



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA

SAMILLE SOUSA MACIEL

MORINGA OLEÍFERA COMO COAGULANTE: UMA ABORDAGEM
SUSTENTÁVEL

FORTALEZA

2023

SAMILLE SOUSA MACIEL

MORINGA OLEÍFERA COMO COAGULANTE: UMA ABORDAGEM SUSTENTÁVEL

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Bacharelado em da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química com Habilitação Industrial.

Orientadora Pedagógica: Prof^ª. Dra. Adriana Nunes Correia.

Orientadora Profissional: Dra. Geisa Vieira Vasconcelos Magalhães.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M139m Maciel, Samille Sousa.

Moringa oleífera como coagulante: Uma abordagem sustentável / Samille Sousa Maciel. – 2023.
50 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Química, Fortaleza, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Adriana Nunes Correia.

Coorientação: Profa. Dra. Geisa Vieira Vasconcelos Magalhães.

1. Serigrafia. 2. Coagulante. 3. Moringa oleífera. 4. Remoção. I. Título.

CDD 540

SAMILLE SOUSA MACIEL

MORINGA OLEÍFERA COMO COAGULANTE: UMA ABORDAGEM SUSTENTÁVEL

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Bacharelado em da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química com Habilitação Industrial

Aprovada em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Adriana Nunes Correia (Orientadora pedagógica)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Geisa Vieira Vasconcelos Magalhães (Orientadora profissional)
Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC)

Mestre Ana Aline Coêlho Alcanfor (Examinadora)

Aos meus pais, por todo apoio, paciência e amor.

Aos que nunca me deixaram desistir.

A mim, por persistir e resistir.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que diante de tantas dificuldades, conseguiram me dar o privilégio de focar nos meus estudos, que me deram muito conforto e amor, e que nunca desistiram de mim.

Ao meu melhor amigo, por me permitir descansar, me divertir e por me proporcionar conforto e companhia durante todos esses anos difíceis e turbulentos. Aos amigos que fiz durante o estágio, pois sem vocês não haveria tanta diversão e risadas.

À Prof^ª. Dra. Adriana Nunes Correias, por toda orientação, conselho e apoio nesse momento tão importante da minha vida. À Dra. Geisa Vieira Vasconcelos Magalhães, pela orientação e conhecimento durante o estágio. À Mestre Ana Aline Coêlho Alcanfor, por aceitar prontamente participar desse momento importante.

Ao NUTEC, pelo estágio repleto de conhecimento e ao LARSE, pelos recursos e amigos feitos durante meu tempo como estagiária.

RESUMO

Visando contornar os impactos negativos da utilização de coagulantes químicos como o cloreto férrico (FeCl_3), coagulantes naturais estão sendo estudados, dentre eles, o pó da semente de moringa oleífera. Para determinar a eficiência desse coagulante natural, o efluente obtido de uma indústria de serigrafia foi caracterizado a partir das análises de Sólidos (totais, fixos, voláteis e suspensos), Demanda Química de Oxigênio (DQO), turbidez, pH, cor aparente e nitrogênio amoniacal, o qual foi tratado por meio do ensaio *JarTest*, com soluções do pó da semente de moringa oleífera nas concentrações de 1,0; 1,5; 2,0; e 2,5% (m/v), bem como com uma solução de FeCl_3 a 1,0% (m/v) como meio comparativo. Para a análise de sólidos totais, a remoção obtida por meio do coagulante natural variou entre 19 e 36%, com a solução de 1,5% obtendo resultado superior ao coagulante químico, que atingiu 28% de remoção. O pH após tratamento permaneceu entre 5,26 e 5,53. A remoção de sólidos fixos ficou entre 0 e 16%, e a solução de 1,5% manteve o melhor resultado e superior à remoção de 11% da solução de FeCl_3 . A análise de sólidos voláteis obteve resultados entre 41 e 59%, com a solução de 1,5% superando o valor de 47% de FeCl_3 . A remoção do teor de sólidos suspensos ficou entre 69 e 94% para as soluções de moringa oleífera, com a solução de 1,0% obtendo melhor resultado, superando os 69% do FeCl_3 . As soluções de moringa oleífera removeram entre 42 e 59% de DQO, porém FeCl_3 apresentou melhor resultado removendo 84%. Os resultados da remoção de turbidez com as soluções de moringa oleífera, ficaram entre 49 e 89%, em que a de 1,0% obteve o melhor resultado entre elas, e a solução de FeCl_3 removeu 94%. Para a análise de cor, as soluções de moringa oleífera removeram entre 4 e 62%, sendo o melhor resultado da solução de 1%, inferior aos 84% da solução de FeCl_3 . O tratamento com o coagulante natural removeu entre 4 e 100% do teor de nitrogênio amoniacal, e a solução de 1,0% obteve o mesmo resultado de 100% do FeCl_3 . As soluções de moringa oleífera foram eficientes e equiparáveis à solução de FeCl_3 em diversos parâmetros, enquadrando-se como opção viável para substituição do coagulante químico para diminuição dos parâmetros analisados.

Palavras-chave: serigrafia; coagulante; moringa oleífera; remoção

ABSTRACT

In order to overcome the negative impacts of Chemical coagulants such as iron chloride (FeCl_3), natural coagulants are being studied, including moringa oleifera seed powder. To determine the efficiency of this natural coagulant, the effluent obtained from a screen printing industry, was characterized by analyzing solids (total, fixed, volatile and suspended), Chemical Oxygen Demand (COD), turbidity, pH, apparent color and nitrogen ammoniacal, and was treated using JarTest, with solutions of moringa oleifera seed powder in concentrations of 1,0; 1,5; 2,0 and 2,5% (m/v) as well as with FeCl_3 1% (m/v) as a comparative medium. For the analysis of total solids, the removal obtained by using the natural coagulant, varied between 19 and 36%, with the 1,5% solution obtaining the best result, superior to the chemical coagulant which achieved 28% removal. The pH after treatment remained above five with all solutions used. The removal of fixed solids was between 0 and 16% and the 1,5% solution maintained the best result, superior to the 11% obtained by FeCl_3 . The volatile solids analysis obtained results between 41 and 59%, with the 1,5% solution surpassing the 47% FeCl_3 value. The removal of suspended solids content was between 69 and 94% for the moringa oleifera solutions, with the 1,0% solution obtaining the best result, surpassing the 69% of FeCl_3 . The moringa oleifera solutions removed between 42 and 59% of COD, but FeCl_3 showed better results, removing 84%. The results of turbidity removal with moringa oleifera solutions were between 49 and 89%, with the 1,0% solution obtaining the best result among them, and the FeCl_3 solution reduced turbidity by 94%. For color analysis, moringa oleifera solutions removed between 4 and 62%, with the best result being the 1,0% solution, lower than the 84% of the FeCl_3 solution. The treatment with natural coagulant removed between 4 and 100% of the ammonia nitrogen content, and the 1,0% solution obtained the same result as 100% of FeCl_3 . The moringa oleifera solutions were efficient and comparable to FeCl_3 in several parameters, representing a viable option for replacing the chemical coagulant to reduce the analyzed parameters.

Key-words: silk screen; coagulant; moringa oleifera; removal

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do sistema de impressão por serigrafia, ilustrando a entrada de insumos e a saída de resíduos gerados durante o processo.....	21
Figura 2 – Imagens da microscopia eletrônica de varredura do pó da semente nas magnificações 180x (A); 700x (B) e 3700x (C)	29
Figura 3 – Fluxograma do preparo do pó da semente de moringa oleífera.....	31
Figura 4 – Equipamento <i>JarTest</i>	32
Figura 5 – Fluxograma para o Teste de Jarros.....	33
Figura 6 – Sistema de <i>JarTest</i> com os efluentes antes da utilização das soluções coagulantes e após o fim do tratamento.....	39
Figura 7 – Lodo gerado após tratamento com solução de moringa oleífera 1,0%.....	39
Figura 8 – Redução, em porcentagem, do teor de sólidos totais após tratamento.....	41
Figura 9 – Redução, em porcentagem, do teor de sólidos fixos após tratamento.....	42
Figura 10 – Redução, em porcentagem, do teor de sólidos voláteis após tratamento.....	42
Figura 11 – Redução, em porcentagem, do teor de sólidos voláteis após tratamento.....	43
Figura 12 – Redução, em porcentagem, da DQO após tratamento.....	44
Figura 13 – Redução, em porcentagem, da turbidez após tratamento.....	45
Figura 14 – Valores do pH do efluente bruto e após tratamento com as soluções coagulantes.....	46
Figura 15 – Comparação visual do efluente bruto e após tratamento com as soluções de 1,0% (1), 1,5% (2), 2,0% (3), 2,5% (4) e FeCl ₃ (5).....	46
Figura 16 – Redução, em porcentagem, da cor do efluente após tratamento.....	47
Figura 17 – Redução, em porcentagem, da concentração de nitrogênio amoniacal do efluente após tratamento.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Condições e padrões de lançamento direto de efluentes não sanitários	30
Tabela 2	– Soluções adicionadas ao equipamento de <i>JarTest</i>	33
Tabela 3	– Caracterização do efluente bruto quanto aos parâmetros de sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, sólidos suspensos, DQO, turbidez, pH, cor e nitrogênio amoniacal.....	37
Tabela 4	– Resultados do efluente bruto e do efluente ao fim do <i>JarTest</i> para os parâmetros sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, sólidos suspensos, DQO, turbidez, pH, cor e nitrogênio amoniacal.....	40
Tabela 5	– Redução, em porcentagem, do valor dos parâmetros analisados.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de serigrafia e seus processos.....	19
Quadro 2 – Geração de efluentes nas etapas dos processos de serigrafia.....	20
Quadro 3 – Comparação entre coagulantes naturais e coagulantes químicos.....	27
Quadro 4 – Aplicações da planta moringa oleífera.....	28
Quadro 5 – Análises realizadas e suas referências.....	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Indústria Têxtil	17
3.1.1	<i>Problemática da Indústria Têxtil</i>	17
3.1.2	<i>Serigrafia</i>	17
3.2	Processo de Coagulação-floculação	22
3.2.1	<i>Coagulação</i>	22
3.2.2	<i>Floculação</i>	23
3.3	Coagulantes Químicos	24
3.4	Coagulantes Naturais	25
3.5	Moringa Oleífera	27
3.6	Legislação Acerca do Descarte de Efluentes Industriais	29
4	METODOLOGIA	31
4.1	Realização das Análises	31
4.2	Obtenção da Semente de Moringa Oleífera	
4.3	Preparo do Pó da Semente de Moringa Oleífera	31
4.4	Preparo das Soluções do Pó de Moringa Oleífera	31
4.5	Preparação da Solução de Cloreto Férrico (FeCl₃) 1%	32
4.6	Teste de Jarros	32
4.7	Análises	33
4.7.1	<i>Sólidos totais, fixos e voláteis</i>	33
4.7.2	<i>Sólidos suspensos</i>	34
4.7.3	<i>pH</i>	34
4.7.4	<i>Nitrogênio amoniacal</i>	35
4.7.5	<i>Cor</i>	35
4.7.6	<i>Turbidez</i>	35
4.7.7	<i>DQO</i>	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	Caracterização do Efluente Bruto	37

5.2	Teste de Jarros.....	38
5.3	Resultados do pós-tratamento.....	40
5.3.1	<i>Sólidos totais, fixos e voláteis.....</i>	<i>41</i>
5.3.2	<i>Sólidos suspensos.....</i>	<i>43</i>
5.3.3	<i>DQO.....</i>	<i>44</i>
5.3.4	<i>Turbidez.....</i>	<i>45</i>
5.3.5	<i>pH.....</i>	<i>46</i>
5.3.6	<i>Cor.....</i>	<i>47</i>
5.3.7	<i>Nitrogênio amoniacal.....</i>	<i>48</i>
6	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confeção (ABIT), a maior cadeia têxtil completa do ocidente, pois possui desde o plantio das fibras, até os desfiles de moda, bem como todas as etapas de produção, tecelagens, confecções e forte varejo. A indústria possui mais de 200 anos em território nacional, de forma que ter conhecimento dos impactos ambientais gerado pelo ramo, se torna informação de grande importância, considerando a influência para a economia nacional.

