

Aplicação da semente de moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante natural no tratamento de efluente de uma indústria de tintas no Ceará

Application of moringa seed (Moringa oleífera) as a natural coagulant in the effluent treatment of a paint industry in Ceará

Aplicación de la semilla de moringa (Moringa oleífera) como coagulante natural en el tratamiento del efluente de una industria de tintas en Ceará

Moringa oleífera seed as natural coagulant for wastewater treatment from Ceará

Giuliana Buzelli Santana 
giu.buzelli@gmail.com
Centro Universitário UniFanor
Wyden - UniFanor Wyden

Diana Colares Nóbrega 
nobrega.c.d@gmail.com
Centro Universitário UniFanor
Wyden - UniFanor Wyden

Julienne Oliveira Tomé 
julienetoliveira@gmail.com
Universidade Federal do
Ceará - UFC

Igor Alves Martins 
ialves178@gmail.com
Universidade Federal do
Ceará - UFC

Ronaldo Ferreira Nascimento 
ronado@ufc.br
Universidade Federal do
Ceará - UFC

Carla Bastos Vidal 
carlab.vidal@gmail.com
Centro Universitário UniFanor
Wyden - UniFanor Wyden

Resumo

As águas residuais de plantas têxteis e fabricação de tinta têm despertado grande interesse na comunidade científica por serem os maiores consumidores de água e produtos químicos em seus processos. O uso contínuo de coagulantes químicos no tratamento dessas águas e efluentes tem causado impacto não só ao meio ambiente em geral, como também à saúde pública. Diante dessa problemática, tem-se estudado alternativas menos agressivas, como o emprego de coagulantes de origem vegetal ou mineral. A semente de *Moringa oleífera*, além de poder ser utilizada como coagulante no tratamento de águas, também exerce propriedades adsorptivas no tratamento de coagulação-floculação de águas industriais, aumentando, assim, o poder de remoção de diversas classes de poluentes. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho e viabilidade da aplicação da semente de *Moringa oleífera* como agente coagulador-floculador no tratamento do efluente de uma indústria de tintas. Para a realização dos experimentos, o efluente industrial foi coletado diretamente do reservatório da fábrica e utilizado sem pré-tratamento. Para aperfeiçoar as variáveis que atuam na eficiência do tratamento, foi utilizado como ferramenta o planejamento experimental. Foram variados três fatores: pH, massa do coagulante e velocidade de agitação da etapa de floculação e, para analisar a significância de cada efeito, foram gerados os diagramas de Pareto. De acordo com o programa estatístico utilizado, as condições ótimas de operação, as quais minimizam os valores de cor e COT (Carbono Orgânico Total), foram: pH 3; agitação 3 e concentração de moringa de 15 g/L. Para os parâmetros condutividade e turbidez, as condições ótimas de operação, as quais minimizam os valores de cor e COT, foram: pH 9; agitação 7 e concentração de moringa de 5 g/L. Entretanto os fatores estatisticamente significativos foram o pH 9 para o parâmetro condutividade e o fator de concentração do coagulante de 15 g/L para o parâmetro turbidez. Em termos de eficiência de remoção, observou-se que, para todos os experimentos, a eficiência de remoção de cor e turbidez ficou acima de 97%. Já a eficiência de remoção de COT nos diferentes testes variou de 32 a 46%. Foi possível concluir que a semente de *Moringa oleífera* foi eficiente como agente clarificador de efluentes de alta complexidade, sendo uma alternativa sustentável e economicamente viável devido à facilidade de seu cultivo em regiões áridas e tropicais.

Palavras-chave: Coagulante natural. *Moringa oleífera*. Efluente industrial. Tratamento de efluentes. Coagulação. Adsorção. Planejamento fatorial.

Abstract

The wastewater from textile plants and ink factories has fostered a great interest in the scientific community for being the greatest water and chemicals consumers in their processes. The continuous use of chemical coagulants for treating both water and wastewater has caused impacts not only to the environment but also to the general public health. Consequently, less damaging alternatives, such as the use of vegetal or mineral coagulants, have been studied to deal with this problematic. The seed from the *Moringa oleifera* plant, besides being able to be used as a coagulant in water treatment, can also serve as an adsorbent in the coagulation-flocculation treatment from industrial wastewater as a means of removing various classes of pollutants. This research aimed to evaluate the performance and the feasibility of the application of the *Moringa oleifera* seed as a coagulant-flocculent in the ink producing industry effluent treatment. To conduct the experiments, the industrial effluent was collected directly from the industry reservoir and used without any pre-treatment. To optimize the variables that influence the treatment efficiency the experimental planning was used as a tool. Three factors have been varied: pH, coagulant mass and agitation speed during the flocculation step. To analyze the significance of each effect, Pareto charts were generated. According to the statistical program utilized, the optimal operating conditions, which minimize the values of color and TOC (total organic carbon) was pH 3; agitation 3 and Moringa concentration of 15g/L. For the conductivity and turbidity parameters, the optimal operating conditions were pH 9, agitation 7 and Moringa concentration of 5g/L. However, the statistically significant factors were pH 9 for the conductivity parameter and the coagulant concentration factor of 15g/L for turbidity. In terms of removal efficiency, it has been observed that for all experiments the efficiency of removal of color and turbidity was above 97%. As for the TOC removal efficiency, it varied from 32 to 46%. It was possible to conclude that the Moringa seed was an efficient and clarification agent of high complexity wastewater, making it a sustainable and economically viable alternative due to its easy cultivation in tropical and arid areas.

Keywords: Natural coagulant. *Moringa oleifera*. Industrial wastewater. Effluent treatment. Coagulation. Adsorption. Factorial design.

Resumen

Las aguas residuales de plantas textiles y fabricación de tinta despierta gran interés en la comunidad científica porque son los mayores consumidores de agua y productos químicos en sus procesos. El uso continuo de coagulantes químicos en el tratamiento de este agua y efluentes está causando impactos no solo al medio ambiente en general, pero a la salud pública que, ante esta problemática, se está estudiando alternativas menos agresivas, como el empleo de coagulantes de origen vegetal o mineral. La semilla de Moringa oleifera, además de poder ser utilizada como coagulante en el tratamiento de aguas, también ejerce propiedades de adsorción en el tratamiento de coagulación-floculación de aguas industriales, aumentando, así, el poder de remoción de diversas clases de contaminantes. Esta investigación tuvo el objetivo de evaluar el rendimiento y viabilidad de la aplicación de la semilla de Moringa oleifera como agente coagulador-floculador en el tratamiento de efluente de una industria de tintas. Para la realización de los experimentos, el efluente industrial fue colectado directamente del embalse del taller y utilizado sin tratamiento anticipado. Para optimizar las variables que actúan en la eficiencia del tratamiento, se utilizó como herramienta la planificación experimental. Fueron variados tres factores: pH, masa del coagulante y velocidad de agitación de la fase de floculación. Para analizar la significancia de cada efecto fueron generados gráficos de Pareto. De acuerdo con el programa estadístico utilizado, las condiciones óptimas de operación, las cuales minimizan los valores de color Y COT (Carbono Orgánico Total) fueron: pH 3; agitación 3 y concentración de moringa 15g/L. Para los parámetros de conductibilidad y turbidez, las condiciones óptimas de operación, las cuales minimizan los valores de color y COT, fueron: pH 9; agitación 7 y concentración de moringa 5g/L. Sin embargo, los factores que fueron estadísticamente significativos fueron Ph 9 para el parámetro de conductibilidad y el factor concentración del coagulante

