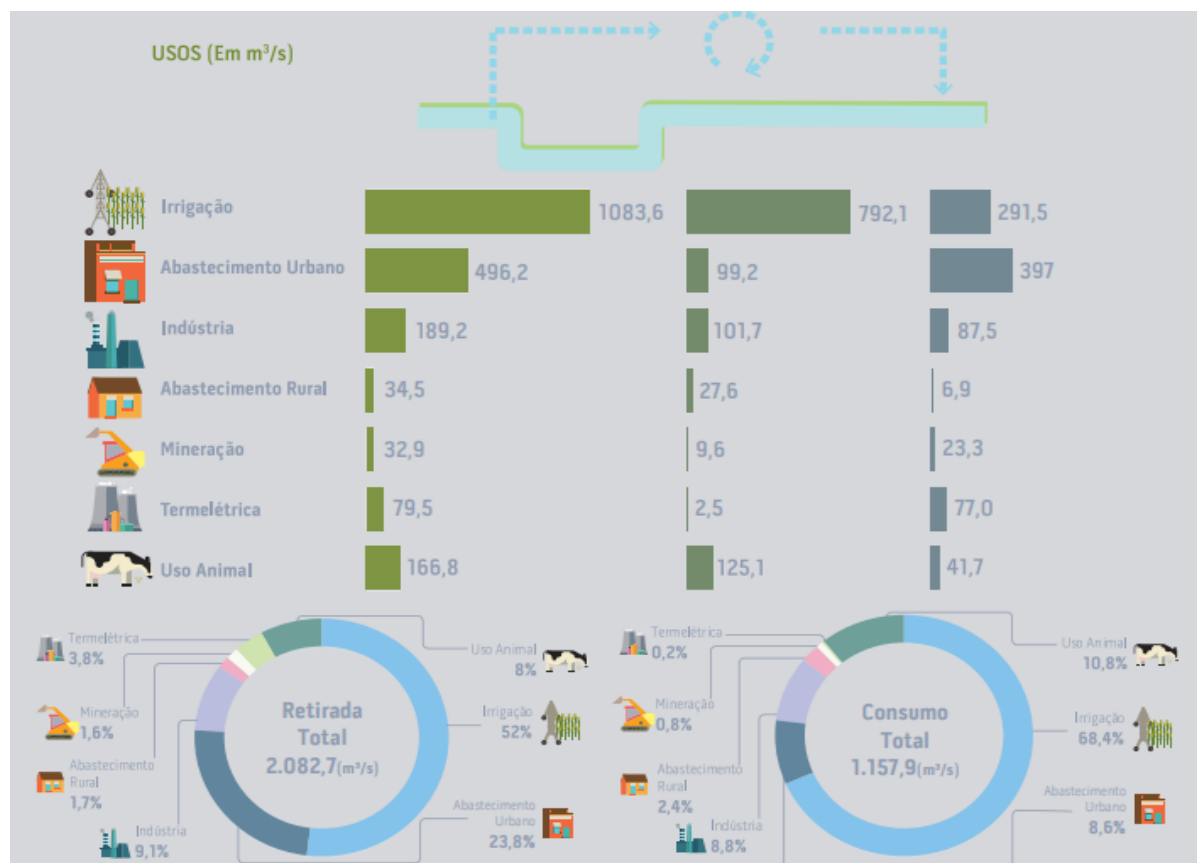
A fim de mostrar a relação desses ODS com o tratamento de água estudados neste trabalho, pode-se destacar o uso de coagulantes naturais no tratamento, o qual apresenta vários aspectos importantes, como a geração de um lodo biodegradável, em menor volume e sem produtos secundários como aqueles gerados pelos coagulantes químicos, mitigando os impactos ambientais nos recursos hídricos (ANDRADE *et al.*, 2021; AL-GHEETHI *et al.*, 2017).

3.1.1 Usos da água no Brasil

Quando abordamos sobre o uso consuntivo de água, temos a definição de quando a água retirada é consumida (de forma parcial ou total), no processo a que se destina, não retornando diretamente ao corpo d'água, por exemplo, o uso do recurso em processos da produção de produtos e o consumo por seres vivos. Já outros tipos de usos da água, como a navegação, a pesca, o turismo e o lazer, são considerados usos não consuntivos, pois mesmo dependendo do recurso, não afetam diretamente a quantidade de água da área (ANA, 2019).

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2017) “os principais usos consuntivos da água no Brasil são o abastecimento humano (urbano e rural), o abastecimento animal, a indústria de transformação, a mineração, a termoeletricidade, a irrigação e a evaporação líquida de reservatórios artificiais. Para cada uso são caracterizadas as vazões de retirada (montante captado no corpo hídrico), de consumo (fração da retirada que não retorna ao corpo hídrico) e de retorno (fração da retirada que retorna ao corpo hídrico)”, podemos observar a demanda desses usos na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Demandas de Uso da Água no Brasil no ano de 2017, segundo dados da ANA.



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2017.

Como é possível observar na figura acima, a irrigação é responsável por 52% das retiradas de água, seguida pelo abastecimento urbano (23,8%), indústria de transformação (9,1%) e abastecimento animal (8%). Em relação ao consumo, existem proporções distintas de retorno médio aos corpos d'água, a proporção dos usos no consumo total se altera, com aumento da relevância da irrigação e diminuição do abastecimento urbano (ANA, 2017).

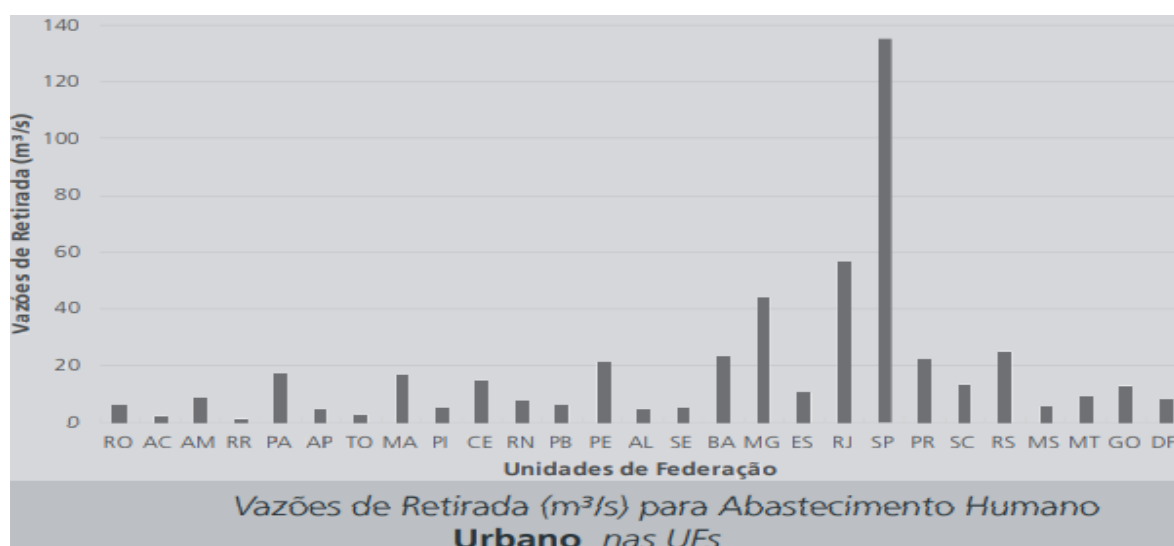
Vale ressaltar também que de forma global, o mundo enfrenta grandes desafios no cenário de água e energia para garantir o fornecimento sustentável de água para 748 milhões de pessoas que não têm acesso a ela, e segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), a demanda por água é prevista para aumentar 55% até 2050.

3.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

O abastecimento de água engloba o uso doméstico (urbano e rural), nos setores comerciais e de serviços. O Brasil é um dos países que possui a maior disponibilidade de água, porém, uma grande parte deste recurso está presente em regiões onde há menor quantidade de habitantes. Já em locais que possuem uma elevada densidade populacional e forte demanda pelos recursos hídricos, como as zonas urbanas, são atingidos constantemente pela poluição e, por consequência, ocasionam mudanças na qualidade da água (ANA, 2017).

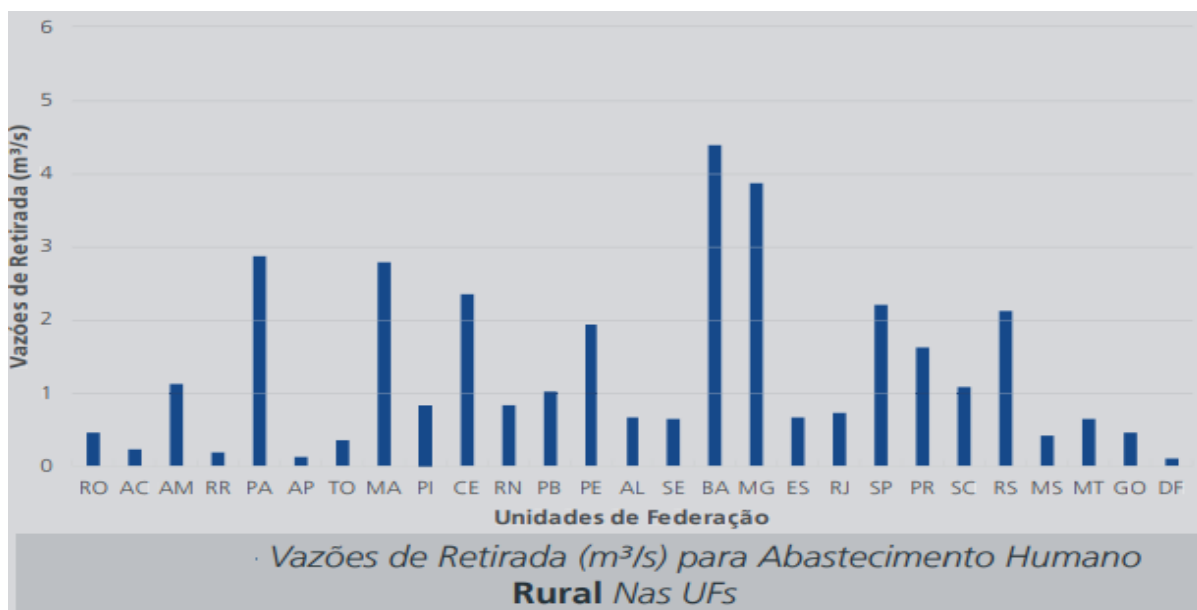
Os Gráficos 1 e 2, elaborados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), ilustram a relação da variação das vazões de retirada para o abastecimento (urbano e rural), com os estados do Brasil.

Gráfico 1 – Vazões de Retirada (m^3/s) para Abastecimento Humano Urbano nas UFs.



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2017.

Gráfico 2 – Vazões de Retirada (m^3/s) para Abastecimento Humano Rural nas UF's.



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, 2017.

A partir da observação dos Gráficos, identificamos que São Paulo acaba se destacando, com vazões de retirada da ordem de $135 \text{ m}^3/\text{s}$ para abastecimento urbano, vazão que corresponde a quase 4 vezes a retirada de água para o abastecimento rural de todo o País.

Diante das informações mencionadas anteriormente, é imprescindível abordar sobre os componentes de um sistema de abastecimento de água, o qual é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma com os componentes de um sistema de abastecimento de água.



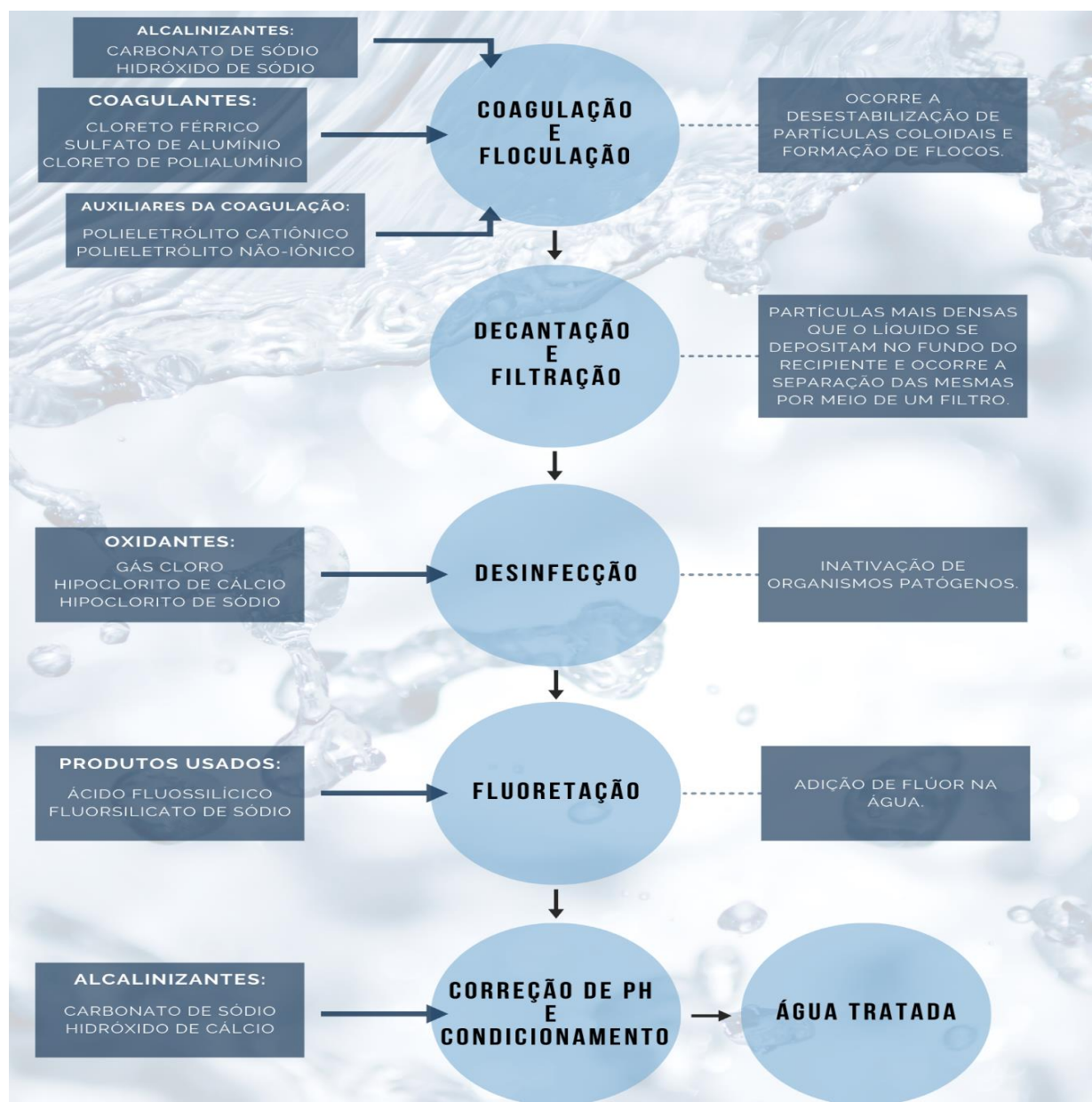
Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.3 TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO E SUAS ETAPAS

A qualidade da água é avaliada por uma variedade de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, sendo que, quando os mesmos não estão dentro dos critérios exigidos, a água se torna uma fonte de propagação de doenças (PACA *et al.*, 2019).

A Figura 4 apresenta as tecnologias presentes nos tratamentos físico-químicos, sendo incluídos também alguns reagentes químicos que podem ser utilizados ao longo dos processos.

Figura 4 – Fluxograma apresentando o tratamento convencional de água para abastecimento.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Os principais parâmetros químicos da água mensuradas periodicamente em Estações de Tratamento de Água (ETA) são: alcalinidade e pH, já que ambas influenciam na eficiência dos processos de coagulação de águas de abastecimento (LEMOS *et al.*, 2020).