Em todas as fases da produção têxtil, nota-se a geração de resíduos e consequente impacto ambiental, visto que há alto consumo de água, que gera um grande volume de efluentes, poluição do ar e do solo e, ao se tratar da etapa de estamparia e tingimento, responsável por até 20% da poluição de água dessa indústria, há grande impacto aos ambientes aquáticos, devido à geração de efluentes têxteis coloridos e com composição complexa que pode conter compostos orgânicos e inorgânicos e substâncias tóxicas como metais e aromáticos, de forma a gerar efeitos mutagênicos e teratogênicos em organismos aquáticos e reduzir a passagem de luz que é essencial para a realização de fotossíntese, que produz o oxigênio necessário para degradação microbiológica de matéria orgânica. (Toniollo, Zancan e Wüst, 2015; Vargas, 2016)

A Serigrafia enquadra-se dentro da indústria têxtil, no ramo da estamparia, como uma forma de reprodução de imagens e textos, que pode ser aplicada de formas diferentes que possuem o mesmo princípio, a transferência do desenho por meio de pressão sobre a tinta aplicada a uma matriz. Em todas as etapas da serigrafia, há a geração de resíduos, porém o mais significativo é o grande volume de efluentes, que pode gerar altos valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO), desequilibrar a fotossíntese a composição em meio aquático, causar odor forte e aumentar o teor de sólidos suspensos na água (Carvalho, 2016; Vargas, 2016)

Muitas vezes os efluentes gerados são descartados em corpos hídricos, e esse descarte é regido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e, mais especificamente de abrangência estadual, pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA). Visando enquadrar-se dentro dos parâmetros colocados pelos conselhos mencionados, muitas vezes se torna necessário o tratamento do efluente gerado, sendo a coagulação floculação uma técnica amplamente utilizada para esse fim. A técnica dispõe do uso de coagulantes químicos, como o sulfato de alumínio e cloreto férrico, que por mais que sejam eficientes para o tratamento, possuem desvantagens como grande geração de lodo não

biodegradável, impactos negativos na saúde humana e alteração no pH da água. Visando contornar esses fatores, atualmente estuda-se a utilização de coagulantes naturais, que possuam em sua composição polímeros capazes de agregar partículas e formar flocos de fácil remoção (Gonçalves, De Menezes Filho e Oliveira, 2021; Mani *et al*, 2019).

Dentro dessa classe de coagulantes naturais, encontra-se a moringa oleífera, espécie de árvore da família *moringaceae*, também conhecida por planta milagrosa devido as suas diversas aplicações em diferentes áreas, como a nutricional, medicinal, industrial e purificação de água, dentre outras. A sua semente possui uma proteína catiônica de alto peso molecular, que atua como ímã atraindo partículas de carga negativa, fazendo com que seja eficiente como coagulante natural para a redução da turbidez de efluentes. A utilização desse coagulante, possui como principais vantagens a sua não toxicidade e geração de lodo biodegradável em menor volume quando comparado a coagulantes químicos. A estrutura dessa semente também a torna eficiente para remoção de poluentes, devido à sua porosidade e heterogeneidade (Gaayda *et al*, 2021; Benettayeb *et al*, 2022; Wagh, Aher e Mandalik, 2022; Lino *et al*, 2020)

Sendo assim, o presente trabalho visa a eficiência da utilização da semente de moringa oleífera como coagulante natural, na melhoria de parâmetros como DQO, teor de sólidos, pH, cor, turbidez e teor de nitrogênio amoniacal de um efluente da indústria de serigrafia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar o tratamento do efluente de serigrafia por meio do método de coagulação floculação utilizando pó da semente de moringa oleífera como coagulante natural.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar efluente bruto quanto aos parâmetros Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, cor, turbidez, sólidos totais, fixos, voláteis e suspensos;
- Determinar os parâmetros de DQO, nitrogênio amoniacal, cor, turbidez, sólidos totais, fixos, voláteis e suspensos após o tratamento com os coagulantes utilizados;
- Avaliar a influência da variação de concentração das soluções de moringa oleífera na eficiência do tratamento;
- Avaliar a influência dos coagulantes utilizados na alteração do pH do efluente;
- Comparar a eficiência entre o coagulante natural e o coagulante químico FeCl_3 no tratamento por coagulação floculação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Indústria têxtil

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT), o Brasil se configura atualmente, como a maior cadeia têxtil completa do ocidente por possuir desde o plantio das fibras até os desfiles de moda, passando por todas as etapas de produção, fiações, tecelagens, confecções e forte varejo. Sabendo que a indústria, que possui quase 200 anos no país, apresentava em 2022 22,5 mil unidades produtivas formais segundo a Inteligência de Mercado (IEMI *apud* ABIT, 2023), torna-se importante saber quais impactos ambientais causados por esse ramo industrial de forte influência para a economia nacional.

3.1.1 Problemática da Indústria Têxtil

Na produção têxtil, é possível observar, em todas as suas fases, a geração de resíduos e impactos ao meio ambiente. Já na etapa de plantio da principal matéria prima da indústria, o algodão, o uso de agrotóxicos e pesticidas em grandes quantidades gera danos não só ao meio ambiente, mas também à saúde humana.

O alto consumo de água, utilizada em processos de lavagem, coloração, transferência de calor, aquecimento ou resfriamento, e a conseqüente geração de grande volume de efluentes, que por sua vez possuem diferentes substâncias contaminantes devido aos diversos processos produtivos, se configura também como um grande impacto ambiental da Indústria Têxtil, sendo o maior deles as etapas de tingimento e acabamento, em que há uma utilização de insumos químicos e corantes.

Também é importante citar que o setor têxtil causa poluição do ar e do solo. Para a alimentação das caldeiras, são utilizados como combustíveis óleos e lenhas, que liberam dióxido de enxofre e gás carbônico, contribuindo para a chuva ácida e efeito estufa respectivamente, enquanto que a contaminação do solo pode se dar por infiltração de água contaminada durante o processo produtivo. Além destes, há a geração de grande quantidade de resíduos sólidos de forma proporcional ao consumo de matéria prima, dando destaque para o descaroçamento de algodão e restos de tecidos e fios. (Toniollo, Zancan e Wüst, 2015)

A indústria têxtil é responsável por gerar grande volume de efluente que possuem variações complexas de diferentes contaminantes, que podem ser provenientes do processo de tingimento, do plantio representado por pesticidas e metais pesados, que podem ser altamente poluentes para fontes de água, assim como seus ecossistemas, como macrófitas e algas. De acordo com Azanaw (2022), 45% do efluente é proveniente da fase preparatória para a produção, 33% vem da etapa de tingimento e 22% é gerada pelos processos do acabamento

têxtil.

O acabamento têxtil é uma série de processos, incluindo a lavagem, o branqueamento e o tingimento, que consomem grande volume de água. Com foco na geração de efluentes, a depender da técnica utilizada na produção do produto têxtil, o consumo de água encontra-se entre 50 e 240 litros por quilograma de têxtil finalizado. A água utilizada é contaminada e passa conter grande quantidade de compostos orgânicos, corantes, substâncias químicas tóxicas, e compostos inorgânicos como hidróxido de sódio, ácido clorídrico, cloreto de sódio e detergentes.

Os efluentes têxteis de processos de tingimento e estamparia, são altamente tóxicos para ambientes aquáticos, caso descartados sem tratamento adequado, devido à presença de metais e aromáticos, que possuem efeitos mutagênicos ou teratogênicos em organismos aquáticos e espécies de peixes. Corantes são compostos químicos que, ao absorver ou refletir luz a determinados comprimentos de onda, permitem a visualização de diferentes cores por seres humanos.

Dá-se o nome de tingimento à interação entre corante e fibra, e, nesse processo, nem todo o corante consegue migrar para a parte interna da fibra, fazendo com que ele permaneça no banho e seja descartado na forma de efluente. Durante a etapa de tingimento, o consumo de água varia de 30 a 150 L/kg de tecido, a depender do tipo de corante e substrato, sendo responsável por até 20% da poluição de água proveniente dessa indústria. A poluição gerada durante essa etapa vai além do grande consumo de água, visto que o efluente gerado, por conta da presença de cor, pode reduzir a passagem de luz necessária para produção de oxigênio por meio de fotossíntese, oxigênio esse que seria utilizado para degradação microbológica da matéria orgânica presente no efluente (Vargas, 2016)

O processo de estampa se dá pela aplicação de cor ao tecido em um design preparado previamente. Esse design pode ser aplicado ao tecido por meio de rolos, telas rotatórias ou técnicas de telas planas. A estamparia, utiliza para aplicação de cor, pastas coloridas, que possuem em sua composição solventes que podem ser aquosos, orgânicos ou uma mistura de ambos, que também podem estar presentes nos efluentes após os processos (Azanaw, 2022).

3.1.2 Serigrafia

Tecidos estampados são uma realidade desde a época do Egito Antigo, visto que foram encontrados em tumbas arqueológicas. Inicialmente, eram utilizados como corantes, substâncias naturais advindas de frutas, plantas e insetos, e esses corantes eram transferidos

para os tecidos com a utilização de blocos de madeira e pincéis rudimentares feitos a partir de pelos de animais e folhas atados em galhos.

Atualmente, devido à evolução industrial e produção de maquinários com maior capacidade de produção e melhor qualidade, existem diferentes técnicas para a transferência de estampas ao tecido, sendo uma delas a Serigrafia.

Também conhecida como *silk screen*, a serigrafia é um dos processos mais conhecidos e usados para reprodução de imagens e textos no mundo, encontrando-se entre os seis principais sistemas de impressão da indústria gráfica, dentre *offset*, rotogravura, flexografia, impressão digital e tipografia. No Brasil, a técnica foi introduzida antes da Segunda Guerra Mundial, com a utilização de mesas planas e limitação de até quatro cores. A técnica pode ser aplicada de formas diferentes, sendo elas: quadro plano manual, plano semiautomatizado carrossel, quadro plano automatizado e por cilindro. Entretanto, as diferentes formas possuem um mesmo processo básico, que é a transferência do desenho por meio de pressão sobre a tinta aplicada em uma matriz (Carvalho, 2016; Vargas, 2016)

Quadro 1- Tipos de serigrafia e seus processos.

Tipo	Processo
Serigrafia de quadro plano manual	Passagem do rodo sobre a tinta aplicada na parte fechada da matriz, permitindo sua passagem através das áreas abertas, produzindo a estampa
Serigrafia semiautomatizada	Se dá de forma extremamente semelhante à de quadro plano manual, com a diferença que há um transporte mecânico de matrizes, o que facilita a impressão das estampas
Serigrafia de quadro automatizado	Se difere por possuir matrizes maiores e há a automatização também do rodo. Nesse processo, o tecido é transportado por uma esteira enquanto os quadros são também movimentados, sendo a única parte manual a alimentação de tinta nos quadros. Possui uma etapa extra de pós tratamento, para impedir que a tinta se espalhe, prejudicando o contorno da estampa, por meio de secagem do tecido de forma imediata a temperaturas que variam de 102 a 175 °C
Serigrafia Rotativa	É utilizada quando se quer produzir grandes volumes

têxteis, visto que envolve uma série de cilindros giratórios de fina tela metálica que agem como rodos, permitindo a impressão da tinta através de espaços abertos contra o tecido, e nesse caso, o cilindro atua como matriz

Fonte: Carvalho, 2016

Os processos da indústria de serigrafia são considerados simples, porém devem ser realizados de forma cautelosa para que sejam evitados danos à saúde humana e ao meio ambiente, além de haver o controle das emissões de resíduos sólidos, líquidos e gasosos. Em todas as etapas desse método de estamperia, observa-se a geração de resíduos, principalmente provenientes da utilização de tintas e solventes, de fitas adesivas, telas de impressão e sua lavagem, etapa que gera grande volume de efluentes.

A técnica pode ser aplicada para produzir tanto em grande quanto em pequena escala, por possuir diferentes tipos de produção. Seu processo produtivo pode ser dividido em pré-impressão, etapa em que há a transferência da imagem para seu portador, a impressão, que é a transferência do portador para o suporte e a pós-impressão, que consiste no acabamento dos produtos finais (Vargas, 2016).

Quadro 2- Geração de efluentes nas etapas dos processos de serigrafia.

Pré-impressão	Efluente contendo resíduos de revelação, fixadores, solventes, soluções ácidas, alcalinas, lacas, resíduos de preparação da tela, íons de metais pesados.
Impressão	Efluente contendo hidrocarbonetos, resíduos de tintas, de lubrificantes e graxas
Pós-impressão	Efluente com substâncias químicas utilizadas para a limpeza das telas, dos rolos, dos equipamentos e dos pisos.