15g/L para el parámetro turbidez. En cuestiones de eficiencia de remoción, se observo que para todos los experimentos, la eficiencia de remoción de color y turbidez quedó más de 97%. Ya la eficiencia de remoción de COT en los distintos testes fluctuó de 32 a 46%. Fue posible concluir que la semilla de Moringa fue eficiente como agente clarificador de efluentes de alta complejidad, tornándola una alternativa sostenible y económicamente viable debido a facilidad de su cultura en regiones áridas y tropicales.

Palabras-clave: Coagulante natural. Moringa oleífera. Efluente industrial. Tratamiento de efluentes. Coagulación. Adsorción. Planificación factorial.

Résumé

Les eaux usées des usines textiles et de la fabrication de peintures ont suscité un grand intérêt dans la communauté scientifique, car ce sont les plus gros consommateurs d'eau et de produits chimiques pendant leurs processus. L'utilisation continue de coagulants chimiques dans le traitement de ces eaux et effluents a eu des effets non seulement sur l'environnement en général, mais aussi sur la santé publique. Devant ce problème, des alternatives moins agressives ont été étudiées, telles que l'utilisation de coagulants d'origine végétal ou minéral. En plus de pouvoir être utilisée comme coagulant dans le traitement de l'eau, la semente de Moringa à huile a également des propriétés d'absorption dans le traitement de coagulation-floculation des eaux industrielles, ce qui fait augmenter le pouvoir d'élimination de plusieurs classes de polluants. L'objectif de la présente recherche a été d'évaluer la performance et la viabilité de l'application de la semente de Moringa à huile comme agent coagulateur-floculant dans le traitement des effluents d'une industrie de peinture. Pour les expériences, l'effluent industriel a été collecté directement du réservoir de l'usine et utilisé sans prétraitement. Pour optimiser les variables qui agissent sur l'efficacité du traitement, le plan expérimental a été utilisé comme outil. Trois facteurs variaient : le pH, la masse coagulante et la vitesse d'agitation de l'étape de floculation. Pour analyser la signification de chaque effet, des diagrammes de Pareto ont été générés. Selon le programme statistique utilisé, les conditions optimales de fonctionnement, qui minimisent la couleur et les valeurs de COT (Carbone Organique Total) étaient : pH 3 ; agitation 3 et concentration de moringa 15 g / L. Pour les paramètres de conductivité et de turbidité, les conditions optimales de fonctionnement, qui minimisent la couleur et les valeurs de COT, étaient : pH 9 ; agitation 7 et concentration de moringa 5 g / L. Néanmoins, les facteurs statistiquement significatifs ont été le pH 9 pour le paramètre de conductivité et le facteur de concentration de coagulant 15 g / L pour le paramètre de turbidité. En ce qui concerne d'efficacité de suppression, il a été observé que pour toutes les expériences, l'efficacité de suppression de la couleur et de la turbidité a été supérieure à 97%. L'efficacité de suppression du COT dans les différents tests a varié de 32 à 46%. Il a été possible de conclure que la semente de Moringa a été efficace comme agent clarifiant des effluents de haute complexité, ce qui en fait une alternative durable et économiquement viable en raison de sa culture facile dans les régions arides et tropicales.

Mots-clés: Coagulant naturel. Moringa à l'huile. Effluent industriel. Traitement des effluents. Coagulation. Adsorption. Planification factorielle.

1 Introdução

A contaminação química da água a partir de uma ampla gama de poluentes orgânicos e inorgânicos, tais como metais tóxicos, BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos), HPA's (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos), ânions, entre outros, desencadeou a necessidade de desenvolver tecnologias no intuito de remover esses poluentes encontrados em resíduos líquidos e gasosos antes do descarte final (VIDAL *et al.*, 2014).

As águas residuais de plantas têxteis e de fabricação de tinta têm despertado grande interesse na comunidade científica, uma vez que essas indústrias consomem elevada quantidade de água e produtos químicos em seus processos, provocando modificações em sua qualidade. Além disso, essas águas residuais apresentam elevada coloração, turbidez, odor forte e cargas elevadas de substâncias químicas orgânicas e tóxicas, tais como agentes tensoativos, bactericidas, óleos, solventes e agentes conservantes (VERMA *et al.*, 2012 *apud* SILVA, 2016).

A indústria de tintas pode também ser classificada como um ramo industrial que consome água no processo industrial, uma vez que as tintas são produtos fundamentais na fabricação de veículos automotivos, bicicletas, capacetes, móveis, brinquedos, eletrodomésticos, vestuário, equipamentos, artesanatos, impressão e serigrafia, e na construção civil, estimando-se um volume anual de 1,4 bilhão de litros do produto gerado (ABRAFATI, 2017).

O processo de fabricação de tintas envolve operações unitárias e processos químicos que geram um volume considerável de efluente a ser tratado ao final do processo, sendo seus efluentes conhecidos por apresentarem alta concentração dos mais diversos pigmentos, conferindo aos efluentes altos valores de cor e matéria orgânica, além de resíduos de produtos mais agressivos ao meio ambiente, como solvente orgânicos (NASCIMENTO, 2013; PIVELI; KATO 2005).

O uso contínuo de coagulantes químicos no tratamento de água e efluentes tem causado impacto não só ao meio ambiente em geral, como também à saúde pública. Diante dessa problemática, tem-se estudado alternativas menos agressivas, como o emprego de coagulantes de origem vegetal ou mineral. O maior problema relacionado ao uso de coagulantes químicos a base de alumínio é seu resíduo, que pode estar presente no efluente tratado e que, em concentrações superiores a 200 µg/L, pode causar a doença de Alzheimer (BHATTI, *et al.*, 2009 *apud* SILVA, 2016).

Os sais de alumínio e ferro são os mais comumente usados como coagulantes químicos e agem de forma a desestabilizarem as cargas dos colóides presentes na água. Embora tenham o custo-benefício mais vantajoso dentre as alternativas disponíveis, a disposição do lodo gerado é seu maior problema (PAVANELLI, 2001; PIVELI; KATO, 2005).

Para a atenuação da poluição causada pelos despejos de águas residuárias em corpos hídricos receptores, pesquisas investigaram a eficiência de tratamento de águas servidas utilizando o extrato da semente da *M. oleífera* como agente coagulante (LIMA, 2015).