As etapas de coagulação, floculação e decantação, juntas, são responsáveis por grande parte do processo de tratamento de água, provando a sua eficiência do tratamento quando realizadas corretamente.

3.3.1 Coagulação, Floculação e Decantação

Para que o tratamento resulte em um bom desempenho, é fundamental que a etapa de coagulação seja eficiente, já que o bom funcionamento dessa primeira etapa está diretamente relacionado ao sucesso das posteriores. Por isso, estudos aprofundados são imprescindíveis para a escolha de um coagulante e de sua dosagem ótima (GHERNAOUT *et al.*, 2015).

As interações entre as partículas coloidais no tratamento de água regem a capacidade de afastamento ou agregação das mesmas, sendo essas interações divididas em duas etapas: a coagulação (agitação e desestabilização das partículas) e a floculação (repouso e formação de flocos). Na etapa de decantação, após os processos de coagulação e floculação, ocorre a separação das partículas por meio da ação da gravidade, e posteriormente, as mesmas decantam para o fundo do recipiente, deixando a água com aspecto mais claro do que o de início (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

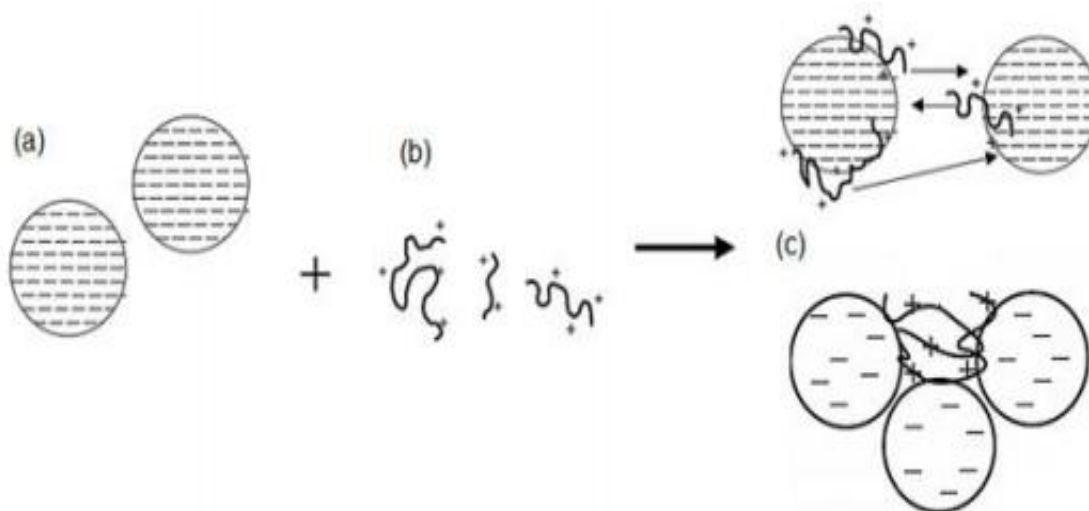
3.4 COAGULANTES

Normalmente, os coagulantes são caracterizados por possuírem cátions polivalentes (por exemplo: Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+}), que neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas, já que formam cátions de diversas cargas (CAVALCANTI, 2009).

Portanto, agentes coagulantes eficientes devem ser capazes de produzir espécies catiônicas em solução, bem como promover a desestabilização das partículas do meio através de neutralização/redução de cargas. Já os agentes floculantes promovem a formação de flocos e agregados maiores e mais densos, favorecendo sua remoção em etapas posteriores do tratamento, como a decantação e filtração (LEE *et al.*, 2014).

A Figura 5 faz uma representação da desestabilização de partículas coloidais em solução pelo uso de um coagulante catiônico.

Figura 5 – Desestabilização de partículas em solução pelo uso de coagulante catiônico.



Fonte: Lima *et al.*, 2018.

No item (a) as cargas elétricas negativas comumente presentes na superfície das partículas coloidais dispersas nas águas naturais, no item (b) o coagulante catiônico, e por fim, o item (c) demonstra a interação eletrostática entre o coagulante catiônico e partícula coloidal e o estabelecimento de forças atrativas de agregação dos flocos, resultando na redução da carga negativa superficial (LIMA *et al.*, 2018).

Foram utilizados neste trabalho coagulantes do tipo inorgânico (sulfato de alumínio), coagulante polimérico inorgânico (cloreto de polialumínio) e orgânico (*Moringa oleifera*).

3.4.1 Coagulantes inorgânicos

Atualmente os coagulantes utilizados para o tratamento de água, são os de natureza inorgânica e dentre esses os constituídos por sais de ferro ou alumínio, tais como sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico (FeCl_3) e sulfato ferroso (FeSO_4), que se hidrolisam rapidamente com a água e geram um precipitado amorfo do tipo $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ou $\text{Al}(\text{OH})_3$, se destacando devido ao alto rendimento no processo de coagulação do sistema (LEE *et al.*, 2014; RIBEIRO *et al.*, 2019).

3.4.1.1 Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio possui um manuseio fácil, um baixo custo econômico e de produção, podendo ser armazenado em tanques de diferentes materiais (como o plástico, madeira ou aço inoxidável). Sua característica física de fornecimento comercial pode ser em

formato sólido (granular) ou na forma líquida, porém, o mesmo acaba impactando na disposição do lodo formado após o tratamento de água e, apesar de ser uma excelente coagulante, acaba poluindo o lodo, devido a liberação do metal presente no produto, o que dificulta o descarte do lodo proveniente dos decantadores (CORAL *et al.*, 2009).

3.4.2 Coagulantes poliméricos inorgânicos

Atualmente destacam-se os estudos relacionados ao uso de coagulantes poliméricos orgânicos e inorgânicos como meio de substituição, total ou parcial, aos coagulantes inorgânicos convencionais (RIBEIRO *et al.*, 2019).

Entre esses tipos de coagulantes, temos o cloreto de polialumínio (PAC), classificado como um coagulante polimérico inorgânico, sendo o mais comum e de maior disponibilidade no mercado nacional (HOWE *et al.*, 2016).

Um diferencial do PAC, quando comparado com o sulfato de alumínio, seriam os flocos de $\text{Al}(\text{OH})_3$ formados após a adição do PAC, pois a estrutura polimérica do coagulante se mantém no floco gerado, e além disso, os precipitados gerados pelo PAC são rígidos e pesados, propiciando o aumento da velocidade de sedimentação (PERNITSKY *et al.*, 2006).

3.4.2.1 Cloreto de Polialumínio

De acordo com a a NBR 16488 – Cloreto de Polialumínio (PAC) – Aplicação em saneamento básico – Especificação técnica amostragem e métodos de ensaio (2016, p.1):

o cloreto de polialumínio é um sal metálico coagulante de alta massa molar, formado por unidades de hidroxícloreto de alumínio agregadas, obtido pela reação entre ácido clorídrico e hidrato de alumínio ou outras fontes de alumínio que possuem a seguinte fórmula química $(\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m})$ onde n é uma variável que representa o número de átomos de alumínio e m uma variável que representa o número de hidroxilas.

O baixo efeito no pH em razão da basicidade presente, a menor quantidade de alumínio residual na água e a floculação mais rápida são alguns dos benefícios apresentados por esse coagulante no tratamento de água (HOWE *et al.*, 2016).

3.4.3 Coagulantes orgânicos

As principais vantagens dos coagulantes naturais quando comparados aos inorgânicos e sintéticos incluem a alta disponibilidade da matéria-prima, muitas vezes renovável; a baixa corrosividade sobre o sistema de distribuição; baixa produção e toxicidade de lodo gerado no processo; em geral não apresentam riscos à saúde humana e animal; reduzem os custos e perigos nos processos de tratamento de água e estimulam o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis (HOWE *et al.*, 2016).

Apesar do desempenho e da eficácia já comprovadas dos coagulantes químicos, muitos estudos relacionados à coagulantes e floculantes naturais estão sendo realizados, dos quais, podemos destacar o caso da planta *Moringa oleifera*. Na Tabela 2 são apresentadas várias famílias de plantas utilizadas como coagulantes e floculantes.

Tabela 2 – Famílias de plantas utilizadas como coagulantes e floculantes naturais.

<i>Papilionideae</i>	<i>Capparidaceae</i>
<i>Cactaceae</i>	<i>Moringaceae</i>
<i>Acanthaceae</i>	<i>Tiliaceae</i>
<i>Araceae</i>	<i>Anacardiaceae</i>
<i>Malvaceae</i>	<i>Annonaceae</i>

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

3.4.3.1 *Moringa oleifera*

A acácia-branca ou *Moringa oleifera* é uma planta tropical, pertencente à família *Moringaceae*, natural dos Himalaias (Noroeste da Índia) e atualmente encontra-se disseminada pela África, América e diversas regiões de clima compatível. É uma planta que possui folhas e frutos, cujas sementes possuem um papel muito importante na clarificação da água para consumo humano, apresentando um potencial muito significativo no processo de coagulação e floculação (NWAIWU *et al.*, 2012).

A *Moringa oleifera* possui diversas aplicações, fazendo com que a mesma tenha um grande destaque na área da pesquisa. Todas as partes da planta podem ser aproveitada. Assim, suas folhas possuem os constituintes como o *fitol* e *timol*, já as flores possuem o octadecano e ácido hexadecanóico (FERREIRA *et al.*, 2020).

As sementes da planta (parte utilizada neste trabalho), contêm aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e nutrientes glucosinolatos e fenólicos, classificados como grupos funcionais capazes de adsorver íons metálicos. O uso das sementes de *Moringa oleifera* (Figura 6) para a purificação de água é uma alternativa econômica, já que as características da mesma fazem com que, quando solubilizadas em águas naturais e residuárias, sejam eficientes coagulantes (BONGIOVANI *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2020).

Figura 6 – Fotos da planta *Moringa oleifera* (esquerda) e suas sementes (direita).



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Como já mencionado, são muitos os benefícios gerados a partir da adoção de coagulantes naturais, e no caso do uso da *Moringa oleifera*, com apenas uma pequena dosagem pode reduzir consideravelmente o consumo de coagulantes químicos, além da geração de lodo biodegradável, manutenção do pH da água, altas eficiências na remoção de cor e turbidez, que possuem uma taxa normalmente acima de 90% (BONGIOVANI *et al.*, 2013).

Ao longo dos anos muitos foram os estudos realizados no ramo do tratamento de água, executados com o intuito de renovar e conhecer novas técnicas de tratamento mais viáveis para o ser humano, e também, menos prejudiciais para o meio ambiente.

Um exemplo de estudo realizado, se refere a aplicações das sementes de *Moringa oleifera* como coagulante orgânico no tratamento de água, devido as suas próprias características naturais, a mesma se torna um método substitutivo dos coagulantes inorgânicos (químicos). As aplicações das sementes da planta no tratamento de águas brutas envolvem as sementes em seu estado natural, trituradas e em soluções aquosas previamente preparadas.

Segundo o estudo realizado por Paterniani *et al.* (2009), as sementes foram aplicadas no tratamento de águas sintéticas obtidas por Bentonita, a partir de dois processos, o da filtração lenta direta em mantas sintéticas não tecidas e por sedimentação simples. Os resultados apresentaram uma eficiência maior em águas com turbidez de 50 até 100 NTU, em ambos os processos, com valores de reduções médias da turbidez e da cor aparente, de 90% no processo de sedimentação simples e 96% no de filtração lenta. Foi observado também que quanto maior é a turbidez da água bruta, maior a concentração do coagulante usado em ambos os processos.

No estudo de Franco *et al.* (2017), foram elaborados 3 tipos de métodos de preparação das sementes de *Moringa oleifera* e identificado o melhor entre os 3. Na preparação do Método 1 a semente foi descascada, triturada, peneirada e diluída; no Método 2 a semente foi secada, triturada, peneirada, diluída e filtrada; e no Método 3 a semente foi triturada, peneirada, diluída e filtrada. Foi apresentada uma eficiência na remoção de turbidez em águas acima de 40 NTU, sendo que não houveram diferenças significativas entre os 3 métodos, porém, observou-se que no método 3 ocorreram incrustações.

Outros estudos do coagulante natural, como o de Oteng-Peprah *et al.* (2018), apresentaram eficiência na redução da turbidez e purificação de águas provenientes de mananciais, também, foi relatado que o pó das sementes pode reduzir a turbidez em 96 a 98% de água residual (provenientes de lavatórios, chuveiros e tanques) em até 88% e de 53 a 93% quando usado junto a um sistema de filtração de areia. Foi observado também, em águas residuais, uma redução de turbidez e uma remoção percentual de 91% em coliformes fecais e 99% de *Escherichia coli*.

Para investigar a eficiência do pó das sementes de *Moringa oleifera* como coagulante, foi usado em conjunto com um sistema de filtração de areia, para o tratamento de águas de banheiros de escolas públicas. Os resultados indicaram que o pó, junto a filtração de areia,

apresentou um potencial antimicrobiano e de coagulação, mostrando a redução da turbidez de 98 % e de *Escherichia coli* de 99,99 % (NTIBREY *et al.*, 2020).

3.5 EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO

A eficiência do tratamento de água está relacionada as suas variáveis, sendo elas a concentração do coagulante e o pH. Portanto, após o processo de coagulação e floculação, o processo de decantação pode ter a sua eficiência reduzida à medida que ocorre um funcionamento inadequado das etapas de coagulação e floculação, o que pode acontecer devido ao ajuste incorreto do pH ou quando a água bruta apresenta baixa concentração de partículas, dificultando o processo de coagulação (FUNASA, 2014).

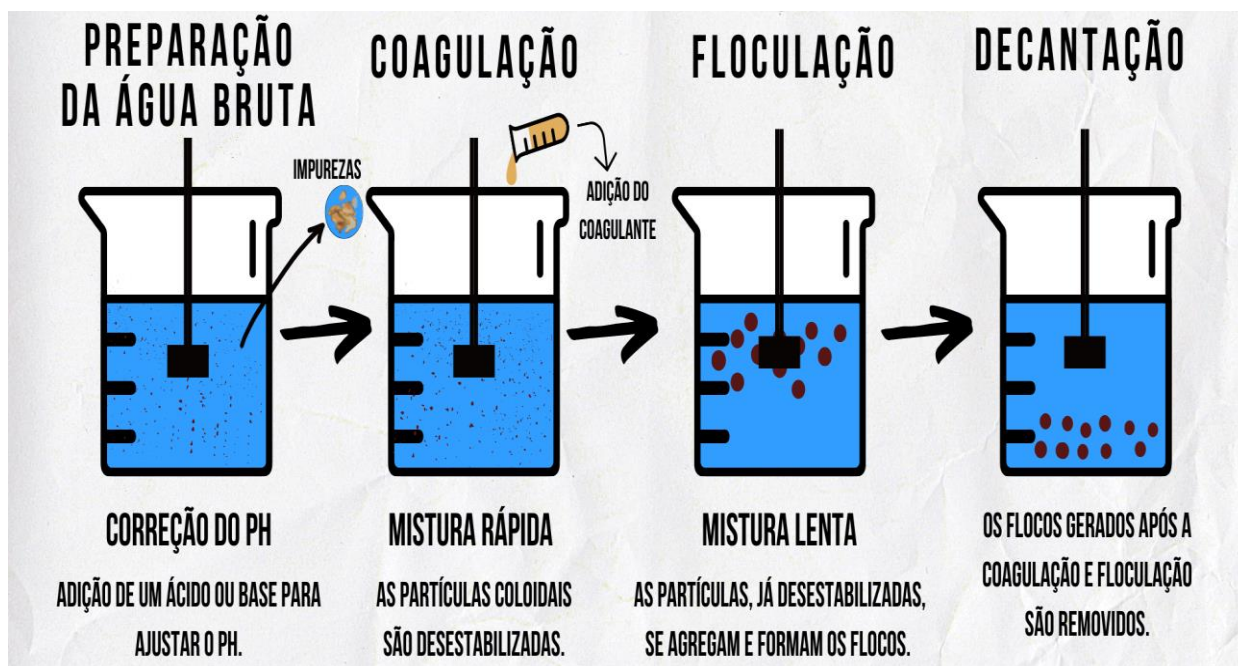
Visto que através da variação das dosagens dos coagulantes é possível observar qual é o resultado mais satisfatório da coagulação, é possível determinar qual coagulante possui a melhor eficiência no tratamento da água analisada, a partir da comparação das mudanças das características físicas e químicas obtidas antes e após os diferentes ensaios de simulação realizados no *Jar Test*, assim como a observação da concentração de coagulante utilizado no processo (FUNASA, 2014).