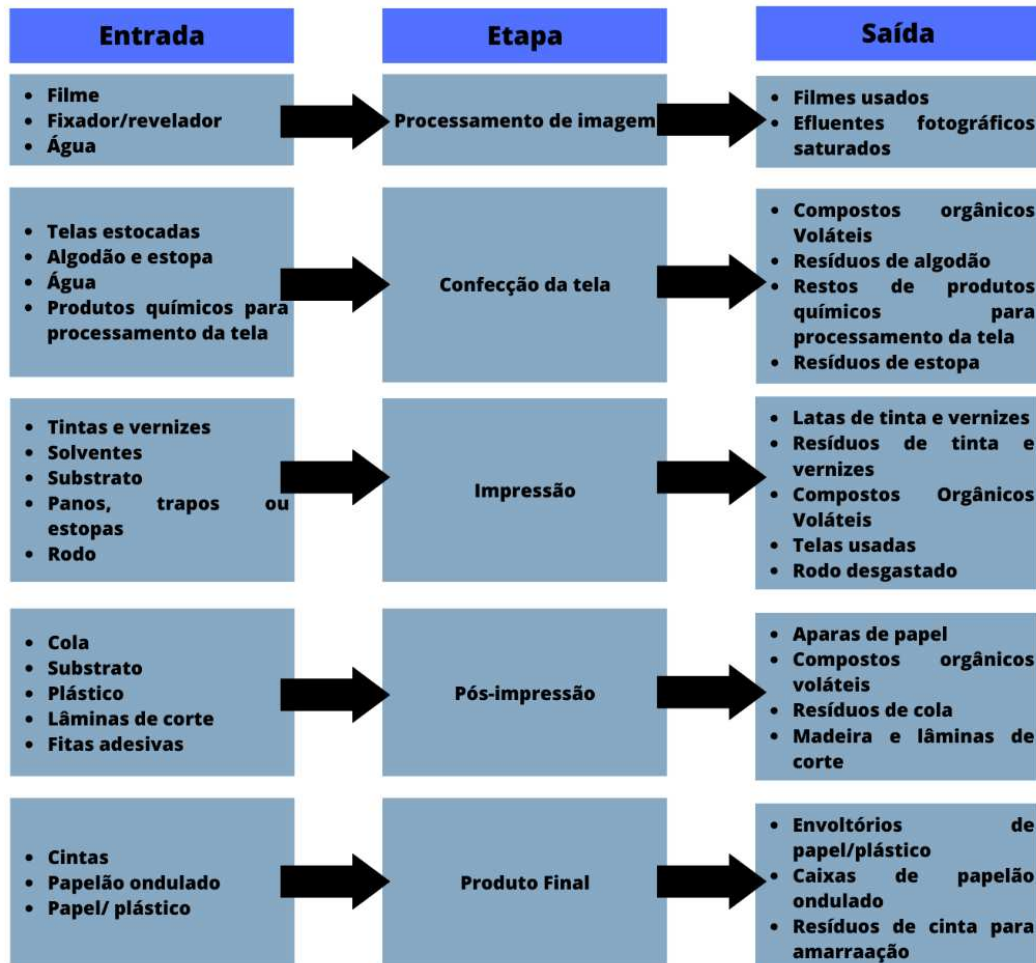
Fonte: Vargas, 2016

Os efluentes gerados nas diferentes etapas, podem: gerar altos valores de DQO, desequilibrar a fotossíntese e a decomposição em meio aquático devido à maior quantidade de nutrientes advindos de matéria orgânica, causar odor forte e aumentar o teor de sólidos suspensos (Vargas, 2016).

Os diversos resíduos gerados nas etapas de processamento de imagem, confecção

da forma, impressão, pós-impressão e produto final são elucidadas por Barbosa, Wittman e Luz (2009) conforme o fluxograma abaixo.

Figura 1- Fluxograma do sistema de impressão por serigrafia, ilustrando a entrada de insumos e a saída de resíduos gerados.



Fonte: Adaptada de Barbosa, Wittman e Luz (2009)

Em seu trabalho, Carvalho (2016) visitou sete empresas de estamperia, nos estados Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC). No RS, foram acompanhados os processos de serigrafia a quadro, sublimação por prensa, sublimação por calandra e impressão a jato de tinta, já em SC, observou-se os processos de serigrafia por cilindro e impressão digital a jato de tinta corrida. Por conta dos grandes volumes de água durante o processo de gravação de tela serigráfica e durante a lavagem da esteira de rolagem do tecido, ambos os processos de serigrafia estudados são grandes geradores de efluentes que necessitam de tratamento antes de serem descartados. Por outro lado, Carvalho concluiu que a serigrafia se torna mais atrativa devido à sua maior produção quando comparada aos outros métodos de estamperia analisados. De forma geral, concluiu-se durante o trabalho, que a serigrafia a quadro é mais poluente, visto que utiliza e despeja grande quantidade de água contaminada

com produtos químicos sem tratamento na rede de esgoto urbano.

3.2 Processo de coagulação-floculação

Para que haja o descarte adequado dos efluentes, seus parâmetros físicos e químicos devem ser regularizados conforme as legislações, dando destaque para o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e para o Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA). Para atingir os valores exigidos, os efluentes devem ser submetidos a tratamentos adequados para as suas características (Azevedo, 2020).

Os processos físico-químicos de tratamento de efluentes são amplamente aplicados em vários setores industriais, dentre eles, as indústrias metalúrgicas, químicas, de fabricação de papel, de refino de petróleo e têxteis. Para melhorar a eficiência do tratamento, os principais métodos físico-químicos de agregação, a coagulação e a floculação, são aplicados em conjunto. O resultado dessa junção, é a agregação de coloides e partículas dissolvidas presentes nos efluentes em flocos maiores, que, por ação da gravidade são facilmente removidos. Para esse processo, na maioria das vezes utiliza-se sais de metal hidrolizantes de ferro e alumínio, pois auxiliam na remoção de corantes e compostos orgânicos dissolvidos. A utilização de polímeros naturais vem sendo amplamente estudada, por possuir vantagens como a utilização de concentrações menores, baixa toxicidade, biodegradabilidade e menor volume de lodo gerado (Vargas *et al*, 2016; Cunha *et al*, 2019; Azevedo, 2020).

Segundo Vargas *et al* (2016), a coagulação floculação é recomendada para a remoção de poluentes inorgânicos, metais pesados, óleos e graxas, cor, sólidos sedimentáveis, e sólidos em suspensão.

3.2.1 Coagulação

A coagulação depende da interação química entre o agente coagulante e as substâncias químicas presentes nos efluentes, que vai gerar uma desestabilização das cargas das partículas em suspensão, e é resultado da atuação de diferentes mecanismos, sendo eles a compressão da camada dupla, a adsorção-desestabilização, a varredura e a formação de pontes químicas. Os coagulantes, partículas positivas, são hidrolisados no meio aquoso, e posteriormente interagem com as partículas em suspensão, de natureza negativa, causando sua desestabilização e a conseqüente formação de coágulos (Silva *et al*, 2009; Azevedo *et al*, 2020).

A compressão da camada dupla funciona de forma que, devido ao aumento da

concentração de íons em solução, por meio da adição de coagulantes, ocorre a compressão da camada difusa, permitindo que cátions consigam atravessar também a camada compacta, causando uma redução na espessura da dupla camada e conseqüentemente diminuição da distância entre partículas, de forma a desestabilizá-las. Quando há a presença de coloides dispersos em meio aquoso, cátions se aproximam da sua superfície, formando uma camada de íons, também chamada de camada compacta, que é resultado das forças de repulsão eletrostática e de atração de van der Waals. Já a camada difusa, é consequência da interação entre forças de atração, que ocorrem entre íons a menores distâncias, e as forças difusivas, que levam íons, predominantemente os positivos, para a direção em que se encontra a menor concentração iônica (Silva *et al*, 2009; Mani *et al*, 2019).

A depender do pH do meio, espécies hidrolisadas de carga positiva, provenientes do coagulante utilizado, podem ser formadas, de forma que podem ficar adsorvidas na superfície das partículas, as desestabilizando. Esse mecanismo ocorre em menos de um segundo em meio que está sob agitação a alta velocidade.

O mecanismo de varredura é dependente do pH do meio e é predominante quanto maior for a concentração do coagulante. Durante esse mecanismo, as partículas coloidais são adsorvidas e as suspensas são envolvidas pelo precipitado composto normalmente por hidróxidos de alumínio ou de ferro, de forma que o tamanho do floco aumenta, facilitando sua sedimentação. É o mecanismo predominante nas estações convencionais de tratamento de água.

A formação de pontes químicas ocorre quando são utilizados polímeros como coagulantes. Os polímeros utilizados são de uma classe denominada polieletrólitos, que possuem grupos funcionais ionizáveis que são adsorvidos na superfície de coloides. Esses polieletrólitos fazem com que a coagulação ocorra por meio da formação de pontes químicas, consequência da interação entre as partículas coloidais que estão na superfície das diversas cadeias poliméricas (Silva *et al*, 2009).

3.2.2 Floculação

É uma etapa posterior à coagulação, em que as partículas que já se encontram na forma de coágulos interagem entre si, formando flocos. A floculação pode ocorrer mediante adição de polímeros, sintéticos ou naturais, que tem como propósito auxiliar a agregação das partículas já coaguladas e devido à agitação lenta do sistema, que permite o choque entre partículas que já se encontram desestabilizadas após o processo de coagulação (Vargas *et al*, 2016; Azevedo *et al*, 2020; Silva *et al*, 2009).

A floculação pode ocorrer sem a adição de agentes floculantes, de forma que a formação de flocos se dá apenas pela agitação lenta do sistema, que permite a colisão entre os coágulos formados e o consequente agrupamento das substâncias que se deseja separar em etapas posteriores, aumentando a densidade de partículas. Mesmo sendo dispensável o uso de floculantes, sua adição facilita o processo, visto que nesse caso ocorrem fenômenos adsorptivos causados por interações eletrostáticas entre sítios carregados da cadeia polimérica e as partículas coaguladas (Azevedo *et al*, 2020).

Existem certos fatores que afetam esse processo, sendo eles a massa molar do floco, as concentrações de floculante e velocidade de agitação a que o líquido é submetida. Ao se tratar da massa molar do floco, quanto maior for seu valor, mais o polímero adsorvido em sua superfície pode se estender, de forma que o raio da partícula aumenta, aumentando também a taxa de colisão, e consequentemente a taxa de floculação. As condições do floculante e a velocidade de agitação afetam a floculação principalmente quando se trata da estabilidade dos flocos formados, de forma que, caso exista um alto teor de sólidos em suspensão e baixas doses de polímero, apesar da floculação acontecer rapidamente, os flocos formados podem ser quebrados com agitação moderada. Altas concentrações de polímero podem diminuir o grau de floculação e gerar uma suspensão estável de difícil separação. O processo terá melhor resultado caso metade da área do sólido seja coberta pelo polímero (Silva *et al*, 2009).

As operações de floculação, por mais que sejam simples, também exigem cuidados. O principal cuidado a ser tomado é a concentração de polímero adicionada, visto que, se usado em excesso, pode causar o aumento da turvação do líquido a ser tratado, pois pode causar uma nova desestabilização de partículas (Vargas *et al*, 2016).

3.3 Coagulantes químicos

Para tratamento de águas, normalmente utiliza-se como coagulantes os sais de alumínio e ferro, principalmente o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Ambos hidrolisam partículas em suspensão, desestabilizando-as e neutralizando sua carga, facilitando a remoção posterior (Gonçalves, de Menezes Filho e Oliveira, 2021).

No Brasil, o coagulante químico mais utilizado é o sulfato de alumínio, apresentando bom custo-benefício e eficiência para a sedimentação de partículas em suspensão presentes. Entretanto é um contaminante para o solo, o que faz com que não possa ser descartado juntamente com a lama gerada durante o tratamento. O cloreto férrico é normalmente aplicado como coagulante no tratamento de esgotos domésticos e industriais, e

possui propriedades corrosivas que exigem cuidado durante sua manipulação e armazenamento. A problemática da utilização dos coagulantes químicos, é a geração de grande volume de lodo, que apresenta em sua composição íons solúveis que podem comprometer a saúde humana. No caso do sulfato de alumínio, o lodo gerado é gelatinoso e os flocos gerados são de natureza inorgânica, impedindo que ocorra a decomposição biológica (Lino *et al*, 2020).

De acordo com Mani *et al* (2019), algumas das desvantagens de se utilizar coagulantes químicos são: ineficiência em águas à baixa temperatura, custo moderado de aquisição, impactos negativos na saúde humana, geração de grande volume de lodo e a alteração causada no pH da água. Além disso, caso descartados em ambientes aquáticos, podem permanecer no meio de forma que circula entre os sedimentos ali presentes.