Segundo Ribeiro (2010), a semente pode ser utilizada não só como coagulante no tratamento de águas, mas também como adsorvente no tratamento de coagulação-floculação de águas industriais a fim de remover diversas classes de poluentes, tais como metais pesados, BTEX e isopropilbenzeno.

Com base no exposto, o presente trabalho propõe testar a semente de *M. oleífera* como uma alternativa viável, tanto economicamente quanto ambientalmente, para o processo de clarificação (coagulação-floculação-sedimentação) do efluente de uma indústria de tintas.

2 Metodologia

2.1.1 Efluente bruto

As águas residuais da fábrica de tintas industriais, localizada no município de Maranguape – CE, foram coletadas diretamente do reservatório da fábrica, armazenadas em garrafa de 5L à temperatura ambiente Fig.1 e utilizadas sem pré-tratamento.

Figura 1 – Efluente final do processo industrial.



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

2.1.2 Preparo do coagulante natural

Os frutos das sementes de moringa foram coletados na região do município do Eusébio, Região Metropolitana de Fortaleza/CE.

A metodologia adaptada de Soriani (2015) foi utilizada para preparo das sementes, que foram descascadas e processadas em um miniprocessador, modelo HC31, da Black&Decker®, garantindo que as sementes fossem trituradas de forma a agirem com eficiência na redução de turbidez e da cor aparente.

Foi processada a quantidade de sementes necessária para a realização de todos os testes, sendo o pó resultante do processamento foi peneirado com granulometria de 48 a 60 mesh e utilizado sem nenhum pré-tratamento Fig. 2 (ARANTES, 2010; FRANCO, 2010 *apud* SORIANI, 2015).

Figura 2 - Semente da moringa com casca, descascada e em pó (da esquerda para a direita).



Fonte: Autores (2020)

2.2 Ensaios em escala bancada

2.2.1 Planejamento fatorial

Para o planejamento fatorial foi utilizado o software Statgraphics Centurion da StatPoint Technologies Inc, consistindo de 8 + 2 (pontos centrais). Os experimentos foram realizados em monoplicata e os pontos centrais, em triplicata.

A fim de determinar os fatores que influenciaram nos testes de coagulação e investigar a variação dos efeitos dos vários parâmetros, o planejamento fatorial completo foi escolhido para este trabalho.

Foram variados três fatores: pH, massa do coagulante e velocidade de agitação da etapa de floculação em dois níveis e ponto central, como ilustrado na Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) foi realizada a fim de determinar significâncias ($p < 0.05$) entre os tratamentos aplicados.

Tabela 1 - Faixa experimental e níveis dos fatores estudados no planejamento fatorial.

Fatores	Símbolo	Níveis		
		-1	0	+1
Agitação	A	3	5	7
Concentração do coagulante (g L ⁻¹)	B	5	10	15
pH	C	3	6	9

Fonte: Autores (2020)

Para a realização dos experimentos, o coagulante foi pesado em uma balança analítica M214Ai - BEL Engineering® e com uma espátula adicionou-se aos poucos o coagulante, até atingir a massa desejada. Após pesados, foram transferidos para beakers, cada um contendo 200 mL do efluente. Como os experimentos exigem condições de pH distintas, foram utilizadas soluções de NaOH (hidróxido de sódio) e HCl (ácido clorídrico) para ajuste de pH. Em seguida, os beakers foram levados para os agitadores magnéticos, modelo 752a da Fisatom, e submetidos aos processos de coagulação (agitação rápida) por 2 minutos, floculação (agitação lenta) por 15 minutos e sedimentação por 30 min.

Após o processo de coagulação-floculação-sedimentação, filtrou-se os efluentes tratados com a semente de moringa com papel filtro para remover o lodo gerado no processo.

Na Tabela 2 estão detalhadas as condições dos experimentos gerados pelo programa estatístico.

Tabela 2 - Faixa experimental e níveis dos fatores estudados no planejamento fatorial.

Exp.	Agitação	Conc. coag. (g/L)	pH (Inicial)
1	7,0	5,0	9,0
2	7,0	15,0	3,0
3	3,0	15,0	3,0
4	5,0	10,0	6,0
5	5,0	10,0	6,0
6	3,0	5,0	9,0
7	3,0	5,0	3,0
8	7,0	5,0	3,0
9	7,0	15,0	9,0
10	3,0	15,0	9,0

Fonte: Autores (2019)

Os resultados das variáveis (pH, agitação, e massa do coagulante) obtidos no planejamento fatorial foram fixados para os testes de comparação com sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃), conforme a Tab. 3.

Tabela 3 - Faixa experimental e níveis dos fatores escolhidos para o teste comparativo.

Exp.	Agitação	Conc. coag. (g/L)	Coagulante	pH (Inicial)
I	3,0	15,0	Al ₂ (SO ₄) ₃	6,0
II	3,0	(7,5 + 7,5)	Moringa + Al ₂ (SO ₄) ₃	9,0

Fonte: Autores (2020)

A agitação em rpm (rotação por minuto) era ajustada no próprio agitador magnético modelo 752A da Fisatom, o qual poderia ser fixado entre os números de 1 a 11 (valores fixos do agitador pré-determinado pelo fabricante), que correspondem, segundo manual do equipamento, aos valores de 100 a 1800 rpm.

2.3 Parâmetros físico-químicos

Para todos os níveis dos fatores estudados no planejamento fatorial, assim como no efluente bruto, verificaram-se os parâmetros de: pH, turbidez, cor, condutividade elétrica e COT (Carbono Orgânico Total), de acordo com métodos detalhados na Tab. 4.

Tabela 4 - Parâmetros analisados e equipamentos.

Parâmetro	Equipamento/Modelo
pH	Hanna edge® HI 2002-02
Condutividade elétrica	Hanna edge® HI 2003
Turbidez	Hanna HI93703
Cor	DM-COR Digimed
COT	Shimatzu TOC-L

Fonte: Autores (2020)

As análises dos parâmetros selecionados acima, antes e depois dos tratamentos com a moringa, nos possibilita comparar quais, de acordo com a redução desses parâmetros, foi mais eficiente no tratamento.

3 Resultados e discussão

O efluente apresentou uma cor azulada muito forte, conforme pode ser visualizado na Figura 1, e os resultados dos parâmetros analisados estão descritos na Tab. 5.

Tabela 5 - Resultados dos parâmetros estudados para o efluente industrial antes dos testes.