O coagulante usado em maior quantidade no tratamento de água do Brasil, é o sulfato de alumínio, pelo motivo do mesmo possuir uma alta eficiência na extração de impurezas, manejo simples e custo acessível. Entretanto, mesmo que esse coagulante tenha uma ótima eficiência, o uso extensivo do mesmo tem sido discutido devido à presença de alumínio em excesso na água tratada e também no lodo acumulado ao final do processo, que muitas vezes possui um volume significativo. Os resíduos de alumínio acabam acumulando na água tratada, podendo ocasionar em problemas para a saúde humana (SIQUEIRA *et al.*, 2018).

3.5.1 Testes de Jarros

Muitos estudos de tratabilidade em laboratório são realizados, variando a dosagem do coagulante a ser estudado, o pH utilizado no meio, os gradientes de velocidade médios e os tempos de mistura, assim, o equipamento *Jar Test* ou Teste de Jarros (representado esquematicamente na Figura 7) é utilizado para facilitar as operações das etapas de coagulação, floculação e decantação (FERRARI *et al.*, 2012).

Figura 7 – Teste convencional de coagulação realizado no Teste de Jarros (*Jar Test*).



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

O *Jar Test* simula a etapa de coagulação pela mistura rápida (contato entre coagulante e particulado dissolvido/coloidal) entre os reagentes, e a da floculação, denominada de mistura lenta (agregação de microflocos), a qual a rotação do sistema é reduzida para favorecer a formação e o crescimento dos flocos (BARTIKO *et al.*, 2015).

3.6 PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

Segundo a Funasa (2014), as características físicas, químicas e biológicas estão associadas a uma série de processos que ocorrem no corpo hídrico, sendo que o conceito de qualidade da água sempre está relacionado com o uso que se faz da mesma, por exemplo, uma água de qualidade adequada para uso industrial pode não possuir uma qualidade adequada para o abastecimento humano ou para preservação da vida aquática.

A seguir, serão abordados os parâmetros físicos e químicos realizados no presente trabalho, os quais apresentam um papel fundamental na indicação de qualidade da água.

3.6.1 Parâmetros físico-químicos

Serão apresentados os parâmetros físicos da água, sendo eles a condutividade elétrica, cor, material sedimentado (lodo) e turbidez, assim como os parâmetros químicos da água, sendo eles a alcalinidade e o potencial hidrogeniônico (pH).

3.6.1.1 Condutividade elétrica

Segundo a Funasa (2014) condutividade elétrica da água indica a capacidade que o corpo hídrico possui para transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em ânions e cátions. Existe uma relação com a concentração iônica presente na solução, a qual menciona que quanto maior for essa concentração iônica, maior é a oportunidade para ação eletrolítica e maior será a capacidade em conduzir corrente elétrica, já para uma menor concentração iônica na solução, ocorre o oposto.

As unidades que representam a condutividade elétrica é a de resistência (mho ou S) por unidade de comprimento (cm ou m). As águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que em águas poluídas por águas residuais chegam a valores de 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (FUNASA, 2014).

3.6.1.2 Cor

Segundo a Funasa (2014), a cor da água é a representação da reflexão da luz em partículas, denominadas de coloides, que possuem dimensões inferior a 1 μm , de origem orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) ou mineral (compostos de ferro e manganês).

As águas naturais apresentam geralmente as intensidades de cor variando de 0 a 200 unidades. Os rios possuem dois tipos de classificação de águas, sendo elas as águas brancas e pretas. As águas brancas possuem alta turbidez, são ricas em nutrientes, possuem um pH mais básico, ricas em íons dissolvidos e sedimentos. Já as águas pretas apresentam a presença de substâncias orgânicas dissolvidas (motivo de possuir uma coloração mais escura), possuem pH ácido, baixa carga de sedimentos e baixa concentração de cálcio e magnésio (FUNASA, 2014).

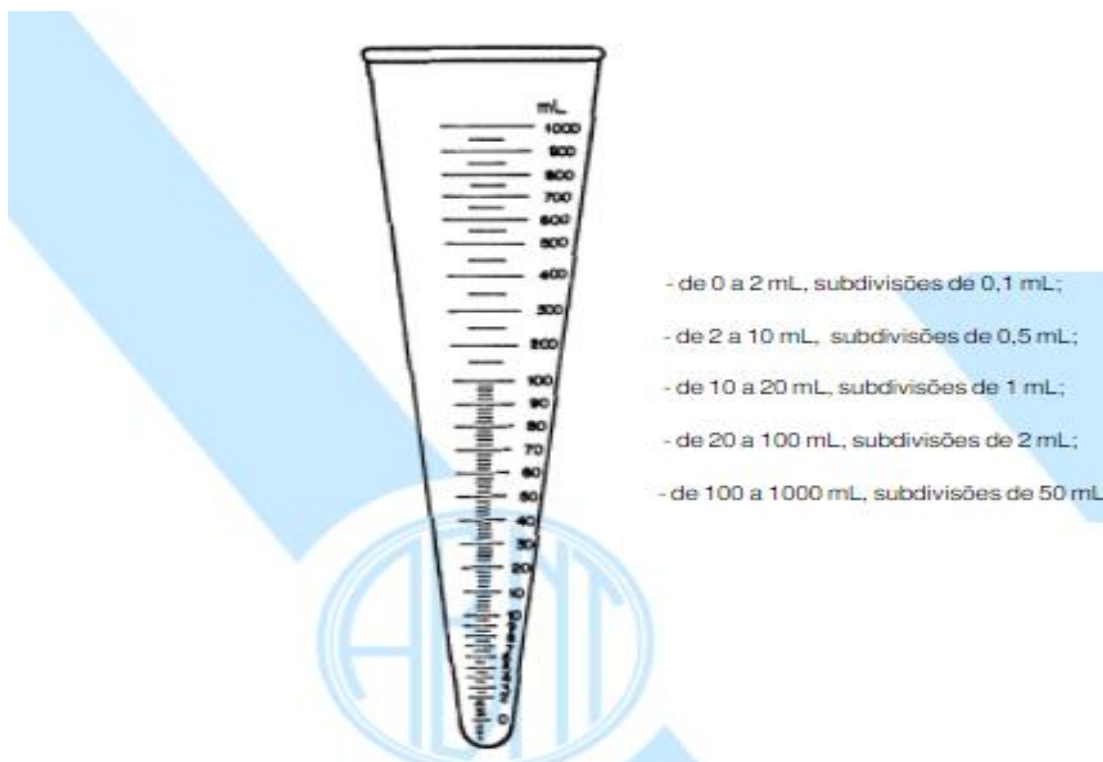
O parâmetro da cor é definido em cor verdadeira, a qual determina a cor em amostras sem turbidez (determinado após a centrifugação) e a cor aparente, que se refere à determinação de cor em amostras com turbidez (consideram as partículas em suspensão). Para

atender o padrão de potabilidade, a água deve apresentar intensidade de cor aparente inferior a cinco unidades. O resultado fornecido para o parâmetro é expresso em unidades de cor (uH), chamadas de unidade Hazen (FUNASA, 2014).

3.6.1.3 Material sedimentado

São aquela porção de sólidos sedimentáveis mais grosseira dos sólidos suspensos, capazes de sedimentar no período de 1 hora. O parâmetro pode ser determinado a partir do Cone de *Imhoff*, equipamento que possui um formato cônico, utilizado para determinar o volume de material sedimentado em suspensão. Após a leitura dos resultados obtidos no Método do Cone de *Imhoff* (Figura 8), o teor do parâmetro é expresso em mL/L (APHA *et al.*, 2012).

Figura 8 – Expressão dos resultados obtidos no Método do Cone de *Imhoff*.



Fonte: ABNT NBR 10.561, 1988.

Devido ao fato dos sólidos sedimentáveis serem constituintes principais dos lodos das estações de tratamento, a remoção de uma parte significativa dos mesmos em um abastecimento de água faz com que a mesma apresente um nível de qualidade potável (APHA *et al.*, 2012).

3.6.1.4 Turbidez

A turbidez é caracterizada pela presença de materiais em suspensão (por exemplo: argila, areia fragmentos de rochas e matéria orgânica) que interferem na passagem da luz através do líquido, sendo expressa por meio de unidades de turbidez, também denominadas de NTU, que representam as unidades de Jackson ou nefelométrica de turbidez (FUNASA, 2014).

Segundo a Funasa (2014), o que diferencia a turbidez da cor, é que a cor é causada por substâncias dissolvidas, já a turbidez é provocada por partículas em suspensão, podendo ser reduzida por sedimentação. A ocorrência da turbidez pode ser gerada através de origens naturais (por exemplo: altos índices pluviométricos e uso inadequado de práticas agrícolas), assim como de origens antrópicas (lançamentos de águas residuais em águas naturais).

De acordo com a Funasa (2014), a turbidez das águas naturais, em sua maioria, está na faixa de 3 a 500 NTU, já para fins de potabilidade, a turbidez deve seguir o parâmetro estabelecido pelo Anexo 2 da Portaria GM/MS nº 888/2021.

Segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021, “entre os 5% dos valores permitidos de turbidez superiores ao Valor Máximo Permitido (VMP), estabelecido no Anexo 2 para água subterrânea, pós-desinfecção, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser de 5,0 uT, e em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) ou pontos de consumo, deverá atender ao VMP de 5,0 uT para turbidez” (BRASIL, 2021, Art.28. § 1º, § 2º). Vale ressaltar que a turbidez pode ser expressa em Unidade de Turbidez (uT) e Unidade Nefelométrica de Turbidez (NTU), ambas são equivalentes, porém a unidade adotada no presente trabalho foi a NTU.

A Tabela de padrão de turbidez para água pós-desinfecção (para águas subterrâneas) ou pós-filtração do Anexo 2 da Portaria GM/MS nº 888/2021 está presente no Anexo A deste trabalho.

3.6.1.5 Alcalinidade

Segundo a Funasa (2014), a alcalinidade indica a quantidade de íons na água que reagem para neutralizar os íons hidrogênio. Constitui-se portando na capacidade de um ambiente aquático resistir a mudanças do potencial hidrogeniônico (pH).

A alcalinidade na água possui 3 formas, sendo elas os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2+}) e hidróxidos (OH^-). A distribuição dessas formas é representada em função do seu pH, ou seja, o pH maior que 9,4 é representado pelos hidróxidos e carbonatos; o pH entre 8,3 e 9,4 é representado pelos carbonatos e bicarbonatos; e o pH entre 4,4 e 8,3 é representado pelos bicarbonatos (FUNASA, 2014).

Os corpos hídricos que possuem altos valores de alcalinidade conseguem se manter próximos aos teores de pH, mesmo que recebam contribuições ácidas ou alcalinas. Nas águas, os valores elevados de alcalinidade também estão associados a processos de decomposição da matéria orgânica, bem como à alta taxa respiratória de microrganismos, que realizam a liberação e dissolução do gás carbônico (CO_2) na água. Em sua maioria, as águas naturais apresentam valores de alcalinidade de 30 à 500 mg/L de CaCO_3 (FUNASA, 2014).

Além disso, a alcalinidade é importante no tratamento de água porque reage com coagulantes de sais de ferro e alumínio em processos de floculação. Logo, as águas com alcalinidade de menos de 15 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ dificilmente formará flocos precipitáveis com esses sais coagulantes (DÍAZ *et al.*, 2018).

3.6.1.6 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) representa o valor das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido, através da presença de íons hidrogênio (H^+). O pH é representado por uma faixa de 0 a 14, classificando como ácidas as condições inferiores a 7, neutras as condições iguais a 7 e alcalinas as condições superiores a 7. O pH possui influência na distribuição das formas livres e ionizadas compostos químicos, além disso, o mesmo contribui para uma maior ou menor solubilidade das substâncias (FUNASA, 2014).

Segundo a Funasa (2014), as alterações de pH podem ter origem natural (por exemplo: a dissolução de rochas e fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais). Para a adequada manutenção da vida aquática, o pH deve situar-se, geralmente, na faixa de 6 a 9. No entanto, existem várias exceções a esse padrão, devido a influências naturais, como em rios de cores intensas, que possuem um pH ácido (valores de 4 a 6) devido a decomposição da vegetação (origem natural) ou derivado da poluição atmosférica, a partir de precipitações que possuem em sua composição gases poluentes com o vapor gerado pela água (origem antrópica).

3.7 PORTARIA GM/MS Nº 888/2021

É fundamental controlar e exigir a qualidade da água, a partir do uso de regulamentos técnicos específicos e legislações que garantem saúde e bem-estar à população. Desta forma, é competência do Ministério da Saúde (MS) estabelecer Normas de potabilidade da água.

No dia 4 de maio de 2021, foi publicado a Portaria GM/MS nº 888/2021, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, na forma do Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5/2017, portanto, o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017, passa a vigorar na forma do Anexo desta Portaria (BRASIL, 2021).

Diante disso, foi inserido no Anexo B deste trabalho, uma tabela com o Valor Máximo/Mínimo Permitido de alguns parâmetros que a água potável deve apresentar para estar em conformidade com padrão organoléptico de potabilidade estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária – LEA, da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, onde foram conduzidos os diferentes ensaios de simulação no *Jar Test* e determinados os parâmetros físico-químicos do tratamento. As análises laboratoriais foram realizadas no período de abril à maio do ano de 2021.

A amostra de água é proveniente do rio, no Córrego dos Pombos (Figura 9), localizado no município de Palhoça, próximo ao AeroPark da Pedra Branca.

Figura 9 – Foto tirada da área de estudo (rio), no ano de 2021.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.1 AMOSTRAGEM

Com o auxílio de um equipamento chamado cachimbo, as amostras do rio foram coletadas, sendo que o mesmo foi sujeito a tríplice lavagem com a água bruta a ser estudada, no momento da coleta. A coleta da amostra foi realizada em dias diferentes, porém, a água bruta proveniente do rio foi sempre coletada no mesmo ponto, destacado em vermelho na Figura 10.

Figura 10 – Coleta da água bruta (com o auxílio de um cachimbo) proveniente do rio.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.2 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Foram feitas as análises dos parâmetros físico-químicos da amostra antes e após a adição dos diferentes coagulantes. Os materiais utilizados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Materiais utilizados nas análises laboratoriais.