O sulfato de alumínio, ao entrar em contato com a água, se dissocia em Al^{3+} e SO_4^{2-} , de forma que uma parte dos cátions de alumínio interagem com as partículas negativas presentes na água de forma a neutralizá-las, enquanto que a maior parte desses cátions irá formar o hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$, que é um coloide capaz de neutralizar impurezas carregadas negativamente. Já o cloreto férrico sofre hidrólise ao entrar em contato com a água, de forma que seus complexos adquirem cargas positivas capazes de neutralizar as partículas negativas presentes no meio (Lino *et al*, 2020)

Para analisar a eficiência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico no tratamento de água residuária têxtil sintética, Gonçalves, de Menezes Filho e Oliveira (2021) preparou o efluente sintético nas concentrações 1:2,2:2,1:3 (partes de corante: partes de silicato de alumínio hidratado) e adicionou os coagulantes na concentração de 1%. Foi realizado o teste de jarros, comumente conhecido como *Jar Test*, e posteriormente analisou os parâmetros turbidez, pH e cor. A conclusão foi que ambos os coagulantes foram eficientes para todas as concentrações preparadas, sendo a menor dosagem para redução de turbidez 4,5 mL para ambos os coagulantes e que a redução de pH foi mais acentuada pelo uso do coagulante cloreto férrico. Para as águas residuárias preparadas, tanto cloreto férrico quanto sulfato de alumínio conseguiram redução superior a 99% da turbidez, porém causaram forte queda de pH já na primeira adição de 1 mL de coagulante.

3.4 Coagulantes Naturais

Os coagulantes naturais, também chamados de biocoagulantes, eram utilizados para o tratamento de efluentes antes mesmo dos coagulantes químicos, porém, as dúvidas

acerca do mecanismo de atuação e eficiência dos biocoagulantes fez com que seu uso não fosse continuado de forma significativa. Atualmente, vem sendo estudados devido a sua não toxicidade para seres humanos, por serem biodegradáveis e por produzir menor volume de lodo ao fim do processo (Gaayda *et al*, 2022).

Esse tipo de coagulante é utilizado pois possui em sua composição polímeros que atuam de forma a aumentar o tamanho do floco por meio da atração de partículas menores. Diversos estudos comprovaram que materiais advindos de fontes naturais como plantas, microrganismos e animais podem ser utilizados como coagulantes. De acordo com Gaayda *et al* (2022), tanino, cacto, quitosana, extrato de semente de mostarda, proteína do feijão, e plantas como *Acanthocereus tetragonus* e moringa oleífera podem ser utilizados como coagulantes naturais.

Os coagulantes advindos de plantas são eficientes para o tratamento de águas que contém corantes, devido à estrutura química dos polímeros e da presença de grupos funcionais que irão atuar de forma eficiente na remoção de corantes. Entretanto, não apresentam alta eficiência para o tratamento de águas residuais complexas com a presença de metais pesados, visto que esses metais podem interferir com a interação entre polímero natural e corante, fazendo com que seja avaliada a possibilidade de promover alterações, que podem ser de forma química ou física, ao polímero caso se deseje aplica-lo nesse tipo de água residual. (Gaayda *et al*, 2022; Ishak *et al*, 2020).

A característica dos polímeros que fazem com que sejam eficientes no tratamento de efluentes, é a capacidade de atrair partículas para sua estrutura durante colisões, de forma a formar flocos maiores e mais densos, fazendo com que eles decantem mais facilmente. Já o tratamento de efluentes que possuem corantes em sua composição, depende da presença de grupos funcionais na estrutura molecular dos polímeros, como hidroxila, carboxila, fosfato e amina, que atuam interagindo de forma eletrostática com as cargas positivas advindas das moléculas de corante (Ishak *et al*, 2020).

Quadro 3- Comparação entre coagulantes naturais e coagulantes químicos quanto ao custo, a toxicidade, a corrosividade, as características do lodo, ao pH e ao odor.

Parâmetros	Coagulantes Naturais	Coagulantes Químicos Convencionais
Custo	Sustentável e econômico	Caro e complexo
Toxicidade	Não tóxico para o meio	Altamente tóxico
Corrosividade	Não corrosivo	Corrosivo
Características do Lodo	Menor volume de lodo, biodegradável e não perigoso	Alto volume de lodo, não é biodegradável e nocivo para o meio
pH	Não altera o pH após o tratamento	Causam maiores alterações de pH
Odor	Agente desodorizante	Forte odor

Fonte: Adaptado de Mani *et al*, 2019

3.5 Moringa oleífera

Moringa oleífera é uma espécie de árvore da família *moringaceae*, originada de países sul-asiáticos e é uma das 14 espécies de plantas presentes nessa família. É uma planta, muitas vezes chamada de milagrosa, por possuir diversas aplicações em diferentes áreas, dentre elas: nutricional, medicinal e industrial (Gaayda *et al*, 2021; Benettayeb *et al*, 2022).

Apesar de grande parte da planta ser utilizada para diversos fins, a semente de moringa oleífera é utilizada como coagulante natural para reduzir a turbidez de efluentes. Em sua composição, a semente possui diversos aminoácidos como arginina, metionina, ácido glutâmico, histidina, entre outros, mas o principal ativo que faz com que a semente seja importante para o tratamento de efluentes, é a proteína catiônica de alto peso molecular (entre 6.000 e 16.000 Dalton), que é solúvel em água e atua como ímã, atraindo partículas de carga negativa presentes no meio (Wagh *et al*, 2021; Lino *et al*, 2020).

Quadro 4- Aplicações da planta moringa oleífera.

Aplicações	Vantagens
Nutricional	<ul style="list-style-type: none"> • Folhas possuem alto teor de ferro, proteína, cobre, diversas vitaminas e aminoácidos essenciais • As folhas podem ser consumidas frescas ou na forma de pó, podendo ser adicionadas a sopas e saladas
Medicinal	<ul style="list-style-type: none"> • As folhas secas ajudam a combater úlceras gástricas, diarreia, hiper e hipotensão, doenças broncopulmonares, asma e febre • Suas flores, quando fervidas para a extração de substâncias, são utilizadas no tratamento de gripe • As folhas são ricas em flavonoides, conferindo às folhas forte atividade antimicrobiana • Pó da sua raiz é utilizado para combater epilepsia, histeria, soluços, artrite, cálculos renais, reumatismo, cistos, dores de dente e inchaço dos pés causado por inflamações, infecções de fígado e baço
Cosmético	<ul style="list-style-type: none"> • O pó de suas folhas é eficiente quando usado para sabão para as mãos • Óleo extraído das sementes é matéria prima para cosméticos e perfumes, além de ser usado na pele
Purificação de água	<ul style="list-style-type: none"> • O pó da semente é utilizado como floculante natural, clarificando águas turvas, dissipando até 99% da matéria coloidal e 90 a 99% das bactérias • As sementes possuem um polieletrólito que auxilia a sedimentação de partículas em suspensão na água
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • O óleo presente nas sementes pode ser usado como lubrificante • Seu óleo é comparável com óleos de maior qualidade, como o azeite • Utilizada para fabricar cordas e corantes • Seu óleo pode ser usado para consumo alimentar, aplicação industrial e para a geração de luz em lamparinas, visto que

	produz luz e pouca fumaça, utilizado como base para certos tipos de tintas
Farmacológica	<ul style="list-style-type: none"> • Seus metabólitos secundários possuem atividades biológicas como antibacteriana, anticâncer, antifúngica, analgésica, anti-inflamatórias, e antioxidante
Nutrição animal	<ul style="list-style-type: none"> • Melhora a digestão • Possui proteínas, vitaminas, minerais e hormônios de crescimento

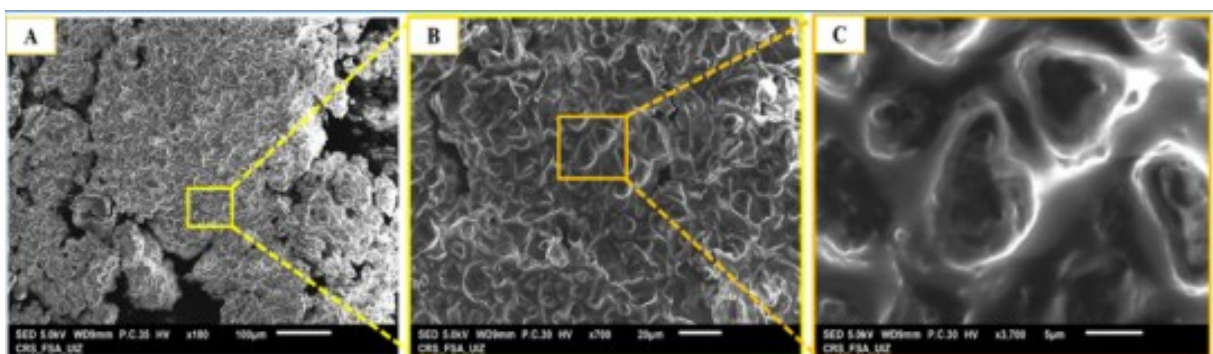
Fonte: Adaptada de Bennetayeb *et al*, 2022

Apesar de grande parte da planta ser utilizada para diversos fins, a semente de moringa oleífera é utilizada como coagulante natural para reduzir a turbidez de efluentes. Em sua composição, a semente possui diversos aminoácidos como arginina, metionina, ácido glutâmico, histidina, entre outros, mas o principal ativo que faz com que a semente seja importante para o tratamento de efluentes, é a proteína catiônica de alto peso molecular (entre 6.000 e 16.000 Dalton), que é solúvel em água e atua como ímã, atraindo partículas de carga negativa presentes no meio (Wagh *et al*, 2021; Lino *et al*, 2020).

Dentre os benefícios de usar a semente de moringa oleífera como coagulante, estão a sua não toxicidade, capacidade de remoção de microrganismos, inalteração do pH e geração de lodo biodegradável que chega a ser 5 vezes em menor quantidade quando comparado ao lodo gerado por coagulantes químicos (Lino *et al*, 2020).

Através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Gaaya *et al* (2022) identificou que o pó da semente de moringa oleífera apresenta uma morfologia porosa e heterogênea, características que permitem a remoção de poluentes em efluentes de forma eficiente.

Figura 2- Imagens da microscopia eletrônica de varredura do pó da semente nas magnificações 180x (A); 700x (B) e 3700x (C).



Fonte: Gaayda *et al*, 2022

Mani *et al* (2019), fez uma comparação da eficiência ao utilizar moringa oleífera, *Tamarina indica* e *Strychnomous spotatorum* na concentração de 2% (massa/volume), como coagulantes no tratamento de um efluente colorido de indústria têxtil, e, em sua pesquisa, foi determinado que, nos parâmetros de sólidos suspensos DQO, a solução coagulante utilizando moringa oleífera foi a que apresentou os melhores resultados, e, na dosagem de 40 mg/L, foi observada uma redução de 80,56% e 79,34% respectivamente. Ainda em seu trabalho, concluiu que a solução feita a partir da semente de moringa oleífera apresentou uma melhor formação de flocos, também na dosagem de 40 mg/L, apresentando resultado igual a 63,21% e que foi a mais eficiente na diminuição da turbidez, atingindo 72,15% no pH igual a 6 e 82,12% em pH 7.

3.6 Legislação acerca do descarte de efluentes industriais

No Brasil, há a presença do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), instituído pela Lei 6.938/81, sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto 99.274/90. Acerca das condições e padrões de lançamento de efluentes, o CONAMA dispõe da Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 determina que, para o lançamento direto no corpo receptor de efluentes de qualquer fonte poluidora, deverão ser obedecidas as condições e padrões do artigo 16.

No Estado do Ceará, os assuntos de política e de proteção ambiental são regidos por meio do Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA), de acordo com a Lei Estadual nº 11.411. O COEMA é um órgão colegiado que possui jurisdição em todo o Estado e está vinculado diretamente ao governo estadual, criado com o objetivo de assessorar o Chefe do Poder Executivo nos assuntos acerca de política de proteção ambiental.

Tabela 1- Condições e padrões de lançamento direto de efluentes não sanitários

Parâmetros	Valores
pH	5,0 a 9,0
Nitrogênio Amoniacal Total	Até 20 mg/L para pH ≤ 8 Até 5 mg/L para pH > 8
Cor aparente	Ausente
Sólidos Suspensos Totais	Até 100,0 mg/L
DQO	Até 200,0 mg/L

Fonte: Brasil, 2017

De acordo com o Artigo 4, da Resolução COEMA nº02, os efluentes da indústria têxtil, enquadram-se na Seção II, Artigo 11, classificados como efluentes não sanitários.

4 METODOLOGIA

4.1 Realização das análises

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Resíduos Sólidos e Efluentes (LARSE) situado no Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC).