Parâmetro	Unidade	Valores
pH		6,3
Condutividade elétrica	µS/cm	912
Cor	mgPt-Co/L	43200
Turbidez	uT	32800
COT	mg/L	44940

Fonte: Autores (2020)

Podemos observar altos valores de turbidez, isso é devido, provavelmente, à alta concentração de solventes e sólidos suspensos, geralmente coloridos presentes nesse tipo de efluentes. Além disso, os pigmentos contidos nesses efluentes possuem íons de metais pesados, além de compostos orgânicos, em especial os BTEX e MIBK (Methyl Isobutyl Ketone – Metil isobutil cetona), contido nos solventes utilizados em diluentes e tñneres (mistura de solventes, utilizado em tintas para afinar, dar aplicabilidade, alastramento da tinta, dentre

outras propriedades) das resinas e tintas, também responsáveis pelo odor característicos desses efluentes e difícil biodegradabilidade. Os tineres são uma combinação de solventes, utilizados para diluir ou afinar tintas (KÜRLZER *et al.*, 2016; SORIANIIMENTO, 2013).

De acordo com Piveli e Kato (2005), os efluentes provenientes de industriais de tintas são difíceis de tratar por processos coagulativos tradicionais devido à elevada cor e baixa turbidez, e à ausência de partículas maiores (superiores a 1,2 µm), que possibilitem a ocorrência de nucleação, tornando-os pequenos e de baixa velocidade de sedimentação. Entretanto, no presente efluente, podem-se notar tanto valores altos para o parâmetro cor quanto para o parâmetro turbidez, o que normalmente torna o processo de coagulação mais eficiente, justamente devido à presença desses compostos coloidais.

O carbono orgânico total (COT) é constituído por uma gama de produtos orgânicos em vários estados de oxidação, representando tanto a matéria orgânica biodegradável quanto não biodegradável. Normalmente, utilizam-se os parâmetros DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio) para representar melhor essas frações orgânicas. O COT não representa somente compostos orgânicos tóxicos, mas também a carga orgânica das águas residuais, como proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, entre outros, levando a uma forma mais exata de representação da matéria orgânica total na amostra (NASCIMENTO, 2013).

No presente trabalho, o valor de COT para o efluente final antes do tratamento foi de 44940 mg/L, o que corrobora aos altos valores encontrados em outros trabalhos que também utilizaram efluentes de tintas (NASCIMENTO, 2013).

Nascimento (2013), em seu trabalho, obteve altos valores no parâmetro DQO analisado para esse tipo de efluente, indicando composição complexa e de baixa biodegradabilidade, o que acarreta difícil tratabilidade pelos processos convencionais. Outro parâmetro importante analisado em seu trabalho foi a relação DBO/DQO, a razão obtida entre os dois foi na média da ordem de 0,30 e para valores abaixo de 0,4, concluindo-se que o efluente estudado é formado basicamente por produtos não biodegradáveis (NASCIMENTO, 2013). Já Chagas *et al.* (2009), *apud* Lo Monaco *et al.* (2010), encontraram eficiência de 83,9% na remoção de DQO e de 80,7% de óleos e graxas de águas residuárias de laticínios (compostos de fácil biodegradabilidade), obtidas quando utilizaram uma dose de 0,9 g/L de sementes.

Com intuito de estudar as interações entre as variáveis do processo de coagulação-floculação e decantação de forma mais rápida e econômica, evitando a abordagem tradicional, que consiste em estudar uma variável por vez, foi utilizado o planejamento fatorial, uma ferramenta estatística cuja abordagem utilizada é variar todos os fatores ao mesmo tempo. Dessa forma, é possível estudar o sistema com menor número de experimentos e ainda entender como as variáveis influenciam na resposta (VIDAL, 2015).

Entre os fatores que influenciam na coagulação-floculação, podem ser citados: pH, concentração inicial do coagulante e agitação (PIVELI; KATO, 2005). Como dito anteriormente, esses três fatores foram variados na etapa de planejamento fatorial, a fim de selecionar as melhores condições para clarificação do efluente industrial utilizando o coagulante natural.

Os resultados obtidos a partir do planejamento fatorial podem ser visualizados na Tab. 6. É possível observar que, dependendo das condições empregadas no processo de clarificação, os resultados de pH, cor, turbidez, condutividade e COT mudam.

Tabela 6 - Resultados das variáveis de adsorção.

Exp.	pH (Inicial)	Agit.	Coag. (g/L)	pH (Final)	Cor (mgPt-Co/L)	Turb. (uT)	Cond. (uS/cm)	COT (mg/L)
1	9,0	7,0	5,0	5,6	123	1,95	1243	25270
2	3,0	7,0	15,0	3,8	6,2	21,03	2010	25850
3	3,0	3,0	15,0	3,8	6,4	77	1981	26210
4	6,0	5,0	10,0	-	6,6	10,33	1254	24250
5	6,0	5,0	10,0	-	7,7	12,09	1131	26445
6	9,0	3,0	5,0	8,6	103	3,29	1232	30225
7	3,0	3,0	5,0	3,2	120	972	2260	24250
8	3,0	7,0	5,0	3,2	293	370	2280	23980
9	9,0	7,0	15,0	8,2	8,6	3,47	1339	26630
10	9,0	3,0	15,0	8,3	7,6	8,55	1300	25760

Fonte: Autores (2020)

Os valores que se encontram na Tabela 6 são os valores de concentração final de cada parâmetro analisado no efluente final após os diversos tipos de condições tratamento.

Sabe-se que algumas mudanças nas condições do processo podem favorecer o tratamento do efluente em relação a outro. Por exemplo: o pH é um dos parâmetros mais importante no controle dos processos físico-químicos de tratamentos de efluentes industriais. A precipitação química de metais pesados, por exemplo, ocorre em meios com pH elevado. Nesse processo, o coagulante reage com a alcalinidade da água formando hidróxidos metálicos polimerizados, altamente insolúveis, que arrastam partículas coloidais em seu percurso de sedimentação (PIVELI; KATO, 2005; LIBÂNIO, 2016).

Na floculação, a alcalinidade assume fundamental importância na ocorrência do fenômeno denominado floculação por varredura, que é o mecanismo mais atuante muitas vezes (PIVELI; KATO, 2005). Esse fenômeno pode ser percebido nos experimentos 1, 6, 9 e 10, os quais foram submetidos à condição de pH mais alcalino, que, independente da concentração do coagulante e da velocidade de agitação, obtiveram valores mais satisfatórios no aspecto turbidez que os experimentos 2, 3, 7 e 8, de pH mais ácido.

O pH, quando em condições muito ácidas, pode resultar em dissolução de alguns elementos, os quais ionizam-se nas águas sob diferentes formas. Cada íon metálico tem o seu valor de pH ótimo de precipitação como hidróxido, e quando se têm misturas de diversos metais, é necessário que se trabalhe em mais de uma faixa de pH. As bases de metais alcalinos, alcalino-terrosos e de alguns metais pesados conduzem corrente elétrica, o que explica os altos valores de condutividade elétrica nos experimentos 2, 3, 7 e 8. (PIVELI; KATO, 2005).