Atividade	Materiais utilizados
Determinação da alcalinidade total	Equipamentos: Bureta Graduada de Vidro com Torneira de Teflon de 25 mL; 6 Frascos Erlenmeyers de 125 mL; 6 Barras magnéticas (peixinho); Pipeta volumétrica de 50 mL; Agitador magnético; Papel toalha e Proveta de 50 mL.
	Reagentes: Solução de ácido sulfúrico 0,02 N e mistura indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila.
Determinação da condutividade elétrica	Equipamentos: Medidor Multiparâmetro; 7 Béqueres de 250 mL; Papel toalha e Pisseta de 500 mL contendo água destilada.
	Reagentes: Solução padrão para condutividade de KCl 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Determinação da cor aparente	Equipamentos: Aparelho de disco de cor; 2 Tubos de vidro (para água deionizada e para a amostra) e Pisseta de 500 mL contendo água deionizada.
Determinação do pH	Equipamentos: Aparelho pH-metro; Papel toalha; Pisseta de 500 mL contendo água destilada e 7 Béqueres de 250 mL.
	Reagentes: Solução padrão para pH 4,0 e 7,0.
Determinação da turbidez	Equipamentos: Aparelho Turbidímetro; 1 Tubo contendo a solução padrão de turbidez e 1 Tubo contendo a amostra.
Determinação dosagem ótima do coagulante	Equipamentos: <i>Jar Test</i> ; 6 Béqueres de 1000 mL; 1 Béquer de 500 mL; Balança Analítica; Espátula; Moedor de café; Peneira ABNT 60 TYLER/MESH de 1 mm; Pisseta de 500 mL contendo água destilada; Filtro a vácuo; Papel Filtro; Balão volumétrico de 500 mL; Agitador magnético e 6 Béqueres de 50 mL.
Determinação do volume de material sedimentado	Equipamentos: Cone <i>Imhoff</i> e Bastão de vidro.

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.2.1 Determinação da alcalinidade total

A determinação da alcalinidade total foi realizada pelo Método Titulométrico (Figura 11), seguindo as seguintes etapas:

- Transferidos 50 mL da amostra de água bruta em um Erlenmeyer de 125 mL;
- Adicionadas 3 gotas da solução indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila;
- Colocado a barra magnética para agitação;
- Titulado com solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,02 N até mudança da cor azul-esverdeada para róseo;
- Anotado o volume total de H_2SO_4 gasto (V) em mL.

Figura 11 – Método Titulométrico utilizado na determinação da alcalinidade total.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

O valor da alcalinidade total da amostra foi calculado conforme a Fórmula (1).

$$\text{Alcalinidade total em mg/L de } CaCO_3 = \frac{V \times 1000}{V_a} \quad (1)$$

Sendo:

V = Volume gasto de H_2SO_4 gasto em mililitros (mL).

V_a = Volume da amostra em mililitros (mL).

Alcalinidade total = em miligramas por litro (mg/L) de carbonato de sódio ($CaCO_3$).

4.2.2 Determinação da condutividade elétrica

A determinação da condutividade elétrica foi feita através de um Medidor Multiparâmetro (Figura 12), realizando as seguintes etapas:

- O aparelho foi ligado meia hora antes da sua utilização;
- Lavado a célula de condutividade com água destilada e secado com papel toalha;
- Foi calibrado com a solução padrão de KCl 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- Foi lavada a célula de condutividade com água destilada e secada com papel toalha;
- Introduzida a célula em 40 mL da amostra contida no bquer de 50 mL e feita a leitura;
- A célula foi lavada novamente com água destilada, enxugada e guardada.

Os resultados da condutividade elétrica são expressados em microSiemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou miliSiemens por centímetro (mS/cm).

Figura 12 – Medidor Multiparâmetro utilizado para a determinação da condutividade elétrica.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.2.3 Determinação da cor aparente

Foi realizada a análise da cor aparente a partir da utilização do aparelho com disco de cor (Figura 13), seguindo o procedimento a seguir:

- Transferida a amostra de água para um tubo de vidro e em outro tubo de vidro, foi transferida a água deionizada (branco);
- As amostras foram comparadas a partir do disco de cor;
- Identificado o momento em que as cores de ambos os tubos se igualam;
- Após igualar as cores, foi obtida a unidade de cor aparente correspondente à amostra.

A cor é definida pela unidade uH, porém, a mesma pode ser representada por outras unidades. Portanto, temos que: 1 unidade de Cor (uC) = 1 unidade Hazen (uH) = 1 mg Pt Co/L.

Figura 13 – Disco de cor utilizado para a determinação da cor aparente.



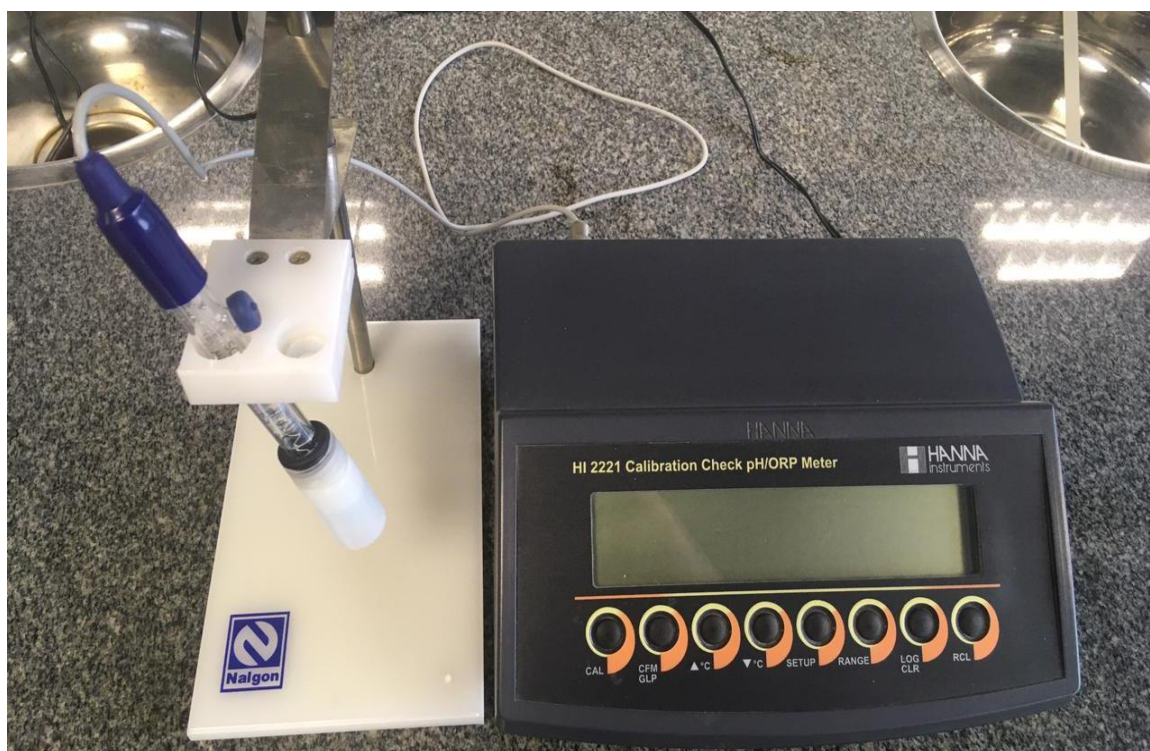
Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.2.4 Determinação do potencial hidrogeniônico (pH)

A determinação do pH é feita através da leitura instrumental de um pH-metro digital (Figura 14). Para a determinação do pH, foi realizado o seguinte processo:

- O eletrodo foi lavado com água destilada e enxugado com papel toalha macio;
- Calibrado o aparelho com a solução padrão 7,0 e lavado novamente com água destilada;
- Calibrado o aparelho com a solução padrão 4,0 e lavado novamente com água destilada;
- Foi introduzido o eletrodo na amostra contida no béquer de 250 mL e feita a leitura.

Figura 14 – pH-metro utilizado para a determinação do potencial hidrogeniônico.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.2.5 Determinação da turbidez

Foi utilizado o aparelho turbidímetro (Figura 15) e seguido o Método Nefelométrico, a partir das seguintes etapas:

- Aparelho ligado e calibrado com a solução padrão de turbidez;
 - Colocada a amostra na cubeta e introduzida no orifício de medida do aparelho;
 - Escolhida a escala mais apropriada no aparelho e efetuada a leitura direta da turbidez.
- A turbidez é expressa em NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

Figura 15 – Turbidímetro utilizado para a determinação da turbidez.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

4.3.1 Preparação das sementes de *Moringa oleifera*

Foram elaborados dois métodos de preparação das sementes de *Moringa oleifera*, sendo o do pó das sementes trituradas (Método 1) e o do extrato aquoso (Método 2), ambos realizados separadamente nos ensaios do *Jar Test*.

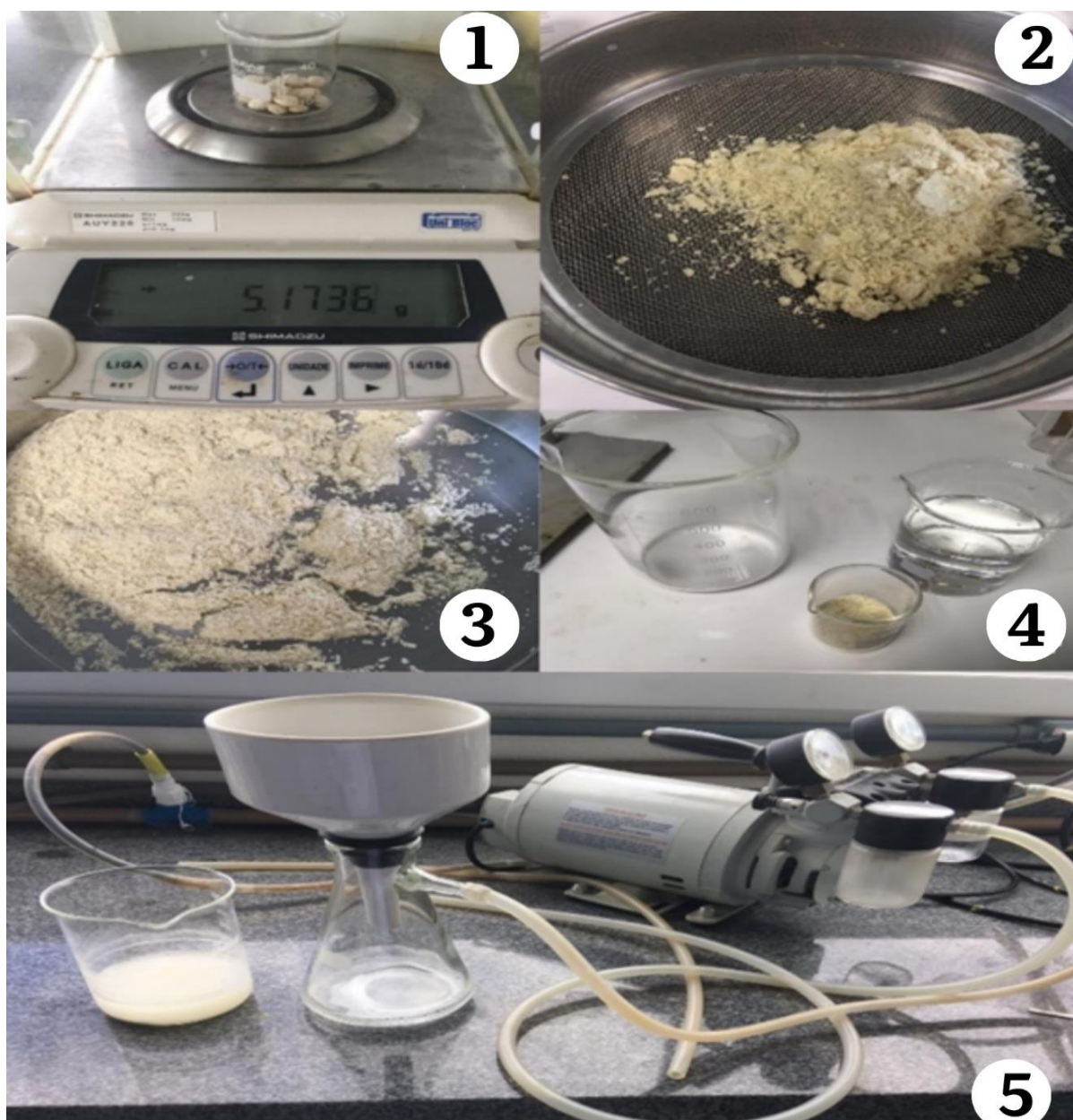
4.3.1.1 Preparação do Método 1 – Pó da semente

Na preparação do Método 1 foram descascados e pesados 5 g das sementes (1), triturado em um moedor de café (2), o pó foi peneirado para obtenção de uma fração inferior a 1 mm (3). As etapas do processo são observadas na Figura 16.

4.3.1.2 Preparação do Método 2 – Extrato aquoso da semente

No preparo do Método 2 (Figura 16), as sementes foram descascadas, trituradas e o pó obtido foi peneirado para a obtenção de uma fração inferior a 1 mm, em seguida foram pesados 5g do pó (3). A extração foi feita colocando-se 5 g de pó de *Moringa oleifera* em 200 mL de água destilada (4), com agitação proporcionada por um agitador magnético durante 30 minutos. O extrato obtido foi filtrado por filtração a vácuo (5) e o filtrado foi posteriormente colocado em um balão de 500 mL perfazendo-se o volume com água destilada.

Figura 16 – Etapas da preparação do extrato aquoso das sementes de *Moringa oleifera*.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.3.2 Preparação do Sulfato de Alumínio

Foi utilizada uma solução concentrada de sulfato de alumínio a 5%. Para preparar a solução foi necessário adicionar 5 g de sulfato de alumínio em um balão volumétrico contendo 80 mL de água destilada, uma vez que o sulfato de alumínio se tenha dissolvido completamente, foi adicionado mais água destilada para aumentar o volume até os 100 mL finais.

4.3.3 Preparação do Cloreto de Polialumínio – PAC

Foi utilizada uma solução concentrada de PAC a 2%. Para preparar a solução do coagulante foi necessário adicionar 2 g de PAC em um balão volumétrico contendo 80 mL de água destilada, uma vez que o PAC se tenha dissolvido completamente, foi adicionado mais água destilada para aumentar o volume até os 100 mL finais.

4.3.4 Operação no *Jar Test*

Os ensaios no aparelho *Jar Test* foram realizados separadamente para cada coagulante. De início, para os ensaios de todos os coagulantes foram utilizados 6 béqueres de 1 L, contendo 700 mL de amostra da água bruta, adicionando em seguida diferentes dosagens do coagulante para cada béquer, dando início aos ensaios.