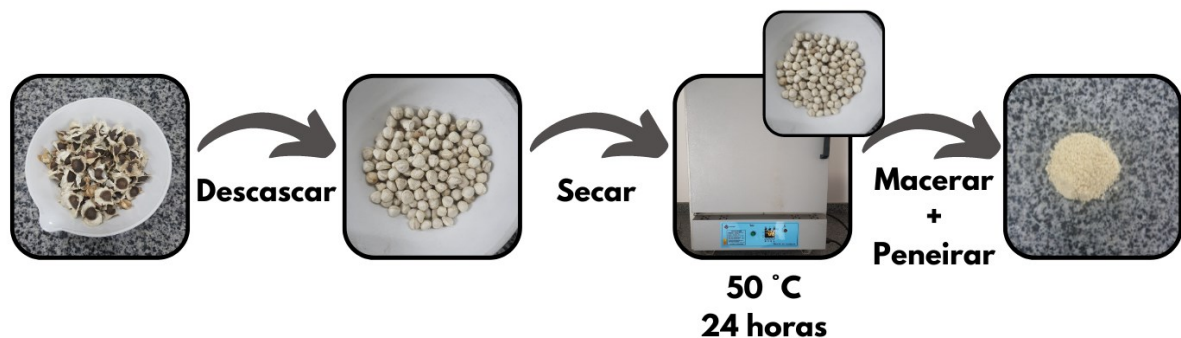
4.2 Obtenção da Semente de Moringa Oleífera

As sementes foram obtidas da plantação do Sr. Clodenir Ponciano Lima, situada no bairro Presidente Kennedy em Fortaleza- Ceará.

4.3 Preparo do pó da semente de Moringa Oleífera

Seguindo a metodologia utilizada por Mani *et al* (2019), as sementes foram descascadas e levadas para uma estufa microprocessada de secagem Quimis[®], modelo Q317M-32 para secar a 50 °C durante 24 horas. Em seguida, macerou-se as sementes já secas para a obtenção do pó. Posteriormente o pó obtido foi peneirado utilizando uma peneira convencional para diminuir e padronizar o tamanho das partículas.

Figura 3- Fluxograma do preparo do pó da semente de moringa oleífera.



Fonte: Elaborada pela autora

4.4 Preparo das soluções do pó de Moringa Oleífera

Em uma balança analítica Sartorius[®] modelo PRACTUM224-10BR, foram pesadas as massas do pó da semente referentes às concentrações de 1,0%; 1,5% ;2,0% e 2,5% (m/v), para preparar 100 mL de cada.

Com o propósito de solubilizar a proteína presente no pó da semente, as massas pesadas foram transferidas para um béquer de 100 mL e a elas adicionou-se aproximadamente 80 mL de água destilada. Após a adição de água, cada suspensão foi levada para chapa magnética, Marconi[®] modelo MA 085/1, para ser realizada agitação rápida e contínua durante 30 minutos.

Ao fim da meia hora, foi realizada filtração em papel sobre balão volumétrico de 100 mL, utilizando o papel filtro quantitativo Quanty[®] (12,5 cm Ø; 80 g/m²; 28 µm; 55 l/s m²), para garantir que a solução seja homogênea, e, posteriormente, o volume do balão foi completado com água destilada.

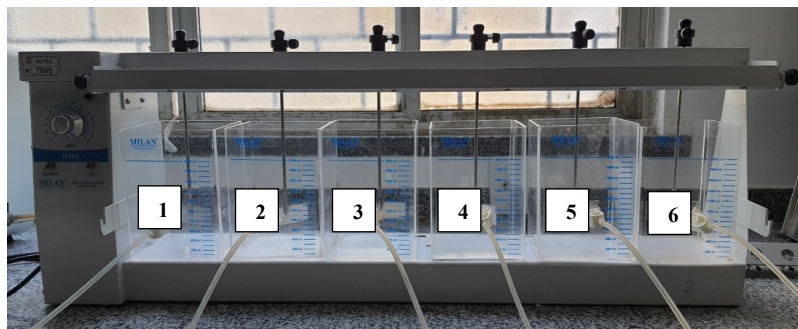
4.5 Preparo da Solução de Cloreto Férrico (FeCl₃) 1%

Pesou-se na balança analítica 1,0031 g de FeCl₃ anidro, transferiu-se a massa para um béquer de 100 mL e adicionou-se um pequeno volume de água destilada para solubilizar a massa. Posteriormente, transferiu-se a solução para um balão volumétrico de 100 mL de forma analítica e completou-se o volume do balão com água destilada, para preparar 100 mL de uma solução de FeCl₃ 1%.

4.6 Teste de Jarros

Para determinar qual o volume das soluções coagulantes que gera o melhor resultado no processo de coagulação-floculação, realizou-se o teste de jarros, também conhecido como *JarTest*. O equipamento utilizado foi de 6 jarros da marca Milan[®] modelo JT102.

Figura 4- Equipamento *JarTest*.



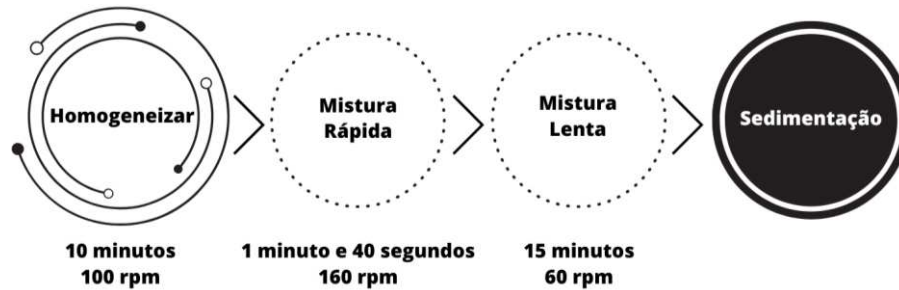
Fonte: Elaborada pela autora

Aos 6 jarros do equipamento, adicionou-se 1 L do efluente de serigrafia e, a cada um deles, com exceção do jarro 6 que foi utilizado como controle, foram adicionadas alíquotas das soluções coagulantes de Moringa Oleífera (MO) e Cloreto Férrico 1% (FeCl₃) de forma que, após cada adição foram realizadas as etapas de homogeneização, mistura rápida, mistura lenta e sedimentação.

Tabela 2- Soluções adicionadas ao equipamento de *JarTest*.

Jarro	Solução
1	MO 1,0%
2	MO 1,5%
3	MO 2,0%
4	MO 2,5%
5	FeCl ₃
6	X

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 5- Fluxograma para o Teste de Jarros.

Fonte: Adaptada de Gonçalves, Filho e Oliveira (2021)

Após a adição de 80 mL das soluções de MO em cada jarro, e 6 mL de FeCl₃, o efluente foi deixado em repouso no equipamento durante 7 dias para a sedimentação. Posteriormente, os sobrenadantes dos jarros 1 a 5 foram coletados para serem realizadas as análises propostas.

4.7 Análises

Quadro 5- Análises realizadas e suas referências.

Análise	Referência
pH	APHA, 2017. Seção 4500-H ⁺ B
Cor	APHA, 2017. Seção 2120.E
Turbidez	APHA, 2017. Seção 2130.B
Nitrogênio Amoniacal	APHA, 2017. Seção 4500-NH ₃ B; 4500-NH ₃ C
DQO	APHA, 2017. Seção 5220.D
Sólidos Totais	APHA, 2017. Seção 2540.B
Sólidos Suspensos	APHA, 2017. Seção 2540.D
Sólidos Fixos e Voláteis	APHA, 2017. Seção 2540.E

Fonte: Elaborada pela autora

4.7.1 Sólidos Totais, fixos e voláteis

Para a análise de sólidos do efluente bruto, preparou-se previamente 3 cadinhos deixando-os em uma mufla a 550 °C por, aproximadamente 20 minutos. Posteriormente, os cadinhos foram pesados para a obtenção do valor P1. Após a pesagem, adicionou-se a cada cadinho 50 mL do efluente bruto, e os 3 cadinhos foram levados para a estufa durante 24 horas. Ao fim do tempo indicado, os cadinhos foram resfriados no dessecador e suas massas foram pesadas para a obtenção do valor P2. Obtém-se valor de miligramas de sólidos totais por litro a partir da equação 1:

$$\text{mg de sólidos totais/L} = \frac{(P2 - P1) \cdot 100}{\text{volume da amostra em mL}} \quad (1)$$

Para calcular o teor de sólidos fixos e voláteis, os cadinhos foram para a mufla, novamente a 550 °C, para a ignição dos sólidos durante 1 hora. Passado o tempo, os cadinhos foram resfriados no dessecador e pesados para a obtenção do valor P3. Utilizam-se as equações 2 e 3 para o cálculo do teor de sólidos fixos e voláteis respectivamente.

$$\text{mg de sólidos fixos/L} = \frac{(P3 - P1) \cdot 100}{\text{volume da amostra em mL}} \quad (2)$$

$$\text{mg de sólidos voláteis/L} = \frac{(P2 - P3) \cdot 100}{\text{volume da amostra em mL}} \quad (3)$$

Para a determinação do teor de sólidos pós tratamento, retirou-se uma alíquota de 25 mL dos sobrenadantes coletados após o ensaio de *JarTest*. Os cadinhos foram preparados de forma igual aos da análise do efluente bruto, para a obtenção de P1, P2 e P3.

4.7.2 Sólidos Suspensos

Foram preparados papéis filtro por meio de lavagem com 3 alíquotas de 20 mL de água deionizada, realizada por filtração à vácuo. Os filtros foram colocados dentro de cadinhos para serem levados à estufa a 105 °C por 1 hora. Decorrido o tempo, os filtros foram esfriados em um dessecador e pesados em balança analítica para obter o valor de P1.

Após preparação dos filtros, foi retirada uma alíquota de 50 mL do efluente bruto e do efluente tratado com as soluções coagulantes, realizou-se filtração a vácuo e o filtro utilizado foi levado para a estufa durante 24 horas para a obtenção do valor P2 e posterior cálculo do teor de sólidos suspensos a partir da equação 4.

$$\text{mg de sólidos suspensos/L} = \frac{(P2 - P1) \cdot 1000}{\text{volume da amostra em mL}} \quad (4)$$

4.7.3 pH

Foram retiradas e colocadas em um béquer, alíquotas de aproximadamente 50 mL do efluente bruto e dos sobrenadantes obtidos ao fim do ensaio de *JarTest*. As alíquotas foram homogeneizadas com o auxílio de um bastão de vidro e posteriormente realizou-se a medida de pH de cada uma, utilizando pHmetro Digimed® DM-22

4.7.4 Nitrogênio Amoniacal

Para cada sobrenadante obtido ao fim do ensaio de *JarTest* e para o efluente bruto, foram preparados em duplicata tubos de digestão macro Kjeldahl com 10 mL da amostra, 5 mL de tampão borato e gotas de NaOH 6 N suficientes para alcançar pH igual a 9,5, adiciona-se também aproximadamente 30 mL de água destilada com o propósito de aumentar o volume no tubo para a etapa de destilação. Preparou-se também o branco em triplicada, diferindo da preparação descrita apenas pois substitui-se os 10 mL da amostra pelo mesmo volume de água destilada.

Os tubos foram levados, um a um, para o destilador de nitrogênio Solab® SL-74, e foram submetidos a temperatura 6 (em uma escala de temperatura de 1 a 10 do próprio equipamento). O destilado foi então coletado em um erlenmeyer contendo 10 mL de solução indicadora, e, após observar que o volume do erlenmeyer atingiu a marca de 50 mL, a vidraria foi retirada do destilador e em seguida, realizou-se uma titulação utilizando H₂SO₄ 0,02 N como titulante. Realizou-se o cálculo do teor de nitrogênio amoniacal a partir da equação 5:

$$\text{mgN/L} = \frac{(A - B) \cdot 280}{\text{mL da amostra}} \quad (5)$$

Em que:

A: volume de H₂SO₄ utilizado para titular a amostra, mL

B: volume de H₂SO₄ utilizado para titular o branco, mL

4.7.5 Cor

Realizou-se a calibração do colorímetro com as soluções padrão fornecidas pelo fabricante do equipamento e, posteriormente foi feita a medição do branco, colocando 10 mL de água destilada no frasco apropriado para o colorímetro utilizado, para dar início às medidas. Retirou-se uma alíquota de 10 mL dos sobrenadantes obtidos ao fim do *JarTest* e do efluente bruto e realizou-se a análise de cor aparente, utilizando-se o colorímetro Digimed® DM-COR.