Porém determinados tipos de efluentes oleosos podem ser tratados através da quebra de emulsão com ácidos, indicando que, em alguns testes de tratabilidade em faixas de pH, normalmente inferior a 4,0, a floculação ocorre através da quebra da emulsão oleosa. Dependendo de suas densidades, os flocos poderão flotar ou sedimentar (PIVELI; KATO, 2005). Observando os dados, é possível notar que os experimentos 7 e 8, os quais foram submetidos à condição de pH mais ácido e concentrações menores de coagulante, obtiveram os melhores resultados de eficiência de remoção para COT, isso é devido a alguns compostos orgânicos, como os BTEX, presente nos solventes utilizados para diluir tintas e resinas, altamente tóxicos e solúveis em água (LOPES, 2011).

Além disso, alguns estudos relatam que, geralmente, todas as partículas suspensas e coloidais presentes em águas com pH entre 5 e 10 apresentam carga superficial negativa. Já a *Moringa oleifera* apresenta em suas sementes proteínas ativas e seu pó, quando dissolvido em água, adquire cargas positivas que atraem

partículas carregadas negativamente, formando flocos densos, melhorando a eficiência do processo de coagulação (LIMA, 2015).

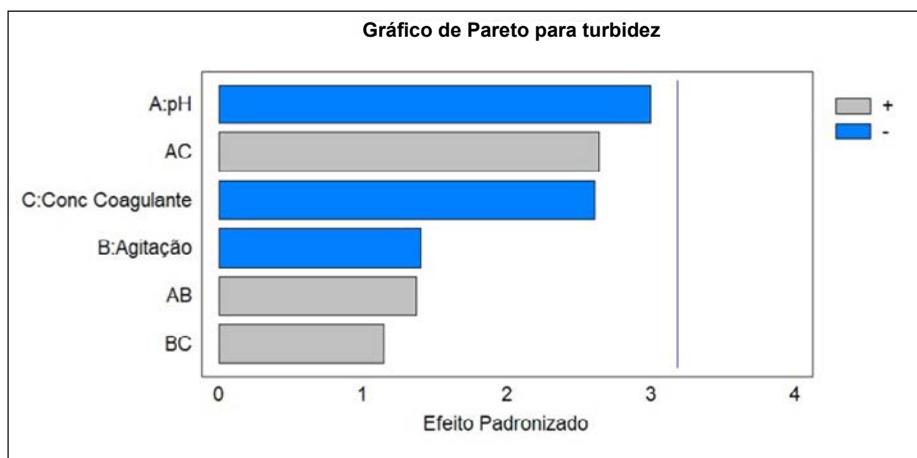
Outro aspecto importante e que pode ser observado nos experimentos 2, 3, 9 e 10 é a concentração do coagulante. Quanto maior a dosagem, maior a remoção de cor, pois se aumentando o número de partículas, aumenta-se o número de choques e maior probabilidade de formar coágulos e flocos. Gallão (2006) afirma que a proteína catiônica dimérica de alto peso molecular desestabiliza as partículas contidas na água e que, através de um processo de neutralização e adsorção, floculam os coloides e, em seguida, sedimentam.

Embora o fator agitação não tenha sido tão significativo quanto os outros fatores estudados no presente trabalho, é importante, uma vez que, na etapa de coagulação, ele é responsável por diminuir as barreiras eletrostáticas entre as partículas, desestabilizando-as para a etapa seguinte, a deformação dos flocos, sendo necessário introduzir ao meio energia de forma adequada, pois a deficiência dela provoca a formação de flocos com más condições de sedimentação (PIVELI; KATO, 2005). Para o presente estudo, em todos os experimentos de agitação mais rápida, a remoção de turbidez foi mais eficiente.

Para analisar a significância de cada efeito foram gerados os diagramas de Pareto. O teste t de Student foi realizado para determinar se os efeitos calculados foram significativamente diferentes de zero. Esses valores para cada efeito são mostrados no diagrama de Pareto por colunas horizontais (PONNUSAMI *et al.* 2007). Para o nível de confiança de 95% e três graus de liberdade, o t-valor é de 3,18. Os valores que excederem a linha de referência, ou seja, aqueles que correspondem ao intervalo de confiança de 95%, são considerados significativos estatisticamente (MATHIALAGAN; VIRARAGHAVAN, 2005).

As Figuras 3-6 ilustram os gráficos de Pareto para os parâmetros turbidez, cor, condutividade e COT, respectivamente. De acordo com o gráfico, é possível visualizar de forma mais clara a importância de cada um dos fatores variados nos experimentos, os quais foram explicados anteriormente.

Figura 3 - Gráfico de Pareto para turbidez.



Fonte: Autores (2020)

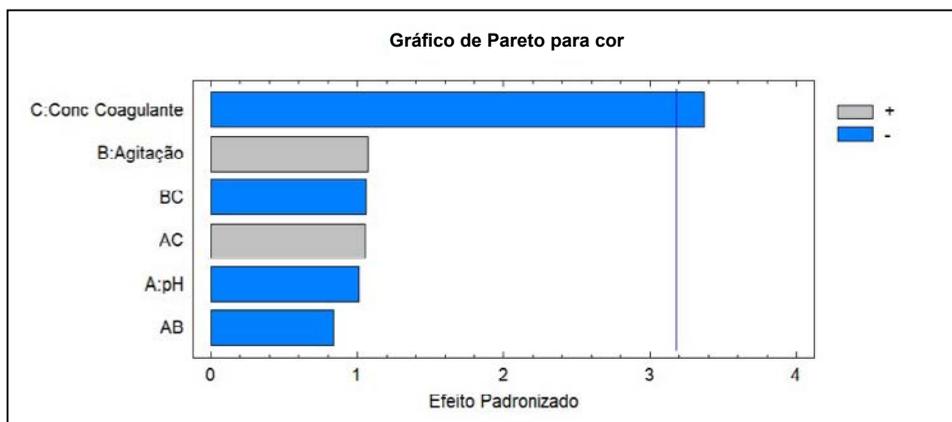
Para o parâmetro turbidez, nenhum fator variado nos testes foi estatisticamente significativo, apesar dos fatores pH, concentração do coagulante e da interação desses fatores se mostrarem mais próximos da linha de referência, nenhum deles teve significância para o parâmetro turbidez na faixa de estudo do presente trabalho.

Muyibi e Evision (1995), *apud* Lo Monaco (2010), estudaram o emprego da semente da *Moringa oleifera* para tratamento de águas brutas e concluíram que é capaz de reduzir de 80 a 99,5% da turbidez e de 90 a 99% das bactérias presentes na água. Esse fato corrobora os valores da Tabela 6 encontrados no presente trabalho, de baixos valores de turbidez para todas as condições dos experimentos, com percentual de remoção acima de 97%.