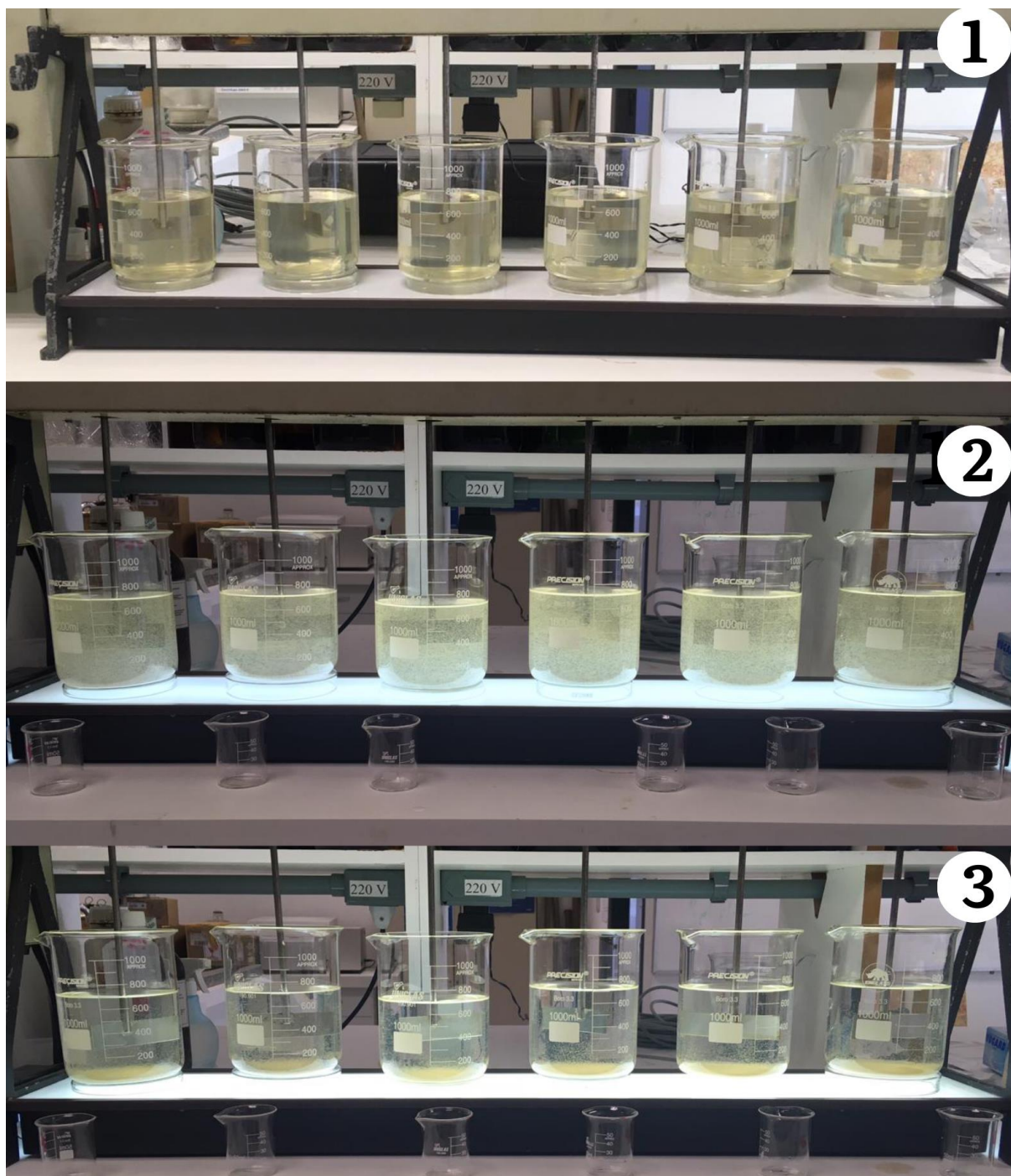
Para a operação do *Jar Test* do Método 1 e 2, o aparelho operou com uma velocidade de mistura rápida de 150 rotações por minuto (rpm) por 2 minutos, na etapa de mistura lenta foi adotada uma velocidade de 50 rpm durante 25 minutos e por fim, o equipamento foi desligado e permaneceu em repouso durante 1 h. Ambos os ensaios não houveram a necessidade de correção do pH da amostra, já que o valor de pH da água bruta se mostrou ideal para a ação coagulante (HEREDIA; MARTIN, 2009).

Para o sulfato de alumínio 5% e cloreto de polialumínio 2%, as amostras passaram pela etapa de mistura rápida, em uma velocidade de rotação de 150 rpm por 2 minutos, seguido pela etapa de mistura lenta de 25 rpm por 20 minutos. Ao final dos 20 minutos, a agitação foi interrompida, e as amostras permaneceram em repouso durante 1 h. Segundo Santos (2011), a adição do sulfato de alumínio apresenta uma melhor eficiência na remoção de turbidez quando os ensaios são realizados em pH 6,5 a 7,0. Diante disso, a água bruta

analisada possui um pH de 6,95, portanto, a correção do pH da amostra não foi realizada. O cloreto de polialumínio seguiu o mesmo procedimento que o sulfato de alumínio.

A Figura 17 apresenta as etapas operacionais no *Jar Test*, iniciando com o preparo das amostras (1), a adição do coagulante (2) e determinação da dosagem ótima após realização dos ensaios (3).

Figura 17 – Operação realizada no *Jar Test* para a determinação da dosagem ótima.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.3.5 Determinação do volume de material sedimentado (lodo)

A determinação do material sedimentado foi realizada pelo Método do Cone de *Imhoff* (Figura 18), seguindo as seguintes etapas:

- Transferida a amostra para o Cone de *Imhoff*;
- A amostra foi deixada em repouso, para decantar, durante 45 minutos;
- Com um bastão, as partículas aderidas à parede do cone foram deslocadas delicadamente, através de movimentos circulares;
- Deixado decantar por mais 15 minutos e realizada a leitura do volume gerado.

Após a leitura do sedimentado, o resultado se expressa pela escala graduada do Cone de *Imhoff*, ou seja, em mililitro por litro (mL/L).

Figura 18 – Método do Cone de *Imhoff* para determinar o material sedimentado (lodo) gerado.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PÓ DAS SEMENTES TRITURADAS DE *MORINGA OLEIFERA*

A eficiência dos ensaios de coagulação/floculação realizado com o pó das sementes trituradas de *Moringa oleifera* (Método 1) foi acompanhado através de análises físico-químicas da amostra, antes e após a adição do coagulante.

Na aplicação do coagulante na água bruta com turbidez inicial de 21,30 NTU, com as dosagens de 210; 500; 800; 1500; 2500 e 3200 mg/L, foi observado que na etapa de floculação, as amostras dos 3 primeiros béqueres formaram flocos de forma mais acelerada que as outras 3 amostras restantes. Já na simulação do processo de decantação, a amostra do béquer 2 decantou mais rápido que as demais. Os resultados e as condições da água obtidos após a adição do coagulante são apresentados na Tabela 4.

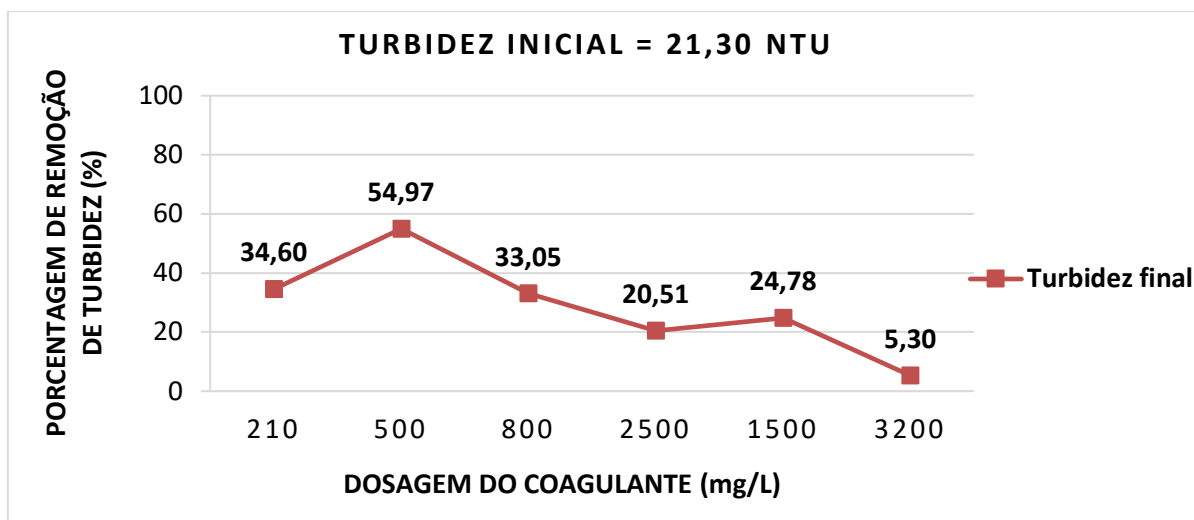
Tabela 4 – Resultados obtidos no Ensaio do pó das sementes trituradas de *Moringa oleifera*.

Béquer	Dosagem (mg/L)	Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	Condutividade elétrica (µs/cm)	Cor aparente (uH)	Turbidez (uT)	pH	Lodo (mL/L)
Inicial	-	64	185	20	21,30	7,55	0,2
1	210	42	191	2,5	13,93	8,08	-
2	500	44	190	2,5	9,59	7,97	4,5
3	800	42	215	2,5	14,26	8,12	-
4	2500	48	266	2,5	16,93	8,29	-
5	1500	44	226	2,5	16,02	8,22	-
6	3200	52	315	2,5	20,17	8,37	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Nota-se que a dosagem de 500 mg/L (béquer 2) apresentou uma diminuição de turbidez superior as demais. No Gráfico 3 é possível observar a porcentagem de remoção de turbidez após a adição do coagulante na amostra.

Gráfico 3 – Eficiência da remoção de turbidez do pó das sementes de *Moringa oleifera*.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Foi coletada a amostra do béquer 2 (dosagem ótima) e determinado o volume de lodo, a partir do método do Cone de *Imhoff* (Figura 19). O volume obtido está expresso na Tabela 6.

Figura 19 – Volume de lodo gerado pelo pó das sementes de *Moringa oleifera*.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5.2 EXTRATO AQUOSO DAS SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA*

Após a determinação da dosagem ótima do extrato aquoso (Método 2), foram realizadas as análises físico-químicas da amostra, antes e após a adição do coagulante. O Método 2 foi realizado em dois ensaios diferentes, o primeiro foi utilizando uma água bruta do rio com turbidez inicial de 21,30 NTU (Ensaio 1) e o outro com turbidez de 73,98 NTU (Ensaio 2).

5.2.1 Resultados do Ensaio 1 – Água com turbidez de 21,30 NTU

No Ensaio 1 as dosagens do extrato de *Moringa oleifera* foram de 1; 5; 20; 30; 40 e 100 mL (correspondentes à 10; 50; 200; 300; 400 e 1000 mg/L).

Durante o ensaio foi possível observar que no início da etapa de floculação, as amostras do béquer 2 e 3 formaram flocos antes que as outras, e logo após o início da etapa de decantação, a amostra do béquer 2 decantou mais rápido, quando comparado com os demais. Os resultados obtidos antes e após a adição do coagulante são apresentados na Tabela 5.

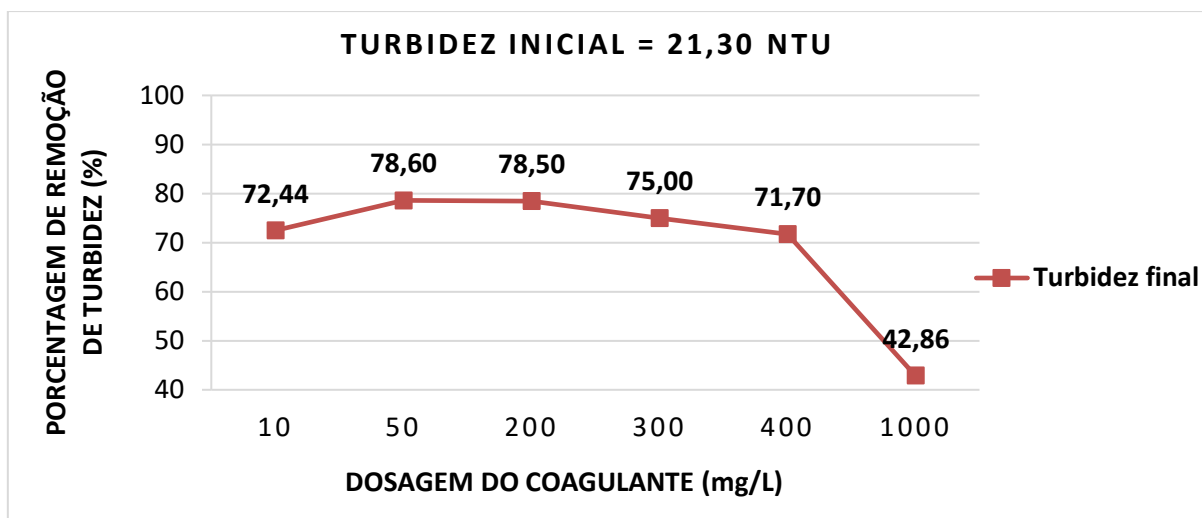
Tabela 5 – Resultados obtidos no Ensaio 1 do extrato das sementes de *Moringa oleifera*.

Béquer	Dosagem (mg/L)	Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	Condutividade elétrica (µs/cm)	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Lodo (mL/L)
Inicial	-	64	185	20	21,30	7,55	0,2
1	10	44	187	2,5	5,87	7,89	-
2	50	46	196	2,5	4,56	7,87	0,8
3	200	42	204	2,5	4,57	7,85	-
4	300	44	212	2,5	5,33	7,90	-
5	400	40	220	2,5	6,03	7,91	-
6	1000	40	271	2,5	12,17	7,94	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Nota-se que a dosagem ótima do coagulante foi obtida com 50 mg/L, alcançando uma turbidez de 4,56 NTU (béquer 2). Também é possível observar que a faixa de 50 a 200 mg/L (béquer 2 e 3, respectivamente) apresentaram uma porcentagem de redução de turbidez muito próximos, como é apresentado no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Eficiência de remoção da turbidez após o uso do extrato aquoso no Ensaio 1.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Foi coletada a amostra do béquer 2 (dosagem ótima) e determinado o volume de lodo, a partir do método do Cone de *Imhoff* (Figura 20). O volume obtido está expresso na Tabela 4.

Figura 20 – Volume de lodo gerado no Ensaio 1 do extrato das sementes de *Moringa oleifera*.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5.2.2 Resultados do Ensaio 2 – Água com turbidez de 73,98 NTU

Foram usadas dosagens de 5; 8; 11; 14; 17 e 20 mL (correspondentes à 50; 80; 110; 140; 170 e 200 mg/L). Durante o ensaio foi observado que as amostras do béquer 1 e 2

flocularam mais rápido, porém, logo após o início da etapa de decantação, as amostras dos béqueres 2 e 5 decantaram antes que as demais. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.

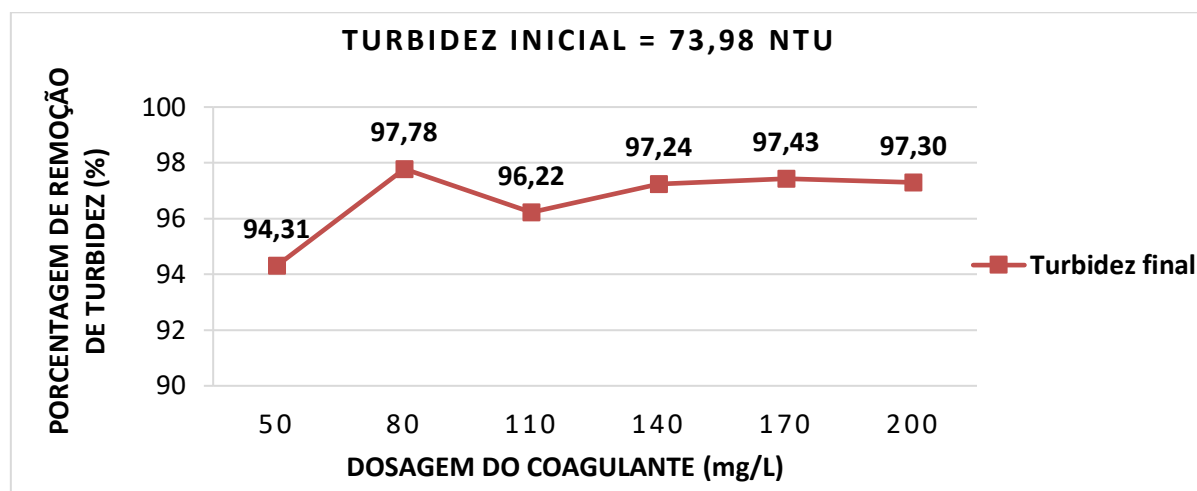
Tabela 6 – Resultados obtidos no Ensaio 2 do extrato das sementes de *Moringa oleifera*.

Béquer	Dosagem (mg/L)	Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	Condutividade elétrica (µs/cm)	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Lodo (mL/L)
Inicial	-	44	174	30	73,98	6,95	0,1
1	50	44	173	0	4,21	7,93	-
2	80	42	180	0	1,64	7,81	4,8
3	110	44	177	0	2,79	7,69	-
4	140	44	187	2,5	2,04	7,57	-
5	170	45	191	2,5	1,90	7,43	-
6	200	48	193	2,5	2,0	7,40	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A dosagem ótima foi de 80 mg/L (béquer 2), alcançando uma turbidez de 1,64 NTU. Foi observado também na dosagem de 170 mg/L (béquer 5) uma redução significativa de turbidez, porém, a dosagem ótima foi determinada pela menor concentração do coagulante. O Gráfico 5 apresenta os valores de remoção da turbidez (em %) após a adição do coagulante.