4.7.6 Turbidez

Com o auxílio do turbidímetro Digimed[®] DM-TU, foram obtidas medidas da turbidez dos sobrenadantes coletados após ensaio *JarTest* e do efluente bruto. O equipamento foi calibrado com as soluções fornecidas pelo fabricante do equipamento e foi realizada a medição do branco com água destilada. Para as medidas, foram retiradas alíquotas de 10 mL das amostras, e inseridas no frasco apropriado para turbidímetro.

4.7.7 DQO

Em tubos de ensaio apropriado para DQO, foram montados em triplicata, os sistemas para serem levados à digestão, contendo 2,5 mL de amostra, 1,5 mL de solução digestora e 3,5 mL de solução catalítica, sendo também feitos os brancos utilizando água destilada no lugar da amostra. As misturas foram homogeneizadas e levadas para o digestor Solab[®] Dry-Block SL-16/30, para digerir a 150°C durante 2 horas.

Após a digestão, os tubos de ensaio foram retirados do bloco digestor para que esfriassem até atingir temperatura ambiente. Posteriormente, foi feita a leitura da absorvância de cada amostra a 600 nm utilizando o espectrofotômetro Shimadzu[®] UV-1900i e a concentração em mg de O₂/L foi calculada utilizando a curva de calibração já existente.

5 RESULTADOS E DICUSSÃO

5.1 Caracterização do Efluente Bruto

Seguindo as metodologias descritas para as análises realizadas, obtiveram-se os resultados referentes à caracterização do efluente de serigrafia bruto apresentados na Tabela 3. Devido à presença das substâncias utilizadas na etapa de pré-impressão do processo serigráfico, descritas no Quadro 2, o efluente bruto apresentou alto valor de DQO, estando acima do máximo estabelecido pelo COEMA (Tabela 1). Sem tratamento, o descarte do efluente bruto poderia levar à diminuição da penetração dos raios solares no corpo hídrico, bem como danos como a eutrofização, devido ao valor superior da DQO.

O valor para a DQO do efluente foi obtido a partir de uma curva de calibração previamente existente, medindo a absorvância de soluções padrão de biftalato de potássio ($C_8H_5KO_4$). A equação 6 foi utilizada para determinação da DQO.

$$A = 2849,7 \cdot C - 4,6003 \quad (6)$$

Em que:

A: absorvância

C: concentração em mg/L

A legislação determina que, para lançamento em corpo hídrico, o efluente deve apresentar ausência de cor aparente, parâmetro não obedecido pelo efluente bruto analisado, devido à presença dos corantes utilizados no processo serigráfico. Devido à presença de cor, o efluente bruto, se lançado diretamente em corpo hídrico, pode gerar mudança de cor da água receptora, bem como danos ao metabolismo das espécies aquáticas (Vargas, 2016).

Tabela 3- Caracterização do efluente bruto quanto aos parâmetros de sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, sólidos suspensos, DQO, turbidez, pH, cor e nitrogênio amoniacal.

Parâmetro	Média	Desvio Padrão
Sólidos Totais (mg/L)	560,0	36,00
Sólidos Fixos (mg/L)	296,0	6,00
Sólidos Voláteis (mg/L)	264,0	42,00
Sólidos Suspensos (mg/L)	32,0	-
DQO (mg/L)	352,59	-
Turbidez (NTU)	73,4	0,76
pH	5,73	0,01
Cor (Pt-Co)	104,5	3,33
Nitrogênio Amoniacal (mgN/L)	5,6	0,00

Fonte: Elaborada pela autora

Devido às diversas substâncias, incluindo soluções ácidas, utilizadas nas etapas de pré-impressão, impressão e pós-impressão descritas no Quadro 2, o pH do efluente bruto possui característica mais ácida, porém está acima do pH mínimo 5 estabelecido pelo COEMA.

O teor de sólidos totais no efluente bruto, foi elevado e se dá pela presença dos insumos serigráficos (tinta pastosa e emulsão fotossensibilizante) na água de lavagem da tela. A presença desses sólidos causa também a elevação da turbidez do meio que, apresentou valor elevado ao previamente estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 de 40 NTU. Quanto ao teor de sólidos suspensos, o resultado obtido para o efluente bruto se dá devido ao uso de tinta pastosa serigráfica, que pode ocasionar a formação de flocos de tinta seca insolúveis no efluente.

A concentração de nitrogênio amoniacal, proveniente dos processos de descoloração, neutralização e amaciamento, no efluente bruto é inferior ao máximo estabelecido pela COEMA, indicando que não se faz necessário sistema de tratamento de nutrientes para melhoria do parâmetro em questão (Bezerra, Magalhães Filho e Cavalheri, 2017; Vargas, 2016).

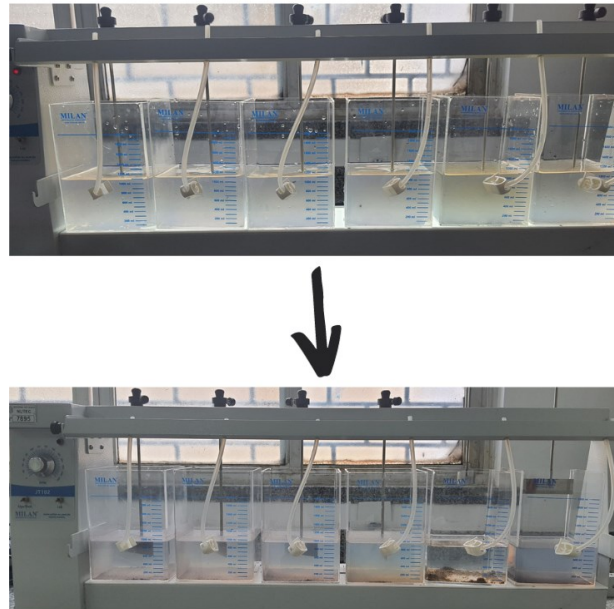
Em seu trabalho, Bezerra, Magalhães Filho e Cavalheri (2017) caracterizaram o efluente advindo da emulsão fotossensibilizante, um dos insumos da indústria serigráfica, e obtiveram resultados semelhantes aos do efluente bruto caracterizado, quanto aos parâmetros sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, sólidos suspensos, DQO, turbidez e pH. Entretanto, o efluente bruto possui maior acidez e difere quanto à proporção de sólidos fixos e voláteis, apresentando valores similares para ambos enquanto o efluente de emulsão fotossensibilizante apresenta teor de sólidos fixos bem superior ao de sólidos voláteis, indicando ineficiência de tratamento biológico, visto que o teor de sólidos fixos está relacionado com a presença de material inorgânico.

5.2 Teste de Jarros

Para determinar a dose ideal do coagulante, realizou-se o teste de jarros seguindo a metodologia descrita no tópico 4.5, utilizando a observação visual da redução da turbidez do efluente como parâmetro. Ao fim do ensaio, o volume adicionado das soluções de moringa oleífera que gerou o melhor resultado observado, foi de 80 mL para 1 litro de efluente para todas as soluções de moringa oleífera, mesmo valor que o encontrado por Mani *et al* (2019) para a solução de moringa oleífera a 2% (m/v). Já para o FeCl₃, 6 mL da solução foi o suficiente para se observar redução da turbidez. A Figura 6 ilustra o início do teste, sem

adição alguma de coagulante e o fim, após 80 mL de cada solução de moringa oleífera estudada e 6 mL do FeCl_3 , sendo possível observar a redução da turbidez do efluente.

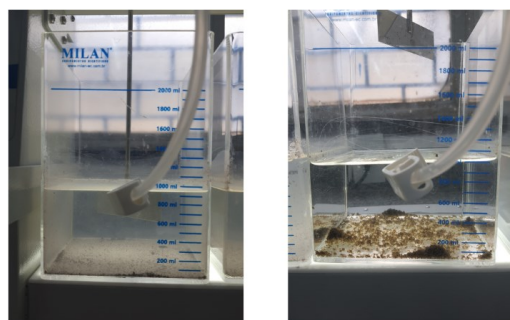
Figura 6- Sistema de *JarTest* antes da utilização das soluções coagulantes, e após o fim do tratamento.



Fonte: Elaborada pela autora

É possível observar na Figura 7, a diferença na geração de lodo ao utilizar as soluções de moringa oleífera e FeCl_3 como coagulantes. Segundo Lino *et al* (2020), o volume de lodo chega a ser de 4 a 5 vezes menor ao utilizar moringa oleífera. O lodo gerado pelo tratamento com FeCl_3 é facilmente perturbado, retornando a ficar suspenso no efluente, enquanto o lodo gerado pelas soluções do coagulante natural, formam um filme ao fundo do jarro, de forma a ficar mais fortemente aderido, como ilustrado pela Figura 7. Ao fim do tratamento, o lodo resultante da utilização das soluções coagulantes, se classifica como não perigoso e não inerte (Classe II A), segundo a Norma Brasileira ABNT NBR 10004:2004 e pode ser descartado em aterros sanitários.

Figura 7- Lodo gerado após tratamento com solução de moringa oleífera 1% (1) e FeCl_3 (2).



(1)

(2)

Fonte: Elaborada pela autora

Efluentes de indústrias têxteis, principalmente aqueles advindos do setor de estamparia, possuem composição variável, o que influencia na eficiência do coagulante utilizado para o tratamento, visto que a coagulação é um processo dependente da interação entre o coagulante e as substâncias químicas presentes nos efluentes e a floculação é dependente da etapa anterior (Mani *et al*, 2019; Silva *et al*, 2009; Azevedo *et al*, 2020).

Portanto, o maior volume das soluções do coagulante natural, é resultado da composição do efluente e da interação da proteína de alto peso molecular presente na semente de moringa oleífera, bem como fatores como pH e velocidade de agitação utilizadas durante o ensaio *JarTest* (Silva *et al*, 2009).

5.3 Resultados do Pós-tratamento

Após determinar volume ideal de coagulante utilizado no tratamento por meio do teste de jarros, os sobrenadantes dos jarros 1 a 5 foram retirados cuidadosamente com o auxílio de pipetas e transferidos para seus respectivos frascos. As mesmas análises realizadas para o efluente bruto foram feitas para os sobrenadantes, e os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados do efluente bruto e do efluente ao fim do *JarTest* para os parâmetros sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, sólidos suspensos, DQO, turbidez, pH, cor e nitrogênio amoniacal.

Parâmetro	Bruto	1%	1,50%	2,00%	2,50%	1% FeCl ₃
Sólidos Totais(mg/L)	560,0	388,0	356,0	424,0	452,0	404,0
Sólidos Fixos(mg/L)	296,0	252,0	248,0	272,0	296,0	264,0
Sólidos Voláteis(mg/L)	264,0	136,0	108,0	152,0	156,0	140,0
Sólidos Suspensos (mg/L)	32,0	2,0	14,0	4,0	10,0	10,0
DQO (mg/L)	352,59	195,16	204,71	144,01	205,42	55,24
Turbidez (NTU)	73,4	7,89	10,2	25,63	37,7	4,5
pH	5,73	5,26	5,36	5,48	5,44	5,53
Cor (Pt-Co)	104,5	39,65	49,2	75,35	100,3	17,2
Nitrogênio Amoniacal (mgN/L)	5,6	0	1,34	1,34	5,38	0

Fonte: Elaborada pela autora

Calculou-se a redução dos parâmetros analisados, obtida pelo tratamento com as soluções coagulantes, a partir da equação 7. Os dados quanto às reduções obtidas, em porcentagem, estão dispostos na Tabela 5.

$$\text{Redução (\%)} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \cdot 100 \quad (7)$$

Tabela 5- Redução, em porcentagem, do valor dos parâmetros analisados.

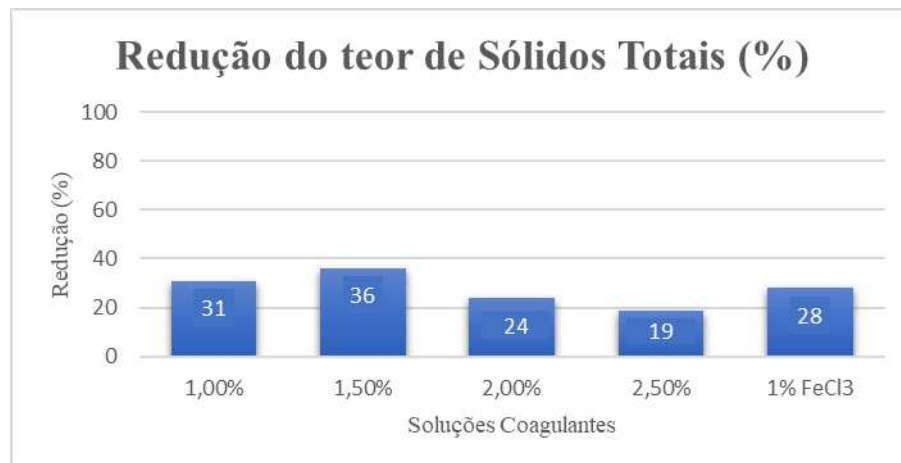
Parâmetros	1%	1,50%	2%	2,50%	1% FeCl ₃
Sólidos Totais (mg/L)	31	36	24	19	28
Sólidos Fixos (mg/L)	15	16	8	0	11
Sólidos Voláteis (mg/L)	48	59	42	41	47
Sólidos Suspensos (mg/L)	94	56	88	69	69
DQO (mg/L)	45	42	59	42	84
Turbidez (NTU)	89	86	65	49	94
Cor (Pt-Co)	62	53	28	4	84
Nitrogênio Amoniacal (mg N/L)	100	76	76	4	100

Fonte: Elaborada pela autora

5.3.1 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

O teor de sólidos totais no efluente, resultado da presença dos insumos serigráficos ao realizar a lavagem das telas, foi reduzido por todas as soluções de moringa oleífera após o tratamento, como mostrado na Figura 8.