Em águas naturais, o parâmetro turbidez provoca a redução da incidência de raios luminosos nos corpos de água, influenciando diretamente na dinâmica do ecossistema aquático. A resolução do Conama, órgão

responsável pelos padrões de lançamento de efluentes no Brasil, impõe limites de turbidez de 40 UNT para águas doces classe 1 e de 100 UNT para as classes 2 e 3 (BRASIL, 2005). Para o presente estudo, em todos os testes o parâmetro turbidez se manteve abaixo de 23,01 UNT.

Figura 4 - Gráfico de Pareto para cor.



Fonte: Autores (2020)

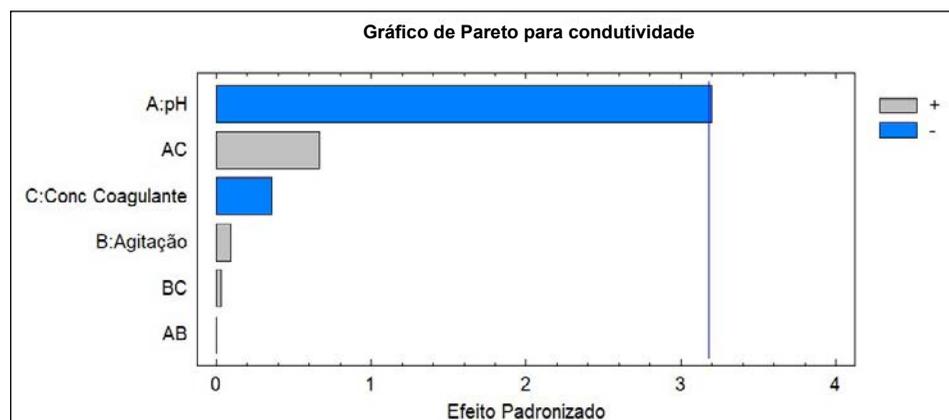
Para o parâmetro cor, apenas o fator concentração do coagulante foi significativo negativamente, ou seja, quanto maior sua concentração, menor a concentração de cor residual. Logo, melhor é a eficiência do tratamento.

Em relação ao parâmetro cor, o Conama utiliza o método de escala platina-cobalto (Pt-Co) para avaliar a cor dos efluentes, o mesmo utilizado no presente trabalho. Para águas de classe 1, impõe “cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L” e para água de classe 2 e 3, o limite imposto é de 75 mg Pt/L.

É importante essa limitação, pois, em águas naturais, associa-se a problemas de estética, às dificuldades na penetração de luz e à presença de compostos recalcitrantes (não biodegradáveis) de taxas de decomposição muito baixas, que geralmente são tóxicos aos organismos aquáticos (BRASIL, 2005). No Ceará, o COEMA definiu de forma específica para os efluentes não sanitários “cor aparente: presença de corantes e pigmentos virtualmente ausentes” (CEARÁ, 2017).

No presente trabalho, para todas as condições testadas Tab. 6, o parâmetro cor manteve-se abaixo do recomendado pela legislação, com exceção dos experimentos 1, 6, 7 e 8, os quais trabalharam com baixos níveis de concentração do coagulante (5 g/L), corroborando com a discussão anterior acerca da importância da alta concentração do coagulante no meio para viabilizar os choques com as partículas coloidais.

Figura 5 - Gráfico de Pareto para condutividade.



Fonte: Autores (2020)

Conforme esperado, o fator pH foi estatisticamente significativo de forma negativa para o parâmetro condutividade, ou seja, quanto maior o pH, menor a condutividade do efluente tratado, o que corrobora com a discussão feita anteriormente, em que, para condições muito ácidas, maior dissolução de alguns elementos, logo maior a condutividade.

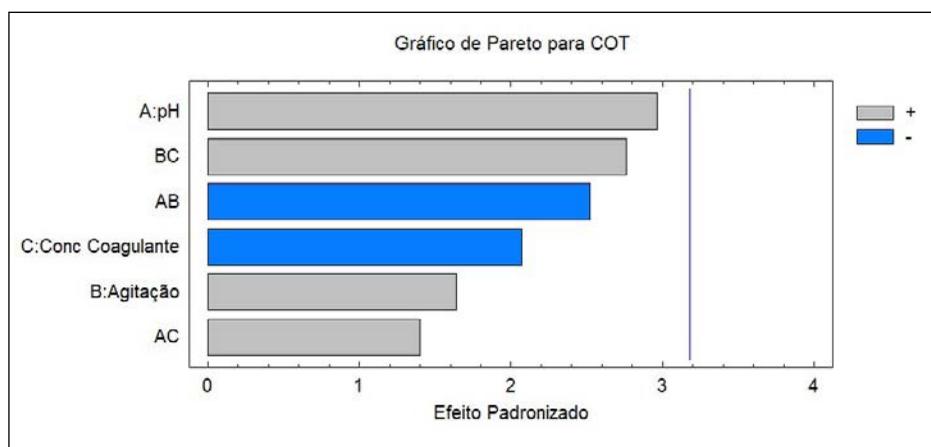
Um fator que deve ser levado em consideração é o aumento da condutividade elétrica em todos os experimentos. Isto se deve ao fato de que os efluentes provenientes das indústrias de tintas e têxteis possuem alto conteúdo de compostos que são, geralmente, orgânicos de estruturas complexas (LEDAKOWICZ; GONERA, 1999 *apud* "SILVA, 2018).

Outros estudos revelam comportamentos semelhantes para efluentes têxteis. Ribeiro (2017) observou aumento da condutividade em seu estudo após o tratamento por processo eletrolítico, explicando que há um excesso de eletrólitos presentes no efluente, facilitando, assim, o transporte de corrente elétrica. Silva (2018) também relatou que o mesmo ocorreu em seu estudo após tratar um efluente têxtil com a semente de moringa, associando o ocorrido ao alto teor de sais e à complexidade dos compostos presentes no efluente.

Segundo Ribeiro (2010), o extrato de *Moringa oleífera* tem pH ácido, o que explica o aumento da condutividade elétrica dos experimentos 2 e 3, em pH mais ácido, sobretudo quando submetidos a condições de concentrações menores de coagulante (5 g/L), como foi o caso dos experimentos 7 e 8. Isto corrobora as discussões anteriores acerca dos valores ótimos de pH para precipitação dos metais pesados dissolvidos no efluente e da importância de alta concentração do coagulante no meio.

No caso de efluentes tratados, para disposição no solo, o COEMA impõe limite de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o parâmetro condutividade (CEARÁ, 2017). No presente trabalho, os valores de condutividade mostraram-se acima de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, logo o efluente tratado com moringa não é adequado para disposição em solo.

Figura 6 - Gráfico de Pareto para COT.



Fonte: Autores (2019)

Para o parâmetro COT, não foi observado nenhum fator estatisticamente significativo, apesar dos fatores pH e da interação dos fatores concentração do coagulante e agitação se mostrarem os mais próximos da linha de referência.