Gráfico 5 – Eficiência de remoção da turbidez após o uso do extrato aquoso no Ensaio 2.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Foi coletada a amostra do béquer 2 (dosagem ótima) e determinado o volume de lodo, a partir do método do Cone de *Imhoff* (Figura 21). O volume obtido está expresso na Tabela 6.

Figura 21 – Volume de lodo gerado no Ensaio 2 do extrato das sementes de *Moringa oleifera*.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5.3 SULFATO DE ALUMÍNIO

Foi realizada a determinação da dosagem ótima do sulfato de alumínio 5% para a água bruta do rio com turbidez inicial de 73,98 NTU. As dosagens utilizadas foram de 14; 16,8; 19,6; 22,4; 25,2 e 28 mg/L. Durante a análise foi observada uma floculação e decantação mais rápida no béquer 5, quando comparado com as amostras restantes. Os resultados do ensaio e as condições da água após a adição do coagulante são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados obtidos após o uso do sulfato de alumínio.

Béquer	Dosagem (mg/L)	Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	Condutividade elétrica (µs/cm)	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Lodo (mL/L)
Inicial	-	44	174	30	73,98	6,95	0,1
1	14	11	236	2,5	5,85	4,59	-
2	16,8	9	260	2,5	5,31	4,6	-
3	19,6	9	242	2,5	8,24	4,58	-
4	22,4	10	278	2,5	4,11	4,72	-
5	25,2	10	286	2,5	3,5	4,75	8,5
6	28	10	329	2,5	3,59	4,64	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

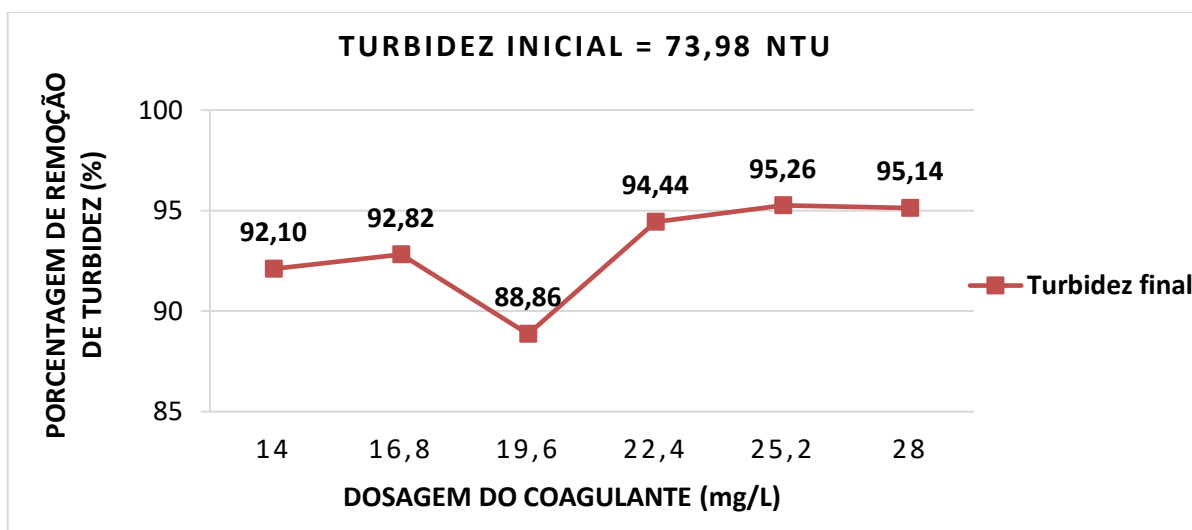
No estudo realizado por Seneda *et al.* (2021) usando o cloreto de polialumínio com alta e baixa basicidade e o sulfato de alumínio em água de um poço com turbidez inicial de

25,28 NTU, o sulfato de alumínio apresentou um maior consumo de alcalinidade e, consequentemente, uma maior redução no pH.

Ao longo dos ensaios no *Jar Test* foi possível observar uma constante de ruptura dos flocos maior na etapa de floculação, quando comparada com os ensaios do PAC. Esses resultados sugerem que os flocos formados com sulfato de alumínio são mais fracos do que os formados com o PAC, fazendo com que eles se quebrem e, consequentemente, apresentem velocidade de decantação menor do que a apresentada no PAC, o que também foi observado no presente trabalho (Apêndice).

Conforme mostrado na Tabela 7 a dosagem ótima foi de 25,2 mg/L, alcançando uma turbidez de 3,5 NTU (béquer 5). No Gráfico 6 podemos observar que as maiores reduções, 95,26 % e 95,14 %, da turbidez foi com as dosagens de 25,2 mg/L e 28 mg/L respectivamente. A dosagem ótima foi estabelecida em função da menor concentração do coagulante.

Gráfico 6 – Eficiência de remoção da turbidez após o uso do sulfato de alumínio.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Foi coletada a amostra do béquer 5 (dosagem ótima) e determinado o volume de lodo, a partir do método do Cone de *Imhoff* (Figura 22). O volume obtido está expresso na Tabela 7.

Figura 22 – Volume de lodo gerado pelo sulfato de alumínio.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

5.4 CLORETO DE POLIALUMÍNIO – PAC

A determinação da dosagem ótima do PAC foi realizada na amostra de água com turbidez inicial de 73,98 NTU, com dosagens de 7,14; 7,43; 7,71; 8; 8,3 e 8,58 mg/L.

Durante o experimento foi observado que todos os béqueres tiveram uma formação de flocos acelerada e, após o início do processo de decantação, as amostras do béquer 5 e 6 demonstraram uma eficiência significativa em um curto período de tempo (5 minutos). Os resultados obtidos antes e após a adição do coagulante são apresentados na Tabela 8.

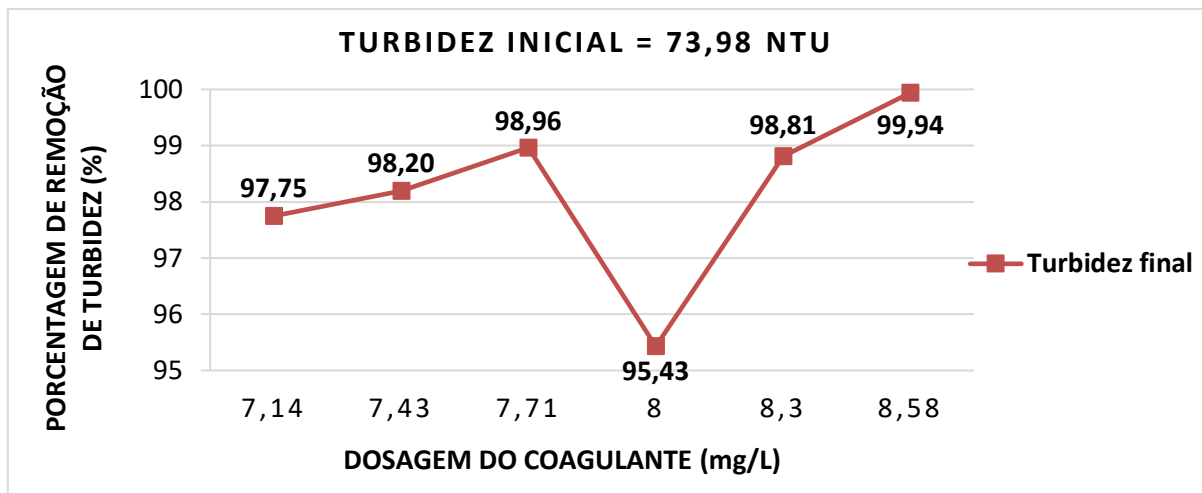
Tabela 8 – Resultados obtidos após o uso do cloreto de polialumínio.

Béquer	Dosagem (mg/L)	Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	Condutividade elétrica (µs/cm)	Cor aparente (uH)	Turbidez (NTU)	pH	Lodo (mL/L)
Inicial	-	44	174	30	73,98	6,95	0,1
1	7,14	37,2	195	2,5	1,66	7,75	-
2	7,43	35	182	2,5	1,33	7,74	-
3	7,71	31	191	0	0,77	7,33	-
4	8	33	202	2,5	3,38	7,31	-
5	8,3	36	201	0	0,88	7,24	-
6	8,58	31	200	0	0,04	7,19	8,0

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

O valor 8,58 mg/L (béquer 6) foi definido como a dosagem ótima, visto que o valor final da turbidez foi de 0,04 NTU (quase nulo). Além disso, o béquer 3 e 5 também apresentaram resultados satisfatórios. O Gráfico 7 expressa os valores de redução da turbidez (em %) obtidos.

Gráfico 7 – Eficiência de remoção da turbidez após o uso do cloreto de polialumínio.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Foi coletada a amostra do béquer 6 (dosagem ótima) e determinado o volume de lodo, a partir do método do Cone de *Imhoff* (Figura 23). A quantidade de lodo formado foi de 8,0 mL/L (Tabela 8).

Figura 23 – Volume de lodo gerado pelo cloreto de polialumínio.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

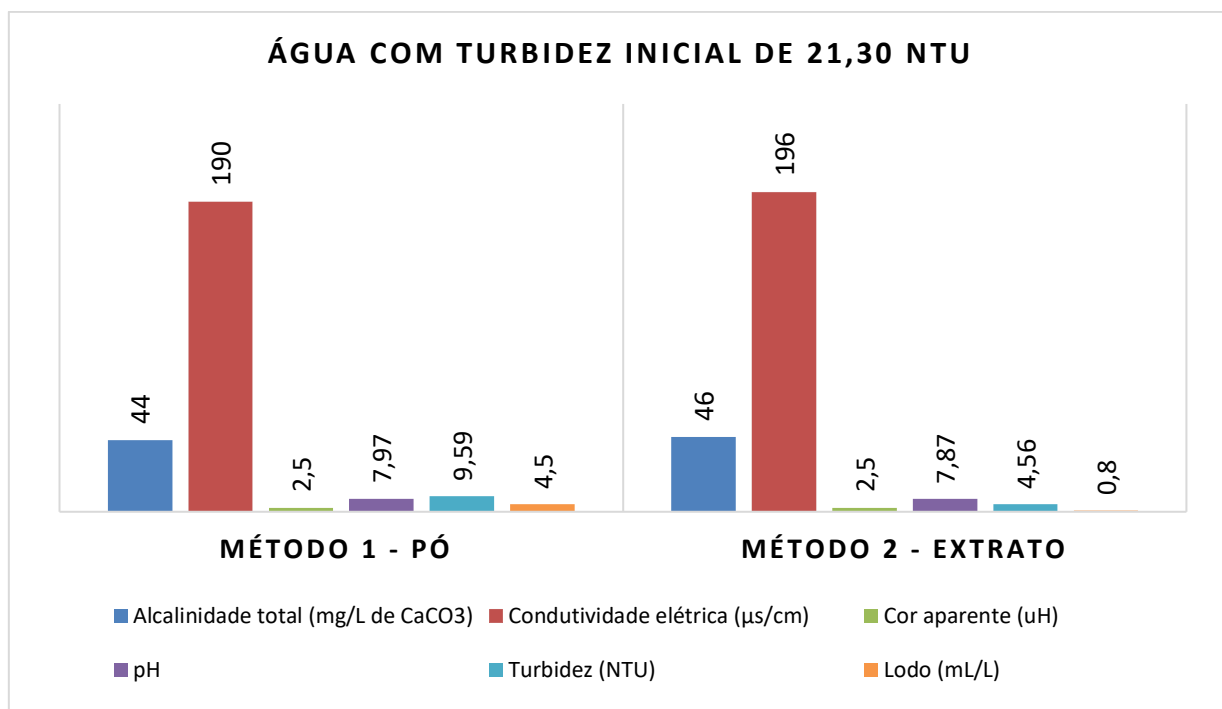
5.5 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS COAGULANTES

A dosagem ótima de qualquer coagulante depende das condições da água bruta a ser tratada. A determinação de parâmetros físico-químicos antes e após a realização dos ensaios no *Jar Test* são essenciais para avaliar a eficiência dos coagulantes.

Nos ensaios da água bruta com turbidez inicial de 21,30 NTU, foi realizada uma comparação preliminar dos dois Métodos de preparação do coagulante natural (*Moringa oleifera*). Os resultados apresentaram uma remoção de turbidez de 54,97% para o Método 1, e 78,6% para o Método 2, demonstrando uma maior eficiência na utilização do coagulante na forma de extrato aquoso (Método 2).

No Gráfico 8 podem-se observar as condições obtidas a partir da dosagem ótima, para a água com turbidez inicial de 21,30 NTU tratada com ambos os Métodos do coagulante natural.

Gráfico 8 – Comparação entre os resultados da dosagem ótima do Método 1 e 2.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Os resultados apresentados no Gráfico 8, mostram uma redução da turbidez em ambos os ensaios da dosagem ótima, atingindo valores acima de 70% de remoção, porém, a

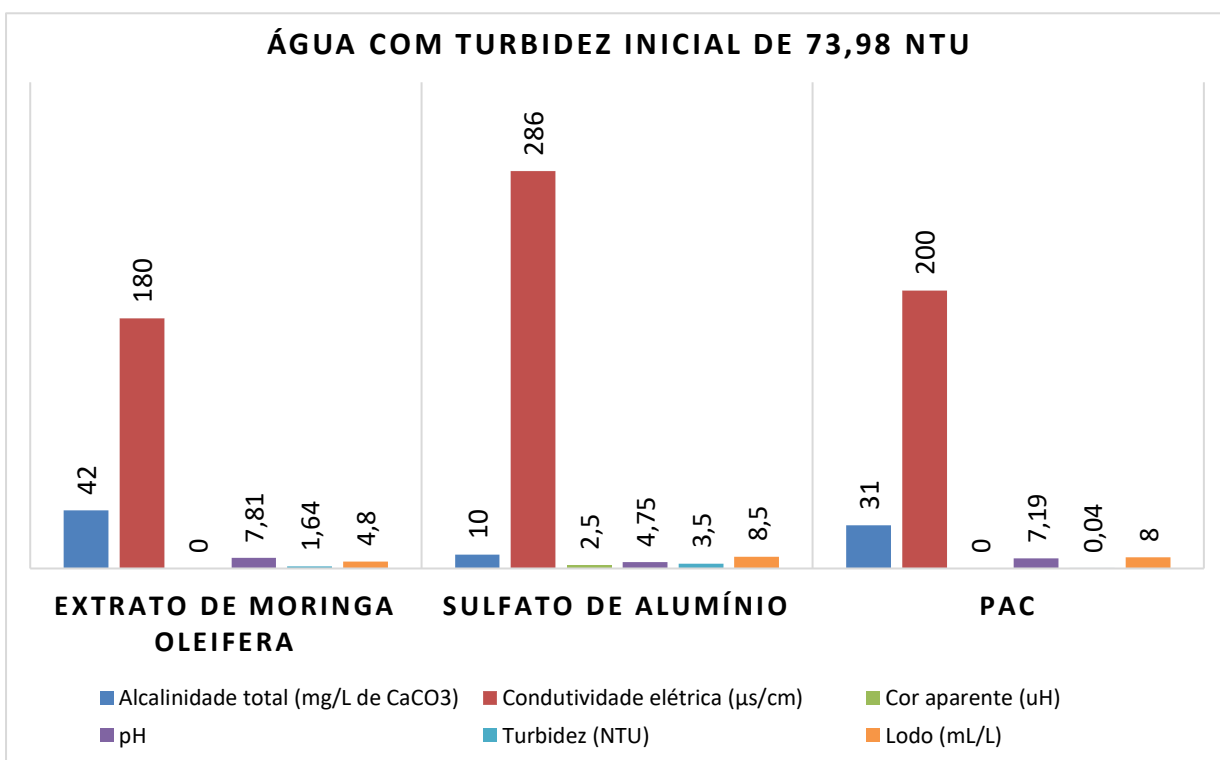
quantidade de coagulante usado no 1º método foi de 500 mg/L e no 2º método foi de 50 mg/L, o que também refletiu na quantidade de lodo gerado, 4,5 mL/L e 0,8 mL/L, respectivamente.