Figura 8- Redução, em porcentagem, do teor de sólidos totais após tratamento.



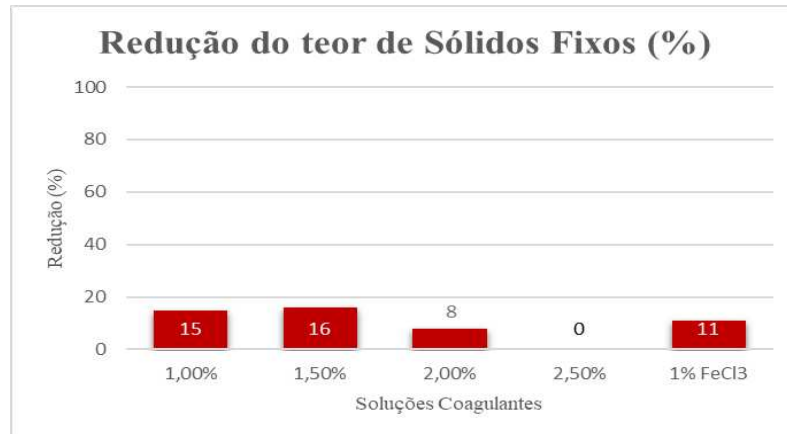
Fonte: Elaborada pela autora

As soluções de moringa oleífera que alcançaram as maiores porcentagens de redução, foram as de 1,0 e 1,5%, atingindo 31 e 36% de redução respectivamente, resultados superiores à do FeCl₃ que atingiu 28% de redução. Portanto, a substituição do coagulante químico pelo coagulante natural a partir da semente de moringa oleífera é viável em termos de eficiência da redução do teor de sólidos totais.

O teor de sólidos fixos está relacionado com a presença de compostos inorgânicos

no efluente, pois após submeter o efluente à temperatura de 550 °C, os compostos orgânicos são volatilizados, enquanto a maior parte dos compostos inorgânicos permanecem. O teor de sólidos fixos não foi reduzido significativamente com o tratamento realizado, como representado na Figura 9.

Figura 9- Redução, em porcentagem, do teor de sólidos fixos após tratamento.

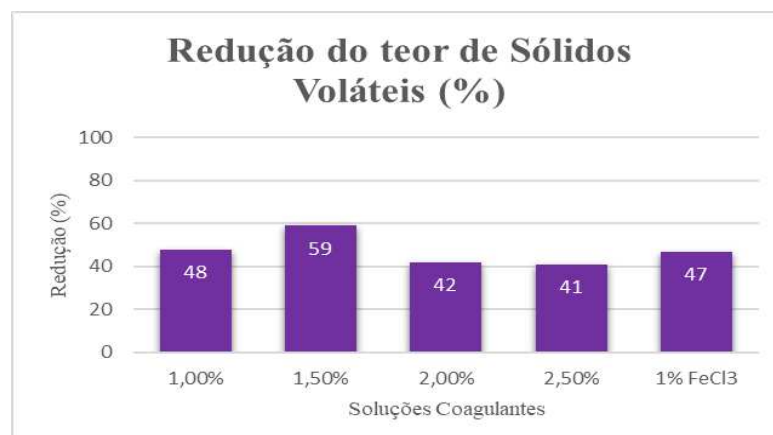


Fonte: Elaborada pela autora

As soluções de 1,0 e 1,5% de moringa oleífera obtiveram os melhores resultados para a redução do teor de sólidos fixos, atingindo 15 e 16%, respectivamente. Ambos os valores são superiores à redução obtida utilizando FeCl₃. Os valores baixos para a redução do parâmetro em questão, indica que o tratamento realizado não é eficiente para a redução do teor dos compostos inorgânicos presentes no efluente, porém o coagulante natural é mais eficiente do que o coagulante químico.

Dentre as reduções de sólidos totais, fixos e voláteis, o tratamento apresentou melhor resultado para a redução do teor de sólidos voláteis, relacionado ao teor de compostos orgânicos no efluente, ilustrado na Figura 10.

Figura 10- Redução, em porcentagem, do teor de sólidos voláteis após tratamento.



Fonte: Elaborada pela autora

O melhor resultado para a redução do teor de sólidos voláteis foi atingido pela solução de moringa oleífera 1,5%, seguido pela solução de moringa oleífera 1,0%. Ambas as soluções obtiveram resultado superior que o do coagulante químico FeCl_3 . Os valores obtidos indicam que o tratamento é mais eficiente para a redução de compostos orgânicos do que inorgânicos presentes no efluente de serigrafia (APHA, 2017).

5.3.2 Sólidos Suspensos

A presença de sólidos em suspensão se dá, pois, o processo serigráfico utiliza como insumo tinta na forma pastosa, que ao secar, forma flocos insolúveis no efluente. A presença de sólidos suspensos também pode ser resultado de restos de tecidos estampados pela técnica. O resultado obtido para a redução de sólidos suspensos está ilustrado na Figura 11.

O tratamento utilizado se provou ser altamente eficiente na remoção de sólidos suspensos. A solução de moringa oleífera 1,0% apresentou remoção de 94%, significativamente superior à atingida pelo coagulante químico. A discrepância entre os dois resultados, deve-se à formação de flocos mais densos durante o processo de coagulação floculação ao utilizar a solução de 1%, consequência de uma boa relação entre a dose de polímero presente na solução e o teor de sólidos suspensos da amostra, formando flocos que não se quebram com agitação moderada (Silva *et al*, 2009).

Figura 11- Redução, em porcentagem, do teor de sólidos voláteis após tratamento.



Fonte: Elaborada pela autora

A formação de lodo dificilmente perturbado por agitação, resultado da utilização das soluções de coagulantes natural, levou à maior eficiência da redução desse parâmetro, visto que houve a formação de um filme no fundo dos jarros, como observado na Figura 7.

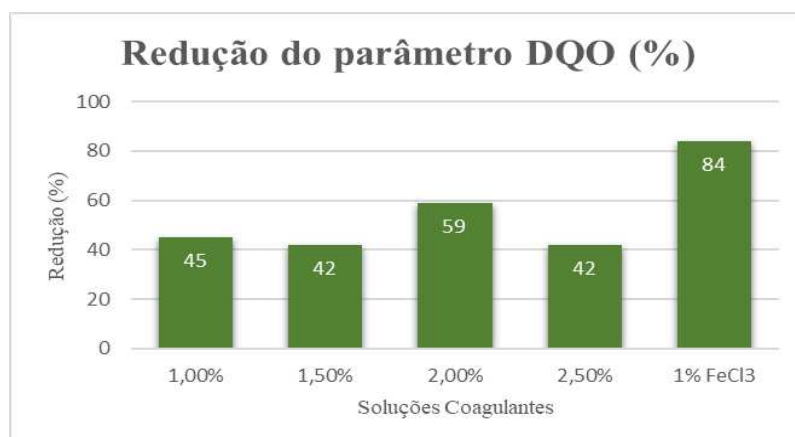
A solução de moringa oleífera na concentração de 2,0% apresentou redução de 88%, superior ao valor encontrado por Mani *et al* para a mesma concentração.

5.3.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os resultados para DQO, apresentados na Tabela 4, mostram que, apenas as soluções de moringa oleífera de 1,0 e 2,0% foram eficientes em reduzir o valor o suficiente para que o parâmetro se encaixe na COEMA (Tabela 1), porém inferiores ao valor de 79,34% obtido por Mani *et al* (2019). A Figura 12 mostra a eficiência de redução desse parâmetro de todas as soluções coagulantes utilizadas.

Apesar de tanto componentes orgânicos quanto inorgânicos possam ser oxidados durante a análise, é comum a predominância da oxidação dos compostos orgânicos, fazendo com que a DQO seja utilizada para determinação destes.

Figura 12- Redução, em porcentagem, da DQO após tratamento.



Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados apresentados mostram que, para essa análise, o coagulante químico é significativamente mais eficiente para a redução da DQO, e, conseqüentemente, dos compostos orgânicos presentes. (APHA, 2017).

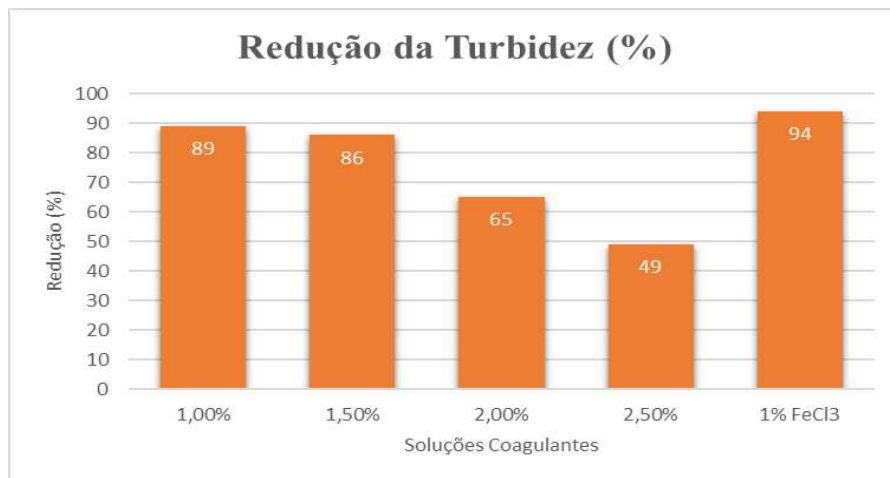
5.3.4 Turbidez

A presença de sólidos totais e em suspensão no efluente resulta na diminuição da passagem de luz solar, levando ao aumento da turbidez de efluentes, parâmetro que, assim como a cor, afeta o metabolismo de espécies aquáticas.

Devido à sua proteína catiônica de alto peso molecular, a semente de moringa oleífera possui eficiência na redução da turbidez, como observado pela redução atingida no efluente tratado, ilustrado na Figura 13, apresentando resultado altamente satisfatório. O resultado máximo obtido com solução de moringa oleífera, foi de 89% de redução da

turbidez, valor superior ao máximo de 82,10% encontrado por Mani *et al* (2019).

Figura 13- Redução, em porcentagem, da turbidez após tratamento.



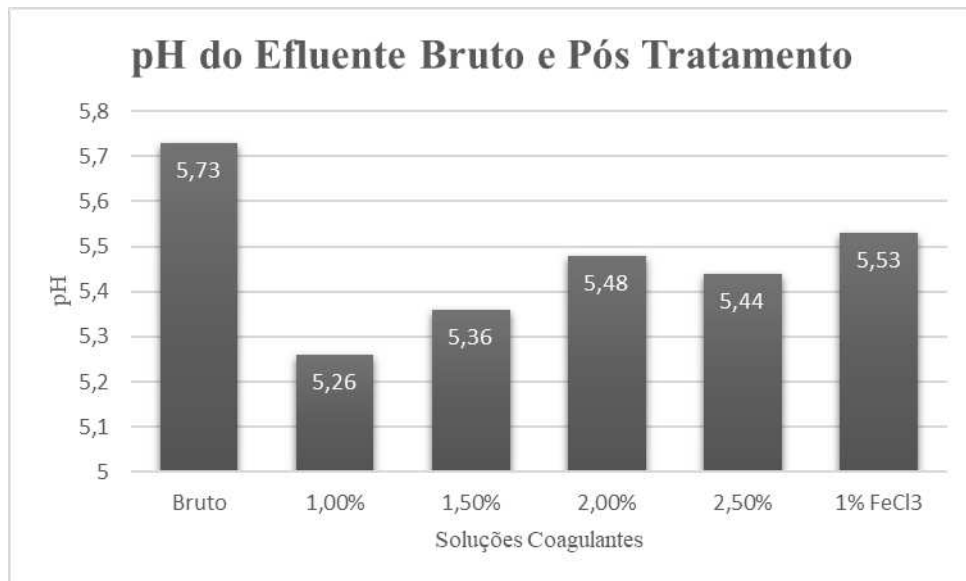
Fonte: Elaborada pela autora

Apesar da maior porcentagem de redução ter sido atingida pelo coagulante químico, as soluções de moringa oleífera nas concentrações de 1,0 e 1,5% apresentaram alta eficiência. É possível observar que, com o aumento da concentração de moringa oleífera na solução, houve redução na eficiência do tratamento quanto à turbidez. Tal fenômeno é resultado do excesso na concentração de polímero, que leva à turvação do efluente, devido à desestabilização dos flocos previamente formados. Sendo assim, para a composição inicial do efluente, a concentração de 1,0% de moringa oleífera apresenta a dose ideal para a redução da turbidez (Vargas *et al*, 2016).