Nos dados da Tabela 6, é possível notar que os experimentos 7 e 8, submetidos à condição de pH mais ácido e concentrações menores de coagulante (como ilustrado no gráfico), obtiveram os melhores resultados para COT, o que é devido ao fato de alguns compostos orgânicos, como os BTEX, presente nos solventes utilizados para diluições de tintas e resinas, serem altamente tóxicos e, alguns, solúveis em água (LOPES, 2011).

Em termos de eficiência de remoção, observou-se que, para todos os experimentos, a eficiência de remoção de cor e turbidez ficou acima de 97%. Já a eficiência de remoção de COT nos diferentes testes variou de 32 a 46%, indicando que, apesar de uma boa eficiência de remoção de matéria orgânica, que confere cor e turbidez

ao efluente, como os pigmentos, ainda permaneceram nos efluentes tratados outros compostos orgânicos, tais como solventes químicos, os quais são bastante utilizados nesse tipo de efluente (NASCIMENTO, 2013).

Para o parâmetro DBO, o Conama impõe os limites máximos de 3, 5 e 10mg/L para águas doces de classe 1, 2 e 3, respectivamente. Já o COEMA define para efluentes não sanitários o limite máximo de 200 mg/L para DQO (BRASIL, 2005; CEARÁ, 2017).

A Resolução n.º 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e que complementa e altera a Resolução n.º 357/2005, impõe limite máximo para substâncias solúveis em hexano, óleos e graxas: óleos minerais até 20 mg/L, óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L. Para essas mesmas substâncias, o COEMA impõe limite máximo de até 20 mg/L para óleos minerais e até 50 mg/L para óleos vegetais e gorduras animais (BRASIL, 2011; CEARÁ, 2017). No presente trabalho, os valores de matéria orgânica, expressos pela análise COT, ainda se mostraram elevados, sendo necessário um pós-tratamento.

De acordo com o programa estatístico utilizado na presente pesquisa, que também corroborou com as discussões teóricas, as condições ótimas de operação, as quais minimizam os valores de cor e COT, seriam: pH 3, agitação 3 e concentração de moringa de 15 g/L. Já para os parâmetros condutividade e turbidez, as condições ótimas de operação, as quais minimizam os valores, seriam: pH 9, agitação 7 e concentração de moringa de 5 g/L. Entretanto os fatores estatisticamente significativos foram pH 9 para o parâmetro condutividade e o fator concentração do coagulante de 15 g/L para o parâmetro turbidez. Sendo assim, as condições ótimas escolhidas para testes comparativos com sulfato de alumínio, levando em consideração todas as respostas, foram: pH 9, agitação 3 e concentração do coagulante de 15 g/L.

Tabela 7 - Resultados do teste comparativo com sulfato de alumínio

Exp.	pH (Inicial)	Agit.	Coag. (g/L)	pH (Final)	Cor (mgPt-Co/L)	Turb. (uT)	Cond. (uS/cm)	COT (mg/L)
I	6,0	3,0	15,0	1,85	72,1	133	3900	28330
II	9,0	3,0	15,0	3,02	51,8	49,4	3930	29165
III	9,0	3,0	15,0	8,3	7,6	8,55	1300	25760

Fonte: Autores (2020)

Os valores que se encontram na Tabela 7 são os valores de concentração final dos parâmetros analisados no efluente após os testes comparativos com o sulfato de alumínio (I) e com o sulfato de alumínio com o pó de semente de moringa (II), e somente moringa (III), conforme descrito na Tab. 3.

É possível observar que, para todos os parâmetros analisados, o teste III (só moringa) foi mais eficiente, ou seja, deixou menos poluentes residuais no efluente, o que indica que, para a presente pesquisa, a utilização somente da moringa como coagulante natural foi mais eficiente do que o sulfato de alumínio.

Quando o sulfato de alumínio é adicionado à água, ocorrem reações de hidrólise, intermediárias, antes da formação do precipitado. Essas reações liberam prótons (H⁺), consumindo substâncias que conferem alcalinidade natural à água e, no caso de espécies hidrolisadas de alumínio, ferro ou de polímeros sintéticos catiônicos, é comum ocorrer adsorção específica, causada pela interação entre coagulante e coloide (DI BERNARDO, 2005).

O sulfato de alumínio, quando adicionado na água em condições alcalinas, para valores elevados de dosagem e pH entre 6 e 8, forma precipitado, hidróxido de alumínio, porém, quando o pH é inferior a 5,7, pode haver formação e predominância de espécies poliméricas (DI BERNARDO, 2005).

DI BERNARDO (2005) explica que, em condições de alta turbidez, quando se adiciona baixa dosagem de sulfato de alumínio, ocorre a formação de flocos pequenos e pouco densos, e há formação de flocos maiores e mais densos em altas dosagens. Esses dois fenômenos são conhecidos como mecanismos de “adsorção-neutralização de cargas” e “varredura”, respectivamente.

Na presente pesquisa, apesar de possuir elevada cor e turbidez, o sulfato de alumínio acidifica o meio e, devido à elevada complexidade do efluente, há uma dissolução ainda maior de seus compostos, como discutido anteriormente.

Simão *et al.* (2015) relatam uma drástica redução de pH no tratamento de efluente com elevado teor de óleos e graxas utilizando sulfato de alumínio, e justificam essa reação pelo fato do sulfato de alumínio ser um coagulante ácido, de modo que, quanto maior sua concentração, maior a acidez.

O controle de pH é importante não apenas para a remoção efetiva da matéria orgânica e outros compostos, mas também para garantir que as concentrações de alumínio residual solúvel presentes na água sejam as menores possíveis, o que é alcançado comumente quando o pH, na etapa de coagulação, encontra-se na faixa de 6,0 a 7,5. Observando os dados da Tab. 7, é possível notar, nos resultados dos experimentos I e II, pelos baixos valores do pH final e pelos altos valores de condutividade elétrica, que há dissolução não só dos metais pesados já presentes no efluente, como também do sulfato de alumínio adicionado como coagulante (LIMA JR; ABREU, 2018).

Além do fato citado acima, tanto o sulfato de alumínio quanto a moringa possuem pH ácido, o que explica o aumento da condutividade e da acidificação dos efluentes finais dos experimentos I e II, corroborando com os resultados encontrados por Simão *et al.* (2015).

Conclusão

A utilização da semente de moringa foi eficiente como agente clarificador de efluentes de tintas industriais, sendo uma alternativa sustentável e economicamente viável devido à facilidade de seu cultivo em regiões áridas e tropicais, além de não gerar subprodutos quando comparada com o sulfato de alumínio e outros coagulantes químicos.