No estudo realizado por Theodoro *et al.* (2015) foi mencionado que a *Moringa oleifera* foi eficiente na remoção da cor aparente, resultado que também foi observado no presente trabalho, para ambos os métodos.

Quando o estudo de coagulação/floculação foi realizado na amostra de água com 73,98 NTU, Método 2, usando o extrato da *Moringa oleifera*, o mesmo apresentou melhor desempenho, resultado semelhante ao obtido por Franco *et al.* (2017).

No Gráfico 9 são apresentados os resultados dos ensaios comparando os três tipos de coagulantes estudados (extrato de *Moringa oleifera*, o sulfato de alumínio e o PAC), nas suas dosagens ótimas, para a água bruta com turbidez inicial de 73,98 NTU.

Gráfico 9 – Comparação entre os resultados dos ensaios da dosagem ótima dos 3 coagulantes.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

De acordo com os resultados apresentados no Gráfico 9, os coagulantes que demonstraram uma maior eficiência na remoção da turbidez foram o PAC e o extrato das sementes de *Moringa oleifera*, atingindo valores acima de 95% de remoção da turbidez. Além disso, outros parâmetros de ambos os coagulantes apresentaram vantagens, quando comparados com o sulfato de alumínio, como a cor aparente (0 uH) e uma estabilidade maior

no pH da água, resultado que o sulfato de alumínio não atingiu, apresentando uma mudança do pH inicial de 6,95 para 4,75.

Ainda foi possível observar neste trabalho, que a *Moringa oleifera* apresenta melhor eficiência na remoção da turbidez em águas com turbidez mais elevadas (73,98 NTU). O mesmo comportamento foi observado por Franco *et al.* (2017), onde a melhor eficiência do coagulante se encontra na faixa de 40 a 100 NTU.

No estudo realizado por Sabóia *et al.* (2020), é mostrado que a *Moringa oleifera* também pode ser utilizada como auxiliar de coagulação, obtendo resultados para a remoção de cor e turbidez da ordem de 90% quando auxilia o PAC. Para uma água de turbidez inicial de 11,9 NTU, com dosagens de 30 e 170 mg/L do extrato de *Moringa oleifera* e 50 mg/L de PAC, respectivamente, foi obtido uma remoção de cor de 86,21% e turbidez de 99,83%.

Já no presente trabalho, para a água com turbidez de 72,98 NTU, usando o PAC em sua dosagem ótima obteve-se um valor de remoção de cor aparente (100%) e turbidez (99,94%), superiores ao estudo de Sabóia *et al.* (2020), e com o extrato de *Moringa oleifera* obteve-se um valor de remoção de cor (100%) e de remoção de turbidez (97,78%), utilizando os coagulantes de forma individual.

Quanto a geração do lodo, o sulfato de alumínio e o PAC apresentaram quase o dobro do volume gerado pela *Moringa oleifera*, o que aponta mais uma vantagem com relação ao coagulante natural, que, além de gerar um menor volume de lodo, o mesmo é classificado como um lodo biodegradável, diferentes dos outros 2 coagulantes.

Segundo Portaria GM/MS nº 888/2021, os resultados obtidos quanto aos valores do pH das amostras indicam que os ensaios usando o extrato de *Moringa oleifera* e o PAC, após o tratamento da água, estão em conformidade com a faixa do pH indicado na legislação vigente, pois estas preconizam que a água para o consumo humano deve estar entre a faixa de pH 6,0 a 9,0, resultado que o sulfato de alumínio não atingiu, devido a média de pH de 4,64 obtido após os ensaios.

Os valores de cor aparente mostraram conferir com a Portaria GM/MS nº 888/2021, atingindo um valor de cor aparente inferior ao máximo permitido (15 uH).

Já para o parâmetro de turbidez, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece um valor máximo de 5 NTU. Assim as amostras que foram utilizadas o pó das sementes trituras, na água de turbidez inicial de 21,30 mostram-se fora dos padrões, as demais amostras, nas dosagens ótimas dos coagulantes, para a água de turbidez inicial de 73,98 NTU, estão dentro do valor determinado pela Portaria vigente.

A Portaria GM/MS nº 888/2021 não estabelece padrões para a alcalinidade total e para a condutividade elétrica. A alcalinidade é de grande importância durante o processo de tratamento de água, uma vez que, é em função do seu teor que se estabelece a dosagem dos produtos químicos utilizados. As águas com alcalinidade menor que 15 mg CaCO₃ L⁻¹ dificilmente formarão flocos precipitáveis com os sais de ferro e alumínio (FUNASA, 2014; DÍAZ *et al.*, 2018).

As águas naturais apresentam um valor de condutividade elétrica na faixa de 10 – 100 uS/cm, enquanto que águas poluídas apresentam valores mais elevados, podendo chegar a 1.000 uS/cm, assim, as águas superficiais usadas neste estudo apresentam uma baixa poluição.

5.6 PROPOSTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO O EXTRATO DAS SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA* EM UMA PEQUENA COMUNIDADE

Esta seção tem como objetivo elaborar, após a determinação da dosagem ótima do coagulante orgânico obtida no trabalho, uma demonstração de quanto seria utilizado do extrato aquoso das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de água de uma localidade “hipotética”.

Segundo o Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento (SNIS, 2019), o consumo médio *per capita* diário de água é a média diária, por indivíduo, dos volumes utilizados para satisfazer os consumos domésticos, comercial, público e industrial.

Existem muitos fatores específicos que influenciam no consumo de água de um local, alguns deles seriam a qualidade e a quantidade de água; o custo da água; a pressão na rede de distribuição; o crescimento da população; a ocorrência de precipitações e o percentual de medição da água distribuída.

O consumo *per capita* de água para cidades com população acima de 50.000 habitantes é de 200 à 300 L/hab.dia, já para cidades com população inferior à 50.000 habitantes é de 150 à 200 L/hab.dia. Utilizando a tabela disponível no Anexo C como estimativa de consumo de água predial diário.

Foi adotado, hipoteticamente, um consumo médio *per capita* de 150 L/hab.dia para uma localidade com uma população de 1.500 habitantes. Na Tabela 9 são apresentados o volume total de água consumido durante três períodos diferentes (dia, mês e ano) e o número de habitantes atendido.

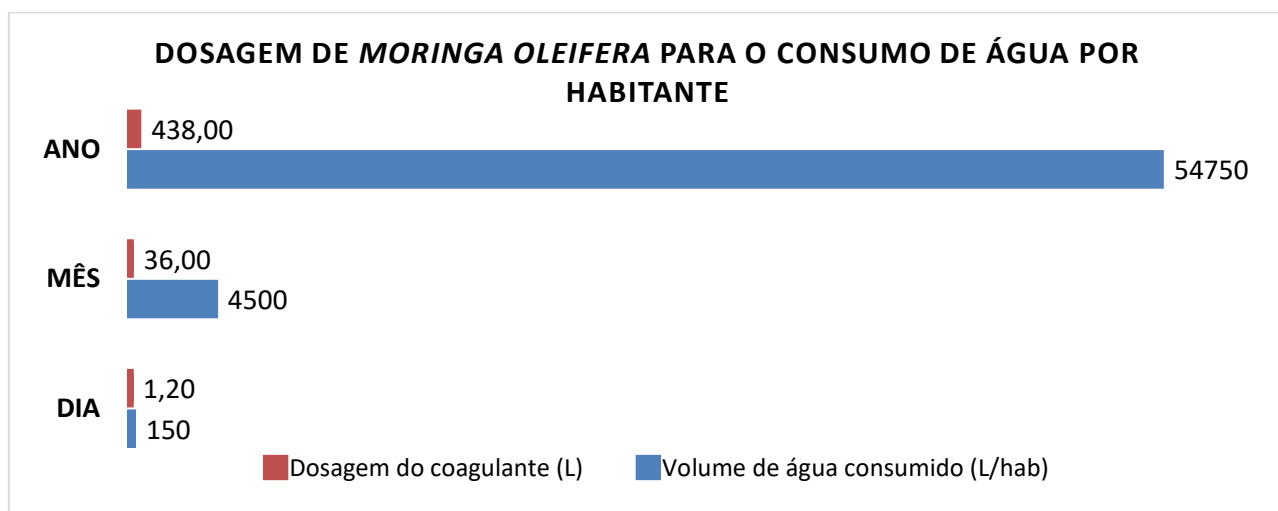
Tabela 9 – Volume total de água consumido por habitante em determinado período.

População atendida (habitantes)	Volume total de água consumido (L)		
	dia	mês	ano
1	150	4500	54750
1500 (TOTAL)	225000	6750000	82125000

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A partir dos dados estabelecidos, é possível determinar o valor da dosagem ótima do extrato das sementes de *Moringa oleifera* (em L), a ser usada para cada volume consumido por 1 habitante (Gráfico 10), seguindo a relação de que são usados 80 mg/L (valor da dosagem obtida neste trabalho).

Gráfico 10 – Dosagem do coagulante utilizada para volume de água consumido por habitante.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Podemos observar que se 1 habitante consome 150 L/dia, a dosagem do coagulante utilizada para o volume de água mencionado seria de 1,2 L. Já mensalmente, para esse caso hipotético um indivíduo consumiria 4500 L/hab.mês, logo, seriam necessários 36 L de extrato aquoso das sementes de *Moringa oleifera* para realizar o tratamento. Para o consumo de água anual, o volume de água consumido por 1 habitante seria de 54750 L/hab.ano e utilizados 438 L do coagulante para esse valor de água consumido.

Por fim, a partir dos dados mencionados acima, temos que para o volume de água utilizado diariamente pela população total da localidade (1500 habitantes), seriam consumidos ao todo 225000 L/dia e utilizada uma dosagem de 1800 L do extrato/dia e para um ano seria 657000 L de extrato, o que equivale a 6570 kg de semente. De acordo com o trabalho de Morton (1991) a produção anual de semente de *Moringa oleifera* é de 3-5 ton/hectare,

utilizando o valor médio de 4 ton/hectare, seriam necessários 1,64 hectares para produzir 6570 kg de semente, mostrando ser uma opção sustentável e viável para substituir os coagulantes químicos.

Além de usar as sementes como coagulante, as folhas da *Moringa oleifera* pode ser usada como alimento (humano e animal) por ser rica em proteína, minerais e vitaminas. No processo de extração do coagulante, os componentes de coagulação ativos são as estruturas proteicas catiônicas solúveis em água (RIBEIRO *et al.*, 2019; BAPTISTA *et al.*, 2017).

Após a extração do componente de coagulação ativo é possível extrair da massa da semente moída os óleos. A semente madura contém aproximadamente 40% de óleo, que é de excelente qualidade, apresenta cerca de 73% de ácido oleico, podendo ser usada para fins de cocção, como também na indústria cosmética e farmacêutica (MEIRELES *et al.*, 2020).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível observar, que em função da situação que o recurso hídrico se encontra atualmente, à alta demanda por água potável em quantidade e qualidade, a busca por agentes coagulantes mais eficientes, menos prejudiciais ao meio ambiente e economicamente viáveis vem crescendo também. Em algumas situações, são encontrados resíduos e substâncias em mananciais superficiais e subterrâneos gerados a partir do tratamento de água, os quais ocasionam a poluição do meio em que são destinados, podendo gerar também problemas associados a saúde do ser humano, motivo que torna o assunto de grande relevância.

Ao compararmos os resultados dos 2 métodos usados na preparação dos coagulantes a partir das sementes da *Moringa oleifera*, foi possível observar que para a água com baixo valor inicial de turbidez (21,30 NTU) e cor aparente (20 uH) o coagulante em pó (Método 1) não garante reduções tão significativas como o extrato da semente (Método 2), porém, ambos os métodos se mostraram eficientes, destacando a eficácia do mesmo na remoção da cor e turbidez.

No estudo de coagulação usando os três coagulantes para água com turbidez inicial de 73,98, verificou-se a remoção acima de 95% da turbidez da água, onde o PAC e o extrato das sementes de *Moringa oleifera* demonstraram uma maior eficiência, outras vantagens também foram observadas, como cor e pH ambos obtiveram uma cor aparente de 0 uH e uma estabilidade maior no pH da água após os ensaios, resultado que o sulfato de alumínio não atingiu, apresentando uma mudança do pH inicial de 6,95 para um de 4,75 em sua dosagem ótima. O extrato de *Moringa oleifera*, além da eficiência na remoção da turbidez e cor, apresentou um menor volume de lodo gerado, quase a metade do volume gerado pelo sulfato de alumínio e o PAC, além de gerar um lodo biodegradável no fim do tratamento.

Por fim, podemos considerar que existe uma opção sustentável, viável e eficiente para substituir os coagulantes químicos nos processos analisados neste trabalho e, além disso, possibilita o acesso ao recurso hídrico para populações precárias e de baixa renda, assegurando a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos.

6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para ter um entendimento mais abrangente do comportamento do extrato de *Moringa oleifera*, como coagulante, os seguintes estudos são sugeridos:

- Realizar diferentes processos de extração do coagulante, usando soluções salinas e com extração prévia dos lipídios;
- Realizar ensaios com águas superficiais com elevada turbidez e cor;
- Avaliar o comportamento da matéria orgânica através das análises de DBO e DQO antes e após o tratamento;
- Avaliar a redução da carga microbiana a partir da determinação de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*;
- Identificação de formas de reutilização do lodo biodegradável gerado pelo uso do coagulante orgânico (sementes de *Moringa oleifera*).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, DF, 2019. Disponível em: [http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=134951&tipo_midia=2&iIndexSrv#:~:text=Um%20uso%20%C3%A9%20considerado%20consuntivo,por%20seres%20vivos%2C%20dentre%20outros](http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=134951&tipo_midia=2&iIndexSrv#:~:text=Um%20uso%20%C3%A9%20considerado%20consuntivo,por%20seres%20vivos%2C%20dentre%20outros.). Acesso em 05 de mar. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Quantidade de água**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em 05 de mar. 2021.
- AGENDA 2030. **A integração dos ODS**. Disponível em: http://www.agenda2030.org.br/os_ods/. Acesso em: 18 mar. 2021.
- AL-GHEETHI, AA. *et al. Efficiency of Moringa oleifera Seeds for Treatment of Laundry Wastewater*, **MATEC Web Conf**, v. 103, n. 06001, 2017. Disponível em: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/17/mateconf_iscee2017_06001.pdf. Acesso em: 20 mar. 2021.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, D.C.: APHA/AWWA/WEF. 2012.
- ANDRADE, Priscila *et al. Use of Moringa oleifera seed as a natural coagulant in domestic wastewater tertiary treatment: Physicochemical, cytotoxicity and bacterial load evaluation. Journal of Water Process Engineering*, v. 40, n. 101859, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714420307364>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.561: Águas - Determinação de resíduo sedimentável (sólidos sedimentáveis) - Método do cone de Imhoff**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16.488: Cloreto de polialumínio (PAC): Aplicação em saneamento básico: Especificação técnica, amostragem e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BAPTISTA, Aline; SILVA, Marina; GOMES, Raquel; BERGAMASCO, Rosângela; VIEIRA, Marcelo; VIEIRA, Angélica. *Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera lam and its application in superficial water treatment*, **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114-124, 2017.
- BARTIKO, Daniel; DE JULIO, Marcelo. Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 71-81, mar. 2015.