5.3.5 pH

Dentre diversos fatores, configura-se como desvantagem da utilização de coagulantes químicos, a maior alteração do pH do efluente. O efluente bruto caracterizado apresentou pH igual a 5,73, e, ao ser tratado com 6 mL de FeCl₃, o pH foi reduzido à 5,53. As soluções de moringa oleífera, causaram uma maior redução no valor do pH, como é possível observar na Tabela 5, porém, o volume utilizado dessas soluções coagulantes foi de 80 mL. Portanto, devido à diferença dos volumes utilizados e a alteração no pH causada, é possível concluir que o coagulante natural altera em menor intensidade o pH do efluente tratado. Os valores encontrados estão ilustrados na Figura 14 (Mani *et al*, 2019).

Figura 14- Valores do pH do efluente bruto e após tratamento com as soluções coagulantes.



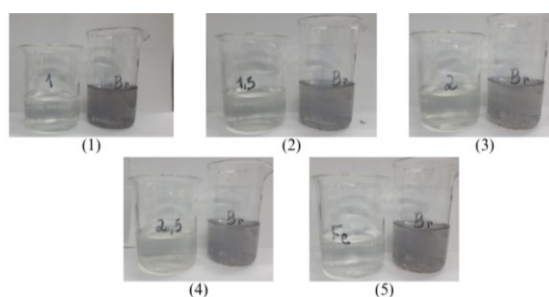
Fonte: Elaborada pela autora

Apesar das reduções no pH do efluente, o tratamento realizado com todas as soluções coagulantes não fez com que o parâmetro deixasse de atender o valor mínimo de pH igual a 5 estabelecido pelo COEMA, configurando o tratamento com as soluções de moringa oleífera como viável para a redução da turbidez.

5.3.6 Cor

A cor, característica gerada pela utilização de tintas serigráficas altamente solúveis em água e que podem possuir corantes ou pigmentos em sua composição, responsável por impactos negativos no metabolismo de seres aquáticos, é considerada o parâmetro mais notório dos efluentes de serigrafia e apresenta intensidade e coloração variadas devido aos diferentes insumos utilizados. O tratamento com as soluções coagulantes de moringa oleífera, apresentaram bons resultados para a análise quantitativa e qualitativa da cor aparente. A melhora desse parâmetro no aspecto visual, pode ser observada a partir da Figura 15.

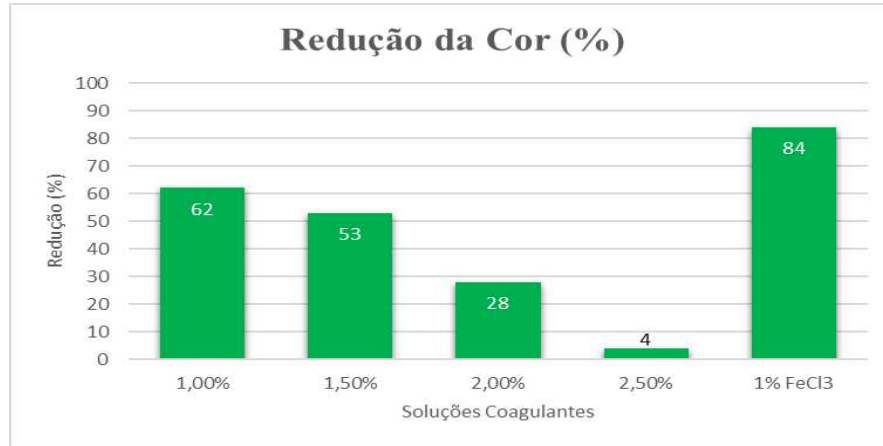
Figura 15- Comparação visual do efluente bruto e após tratamento com as soluções de 1,0% (1), 1,5% (2), 2,0% (3), 2,5% (4) e FeCl₃ (5).



Fonte: Elaborada pela autora

Quanto a análise quantitativa, a solução que reduziu mais significativamente a cor do efluente foi a de FeCl_3 , porém a solução de moringa oleífera na concentração de 1,0% apresentou resultado satisfatório acima de 50%, sendo suficiente para que, visualmente, a cor aparente seja ausente como exigido pelo COEMA.

Figura 16- Redução, em porcentagem, da cor do efluente após tratamento.



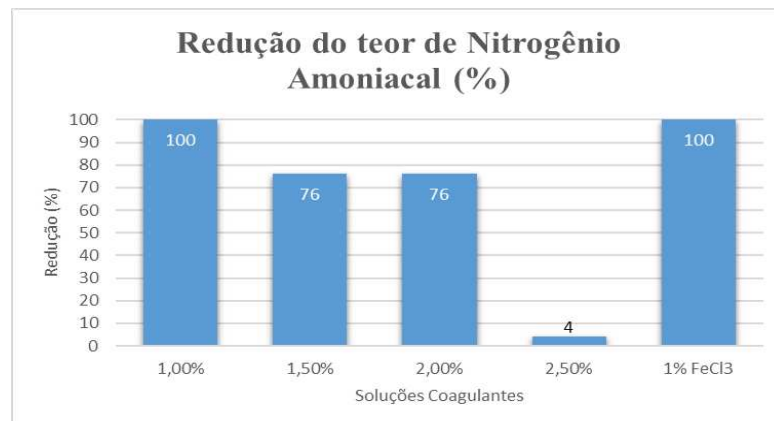
Fonte: Elaborada pela autora

5.3.7 Nitrogênio Amoniacal

O maior volume de efluente serigráfico gerado, se dá pela lavagem das telas utilizadas, porém, o teor de nitrogênio amoniacal está relacionado com as etapas de descoloração, neutralização e amaciamento, levando ao baixo teor desse parâmetro no efluente analisado.

A redução da concentração de nitrogênio amoniacal atingiu 100% com a utilização da solução coagulante de 1,0% de moringa oleífera e do coagulante químico FeCl_3 , como apresentado na Figura 17.

Figura 17- Redução, em porcentagem, da concentração de nitrogênio amoniacal do efluente após tratamento.



Fonte: Elaborada pela autora

As demais soluções de moringa oleífera, com exceção da concentração 2,5% apresentaram boa remoção, de forma que, ao utilizar a concentração de 1,0% de moringa oleífera, é possível substituir o coagulante químico pelo coagulante natural.

6 CONCLUSÃO

O efluente bruto caracterizado não atendeu os valores estabelecidos pelo Artigo 4, da Resolução COEMA nº02 quanto aos parâmetros DQO e cor, e apresentou alto teor de sólidos totais e elevada turbidez, impossibilitando seu descarte direto em corpo hídrico, porém, o tratamento com as soluções de moringa oleífera, resultou na redução de todos os parâmetros analisados, obtendo resultados superiores à redução utilizando o coagulante químico FeCl_3 em determinados parâmetros. Quanto à redução no valor de pH do efluente bruto após o tratamento, foi mais significativa utilizando a solução do coagulante químico, visto que, o volume utilizado de cada solução de moringa oleífera foi superior ao volume utilizado do coagulante químico, e o pequeno volume de FeCl_3 foi suficiente para ser observada maior alteração no pH. Ao observar todos os parâmetros analisados, a solução de coagulante natural ideal para o tratamento do efluente de serigrafia é a de 1,0%, que reduziu todos os parâmetros e foi suficiente para que o efluente se enquadre dentro dos valores permitidos pelo COEMA, permitindo o descarte do efluente tratado em corpo hídrico. Portanto, a substituição do coagulante químico pelo coagulante natural, é viável devido aos valores satisfatórios obtidos para a redução dos parâmetros analisados, e devido ao aspecto sustentável da utilização da moringa oleífera como coagulante.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23^a ed. Washington, D.C.: APHA, 2017.
- Associação Brasileira de Indústria Têxtil e Confecção (ABIT). **Perfil do Setor**. ABIT, janeiro de 2023. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em 03 de dezembro de 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10004: **Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro/RJ.
- AZANAW, Aklilu et al. **Textile effluent treatment methods and eco-friendly resolution of textile wastewater. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, p. 100230, 2022.
- AZEVEDO, Paulo Gabriel Ferreira de; OLIVEIRA, Débora Carvalho da Silva; CAVALCANTI, Luiz Antonio Pimentel. **Processos físicos e químicos para o tratamento de efluentes: uma revisão integrativa**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 7, n. 17, p. 1667-1678, 2020.
- BARBOSA, D. de O.; WITTMANN, G. C. P.; LUZ, M. C. P. N. **Guia técnico ambiental da indústria gráfica**. São Paulo, 2009.
- BENETTAYEB, Asmaa et al. **A critical review with emphasis on recent pieces of evidence of Moringa oleifera biosorption in water and wastewater treatment**. Environmental Science and Pollution Research, v. 29, n. 32, p. 48185-48209, 2022.
- BEZERRA, Allan Rios; MAGALHÃES FILHO, Fernando Jorge Correa; CAVALHERI, Priscila Sabioni. **II-576–TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL PARA SERIGRAFIA DE PEQUENO PORTE**. 2017

BRASIL. **Resolução COEMA nº2, de 02 de fevereiro de 2017.** Publicada no Diário Oficial do Estado Série 3 Ano IX nº037 em 21 de fevereiro de 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.** Publicada no Diário Oficial nº 92 em 16 de maio de 2011.

CARVALHO, Nathalia Alborghetti. **Design de superfície: estudo comparativo de processos de estamparia têxtil sob enfoque ambiental.** 2016.

CUNHA, Ana Luíza Xavier et al. **Tratamento físico-químicos de efluente têxtil utilizando Sulfato de Alumínio, Carvão Ativado e Moringa Oleifera.** Revista Geama, v. 5, n. 3, p. 47-55, 2019.

EL GAAYDA, Jamila et al. **Optimization of turbidity and dye removal from synthetic wastewater using response surface methodology: Effectiveness of Moringa oleifera seed powder as a green coagulant.** Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 10, n. 1, p. 106988, 2022.

GONÇALVES, Igor Luz; DE MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins; OLIVEIRA, Cassiano Rodrigues. **Análise comparativa dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico no processo de clarificação de água residuária têxtil.** Comparative analysis of the aluminum sulfate and ferric chloride coagulants in the textile wastewater clarification process. *Análise*, v. 1, n. 1. 2021.

ISHAK, Siti Aisyah et al. **The application of modified natural polymers in toxicant dye compounds wastewater: A review.** *Water*, v. 12, n. 7, p. 2032, 2020.

LINO, Monalisa Meneses et al. **ESTUDO PRELIMINAR SOBRE O USO DA SEMENTE DE MORINGA OLEÍFERA COMO COAGULANTE ORGÂNICO.** 2020.

MANI, A. et al. **A study on treatment of industrial effluent (dyeing) using Moringa oleifera, Tamarina indica as coagulants.** International Journal of Civil Engineering and Technology, v. 10, n. 1, p. 2796-2811, 2019.

SILVA, Camilla Thomaz da; LIMA, Cintia da Silva; SILVA, Daniela de França da. **Estudo da tratabilidade de efluente de estamparia**. 2009.

TONIOLLO, Michele; ZANCAN, Natália Piva; WÜST, Caroline. **Indústria têxtil: Sustentabilidade, impactos e minimização**. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre. 2015. p. 23-26.

VARGAS, Jacqueline Souza de. **Desenvolvimento de um processo de coagulação-floculação em uma estação de tratamento de efluente de serigrafia**. 2016

WAGH, Manoj Pandurang; AHER, Yashwant; MANDALIK, Anit. **Potential of moringa oleifera seed as a natural adsorbent for wastewater treatment**. Trends in Sciences, v. 19, n. 2, p. 2019-2019, 2022.