BONGIOVAN, Milene *et al.* Utilização do processo combinado coagulação/floculação/UF como processo alternativo ao tratamento convencional utilizando como coagulante a *Moringa oleifera* lam. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v. 9, n. 11, nov. 2013. ISSN 1980-0827. DOI: <http://dx.doi.org/10.17271/198008279112013559>.

BRASIL. Decreto nº 14.250, de 5 de junho de 1981. Regulamentam dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, **referentes à proteção e à melhoria da qualidade ambiental**. Florianópolis, Santa Catarina, 1981.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: DOU, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 15 mai. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução de Diretoria Colegiada – RDC nº 91, de 30 de junho de 2016**. Dispõe sobre as Boas Práticas para o Sistema de Abastecimento de Água ou Solução Alternativa Coletiva de Abastecimento de Água em Portos, Aeroportos e Passagens de Fronteiras. Brasília, DF: DOU, 2016. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&data=01/07/2016&pagina=92>. Acesso em: 20 mar. 2021.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. In: Engenharia Editora Técnica Ltda. São Paulo: CETESB, 2009. p. 764.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. **Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo**. In: *International workshop advances in cleaner production*. São Paulo, 2009.

DÍAZ, Jhon *et al.* Extraction and Efficiency of Chitosan from Shrimp Exoskeletons as Coagulant for Lentic Water Bodies. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 13, n. 2, p. 1060-1067, 2018. Disponível em: http://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n2_32.pdf. Acesso em: 14 abr. 2021.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Paulo: LDiBe, v.3, 2017.

FERRARI, T.N.; JULIO, M.; JULIO, T.S.; SOUSA JÚNIOR, W.C. Estudos de Tratabilidade das Águas do Rio Paraíba do Sul que Abastecem o Município de São José dos Campos/SP. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, 2012, v. 5, n. 2, p. 45-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2012.5.2.32646>.

FERREIRA, B. de C. *et al.* **Semente de Moringa oleifera como coagulante natural no tratamento da água**. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, Minas Gerais, dez. 2020. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1435>. Acesso em: 31 mar. 2021.

FRANCO, Camila Silva *et al.* **Coagulação com semente de *Moringa oleifera* preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT.** Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 781-788, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000400781&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 01 abr. 2021.

FUNASA. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS.** Brasília, DF: Ministério da Saúde. 1. ed., p. 19, 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/85bbdbc8c-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 20 mar. 2021.

GHERNAOUT *et al.* **Brownian Motion and Coagulation Process.** *American Journal of Environmental Protection*. v. 4, n. 5-1, p. 1-15, 2015.

HEREDIA, B.; MARTIN, J. **Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* seed extract.** *Journal of Hazardous Materials. Journal of hazardous materials*, v. 64, n. 164, p. 713-719, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.053>.

HOWE, K.J.; HAND, D.W.; CRITTENDEN, J.C.; TRUSSELL, R.R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Princípios de tratamento de água.** *Cengage Learning*, São Paulo, p. 602, 2016.

IBGE. **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

KAMIWADA, Wagner *et al.* **Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação.** *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 5, p. 667-676, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522020000500667&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 17 mar. 2021.

KATAYON, S. *et al.* **Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation.** *Biorsource Technology*, v. 97, p. 1455-1460. 2006. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.07.031.

LEE, C. *et al.* **A review on application of flocculants in wastewater treatment.** *Process Safety and Environmental Protection*, v. 92, p. 489, 2014.

LEMOS, Karita Santos; FILHO, Silvio Quintino de Aguiar; CAVALLINI, Grasielle Soares. **Avaliação comparativa entre os coagulantes sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo de viabilidade econômica.** *Revista Desafios*, Gurupi, v. 7, n. 1, 2020, 109-119, out./mar. 2020.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. **Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Flocculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades.** *Rev. Virtual Quim.*, v. 10, n. 3, p. 7, 2018.

MEIRELES, D., Gomes, J., LOPES, L. *et al.* **A review of properties, nutritional and pharmaceutical applications of *Moringa oleifera*: integrative approach on conventional and**

traditional Asian medicine. **Advances in Traditional Medicine (ADTM)**, v. 20, p. 495–515, 2020.

MENDES, F.; COELHO, N. Estudo do uso da *Moringa oleifera* para remoção de prata e manganês em águas. **Horizonte Científico**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 1-18, 2007.

MORTON, J.F. *The horseradish tree, Moringa pterygosperma (Moringaceae)—A boon to Arid Lands?*. **Economic Botany**. v. 45, n. 3, p. 318–333, 1991.

NTIBREY, R. A. K.; KURANCHIE, F. A.; GYASI, F. S. **Antimicrobial and coagulation potential of *Moringa oleifera* seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana**. *Jour. List. Heliy.*, v. 6, n. 8, 2020.

NWAIWU, N. E.; ZALKIFUL, M. A.; RAUFU, I. A. *Seeking an alternative antibacterial and coagulation agent for household water treatment*. **Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation**, Surabaya, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **The United Nations World Water Development Report 2015: water for a sustainable world**. UNESCO. p. 139, 2015.

OTENG-PEPRAH, M.; ACHEAMPONG, M. A.; NANNE, K. V. W. A.; POLLUTION, S. **Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception – Jour. List. Sprin. Op. Choi.**, v. 229, n. 255, 2018.

PACA, J. M. *et al.* *Quality assessment of water intended for human consumption from Kwanza, Dande and Bengo rivers (Angola)*. **Environmental Pollution**, 2019. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113037.

PATERNIANI, José E. S.; MANTOVANI, Marcia C.; SANT'ANNA, Marcia R. **Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 765-771, dez. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662009000600015&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 31 mar. 2021.

PERNITSKY, D.; EDZWALD, J. *Selection of alum and polyaluminum coagulants: principles and applications*. **Journal of Water Supply: Research and Technology**, v. 55, n. 2, p. 121-141, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2166/aqua.2006.062>

RIBEIRO, J.V.M.; ANDRADE, P.V.; REIS, A.G. ***Moringa oleifera* seed as a natural coagulant to treat low-turbidity water by in-line filtration**. *Revista Ambiente & Água*, v. 14, n. 6, p. 2442, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2442>.

RODRIGUES, Karen Campos. **Otimização do tratamento de água cinza associando soluções aquosas de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio**. Tese (mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, Regional Catalão unidade acadêmica especial de matemática e tecnologia programa de pós-graduação em modelagem e otimização, 2019.

SABÓIA, Adriana; PEREIRA, Antonia; SANTOS, Hábila. Avaliação do uso de *Moringa* como auxiliar de coagulação para o tratamento de águas de reservatórios eutrofizados. **Conex. Ci. e Tecnol.** Fortaleza/CE, v.14, n. 1, p. 22-29, mar. 2020.

SAIDELLES, A. P. F., *et al.* Indicativo sobre possíveis problemas de potabilidade em poços no município de Alegrete-RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36, n. 3, set-dez. 2014.

SENEDA, Roberta; GARCIA, Geane; REIS, Adriano. Cinética da floculação: um estudo comparativo no uso do cloreto de polialumínio com alta e baixa basicidade e o sulfato de alumínio. **Eng Sanit Ambient**, v. 26, n. 2, p. 283-290, 2021.

SILVA, G. A. M. *et al.* Análise físico-química e microbiológica da água tratada do município de córrego do ouro. **Revista Faculdade Montes Belos (FMB)**, v. 8, n. 1, p. 1-9, 2015.

SIQUEIRA, A. P.; SILVA, C.; REZENDE, L. C.; MILANI, R.; YAMAGUCHI, N. Análise da performance dos coagulantes naturais *Moringa oleifera* e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, [S. l.], v. 15, n. 27, 2018. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/642>. Acesso em: 4 abr. 2021.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). [website]. **Diagnóstico Anual de Água e Esgotos**. 2019. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 11 jun. 2021.

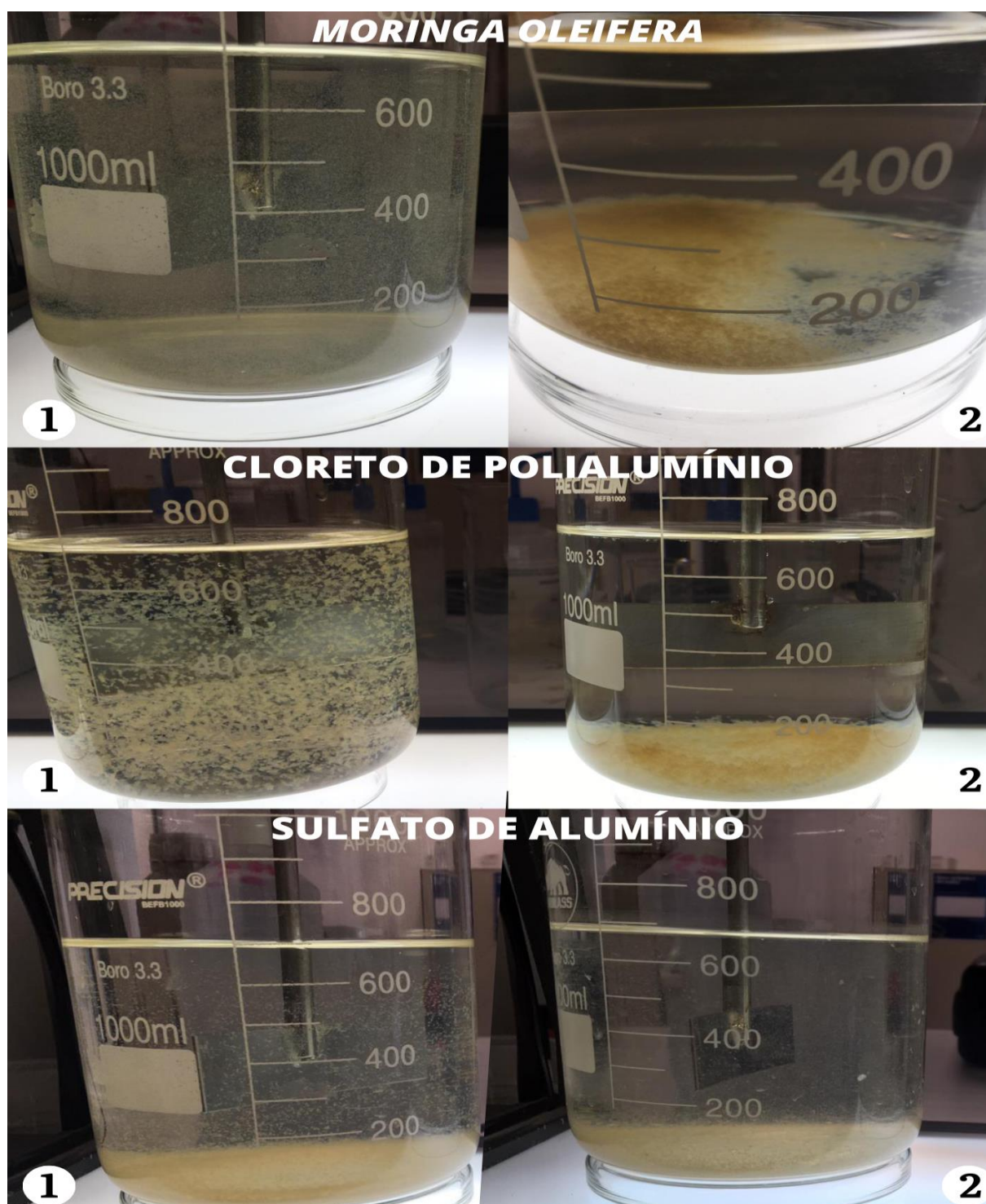
THEODORO J D. P; PEREIRA E. R. VEIT M.T.; BERGAMASCO R. B.; SANTOS O. A. A. Estudo de extração salina da semente de *Moringa Oleifera Lam* aplicado na remoção do parâmetro cor para o tratamento de água potável. **Revista tecnológica**. p. 275-283, 2015.

UNICEF. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene | 2000-2017**. Disponível em: <https://www.datocms-assets.com/30196/1607939793-unicef-oms-waterreport2019.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2021.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico e ao tratamento de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, p.240, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Etapas de floculação e decantação dos ensaios realizados no *Jar Test*



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Legenda:

- 1: Etapa de floculação;
- 2: Etapa de decantação.

ANEXOS

ANEXO A – Tabela de padrão de turbidez para água pós-desinfecção ou pós-filtração

Tratamento da água	VMP(1)	Número de amostras	Frequência
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT(2) em 95% das amostras. 1,0 uT no restante das amostras mensais coletadas .	1	A cada 2 horas
Filtração em Membrana	0,1 uT(2) em 99% das amostras.	1	A cada 2 horas
Filtração lenta	1,0 uT(2) em 95% das amostras. 2,0 uT no restante das amostras mensais coletadas .	1	Diária
Pós-desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT(2) em 95% das amostras. 5,0 uT no restante das amostras mensais coletadas .	1	Semanal

NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido

(2) Unidade de Turbidez

Fonte: Portaria GM/MS 888/2021, Anexo 2.

ANEXO B – Tabela de padrão organoléptico de potabilidade da água

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP ⁽¹⁾
Alumínio	7429-90-5	mg/L	0,2
Amônia (como N)	7664-41-7	mg/L	1,2
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Cor Aparente ⁽²⁾		uH	15
1,2 diclorobenzeno	95-50-1	mg/L	0,001
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/L	0,0003
Dureza total		mg/L	300
Ferro	7439-89-6	mg/L	0,3
Gosto e odor		Intensidade	6
Manganês	7439-96-5	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	108-90-7	mg/L	0,02
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais		mg/L	500
Sulfato	14808-79-8	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	mg/L	0,05
Turbidez (3)		uT	5
Zinco	7440-66-6	mg/L	5

NOTAS:

(1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L).

(3) Unidade de turbidez.

Fonte: Portaria GM/MS 888/2021, Anexo 11.

- Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,0 (Portaria GM/MS 888/2021, Art. 30; Art.31).
- É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e nos pontos de consumo (Portaria GM/MS 888/2021, Art. 32).

ANEXO C – Estimativa do consumo predial diário (valores indicativos)

Prédio	Consumo (litros/dia)
Alojamento provisório	80 <i>per capita</i>
Ambulatórios	25 <i>per capita</i>
Apartamentos	200 <i>per capita</i>
Casas populares ou rurais	150 <i>per capita</i>
Cavalariças	100 por cavalo
Cinemas e teatros	2 por lugar
Creches	50 <i>per capita</i>
Edifícios públicos ou comerciais	50 <i>per capita</i>
Escolas (externatos)	50 <i>per capita</i>
Escolas (internatos)	150 <i>per capita</i>
Escolas (semi-internato)	100 <i>per capita</i>
Escritórios	50 <i>per capita</i>
Garagens e posto de serviço	50 por automóvel/200 por caminhão
Hotéis (sem cozinha e sem lavanderia)	120 por hóspede
Hotéis (com cozinha e com lavanderia)	250 por hóspede
Indústrias – uso pessoal	80 por operário
Indústrias – com restaurante	100 por operário
Jardins (rega)	1,5 por m ²
Lavanderias	30 por kg de roupa seca
Matadouro – animais de grande porte	300 por animal abatido
Matadouro – animais de pequeno porte	150 por animal abatido
Mercados	5 por m ² de área
Oficinas de costura	50 <i>per capita</i>
Orfanatos, asilos, berçários	150 <i>per capita</i>
Piscinas – lâmina de água	2,5 cm por dia
Postos de serviços para automóveis	150 por veículo
Quartéis	150 <i>per capita</i>
Residência popular	150 <i>per capita</i>
Residência de padrão médio	200 <i>per capita</i>
Residência de padrão luxo	250 <i>per capita</i>
Restaurantes e outros similares	25 por refeição
Templos	2 por lugar

Fonte: Creder, 1991.