Para todos os experimentos, a eficiência de remoção de cor e turbidez ficou acima de 97%. Entretanto a eficiência de remoção de COT nos diferentes testes variou de 32 a 46%, indicando que, apesar de boa eficiência na remoção de matéria orgânica, é necessário que o efluente passe por pós-tratamento. De acordo com o programa estatístico utilizado, as condições ótimas de operação, as quais minimizam os valores de cor e COT, foram pH 3, agitação 3 e concentração de moringa de 15 g/L. Já para os parâmetros condutividade e turbidez, as condições ótimas de operação, as quais minimizam os valores, seriam: pH 9, agitação 7 e concentração de moringa de 5 g/L. Entretanto os fatores que foram estatisticamente significativos foram: pH 9 para o parâmetro condutividade e o fator concentração do coagulante de 15 g/L para o parâmetro turbidez.

O uso do planejamento experimental foi essencial para a determinação dos fatores de maior influência nos resultados, sendo possível estudar a interferência de cada nível variado sobre os fatores. Sem o uso dessa ferramenta, tais interações poderiam não ser detectadas facilmente, demonstrando ser uma ferramenta eficaz para otimização dos resultados.

Tendo em vista a continuação e otimização da pesquisa, expõem-se as seguintes recomendações:

- Avaliar a aplicação da moringa em escala de bancada feito com o Jar Test, a fim de se obter maior precisão quanto as velocidades na etapa de coagulação-floculação;
- Avaliar a utilização da semente da moringa como coluna adsorvente no tratamento de efluentes;
- Aplicar o extrato da moringa em escala piloto de uma ETE, sendo a mesma, utilizada como um pré-tratamento na estação.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TINTAS (Brasil). **Indicadores do mercado**. 2017. Disponível em: <https://www.abrafati.com.br/indicadores-do-mercado/numeros-do-setor/>. Acesso em: 05 out. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 31 out. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 08 nov. 2018.

CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Resolução COEMA nº 2**, de 02 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002.: Legislação Estadual. Ceará, CE: Diário Oficial do Estado, 21 fev. 2017. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/Resolucao-Coema-02-2017.pdf>. Acesso em: 29 out. 2018.

CHAGAS, R. C. *et al.* Uso do extrato de moringa como agente coagulante no tratamento de águas residuárias de laticínios. In: CONGRESSO NACIONAL DE LATICÍNIOS, 26., 2009, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: iclt/epamig, 2009.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005. v. 1.

GALLÃO, M. I. *et al.* Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista ciência agrônômica**, Fortaleza, CE, v. 31, n. 1, p.106-109. 2006.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4 ed. rev. e ampl. Campinas: Átomo, 2016. 638 p. ISBN 9788576702719.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. da S. Natural products used as coagulants and flocculants for public water supply: a review of benefits and potentialities. **Revista Virtual de Química**, [Fortaleza], v. 10, n. 3, p.709-735, 28 jun. 2018. Disponível em: <http://rvq.sbq.org.br/imagebank/pdf/v10n3a20.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2018.

LIMA, N. M. de. **Aplicação da moringa oleífera no tratamento de água com turbidez**. 2015. 56 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Curso de Mestrado em, Universidade Católica de Pernambuco, 2015.

LO MONACO, P. A. V. *et al.* Utilização de extrato de semente de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n.3, p. 222-231, 2010. (doi:10.4136/ambi-agua.164).

LOPES, V. S. M. **Avaliação preliminar da contaminação por BTEX, em águas subterrâneas de poços tubulares, no município de Natal/RN**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, 2011.

MATHIALAGAN, T.; VIRARAGHAVAN, T. Biosorption of pentachlorophenol by fungal biomass from aqueous solutions: a factorial design analysis. **Environmental Technology**, [S. l.], v. 6, p. 571–579, 2005.

MUYIBI, S. A.; EVISION, L. M. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v. 29, n. 12, p. 2689-2695, 1995.

NASCIMENTO, F. C. **Tratamento de efluentes na produção de tintas industriais, automotivas e de**

repintura por irradiação com feixe de elétrons. 2013. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. 213 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia, São Carlos, 2001.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos.** São Paulo: Abes, 2005.

PONNUSAMI, V. *et al.* Biosorption of reactive dye using acid-treated rice husk: factorial design analysis. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], v. 142 p. 397-403, 2007.

RIBEIRO, A. T. A. **Aplicação da moringa oleífera no tratamento de água para consumo humano – Remoção de poluentes por coagulação-floculação.** 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

SILVA, L. F. da. **Tratamento de efluente real de indústria de tintas pelo uso de métodos conjugados de coagulação química e eletroquímico.** 2016. 58 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Física e Química, Catalão, 2016.

SILVA, R. N. da. **Estudo da eficiência da semente de Moringa (Moringa oleífera L.) como coagulante no tratamento de diferentes efluentes industriais.** 2018. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Unifanor | Wyden, Fortaleza, 2018.

SIMÃO, C. J. B. *et al.* O uso do coagulante natural “Moringa” no tratamento de águas produzidas na extração de petróleo em comparação ao sulfato de alumínio. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS III WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, 1., 2015, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Editora Realize, 2015. p. 1-5. Disponível em: http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/Modalidade_4datahora_30_03_2015_18_19_22_idinscrito_1182_5c9de08b923d1318e4cd975c609f1175.pdf. Acesso em: 04 dez. 2018.

SORIANI, M. **Eficiência da Moringa oleífera como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento.** 2015. 70 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

VIDAL, C. B. **Desreguladores endócrinos presentes em matrizes ambientais: análise por SPE-HPLC e remoção com argila pilarizada.** 2015. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza, 2015.

Sobre os autores

Giuliana Buzelli Santana

Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Centro Universitário Unifanor | Wyden (2018). Desenhista cadista com experiência na elaboração de projetos. Participação no time do projeto básico e executivo do gasoduto da Petrobrás (Guamaré-Pecém). Formação em Elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS) pelo Senai-CE (2017).

Diana Colares Nóbrega

Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Universitário Unifanor Wyden (2018).

Julienne Tomé Oliveira

Bacharel em Química, com habilitação em Química Industrial, pela Universidade Federal do Ceará (UFC, 2014). Mestra (2017) e doutoranda em Química pela UFC.

Igor Alves

Bacharel em Química, com habilitação em Química Industrial, pela Universidade Federal do Ceará (UFC, 2016). Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Química da UFC (PgQuim UFC) na área de química analítica, com ênfase em processos oxidativos avançados (POA) e processos eletroquímicos. Desenvolveu projetos de ensino e extensão durante a graduação no Programa de Educação Tutorial, e foi membro voluntário de iniciação científica do laboratório de processos oxidativos avançados da UFC, atuando em pesquisas no campo.

Ronaldo Ferreira Nascimento

Doutorado em Química Analítica pela Universidade de São Paulo (USP, 1997), Instituto de Química de São Carlos (IQSC). Graduado em Química Industrial pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA, 1991), Atualmente, é professor titular da Universidade Federal do Ceará (UFC). Publicou centenas de artigos em revistas científicas, capítulos de livros (20), livros (05). Tem experiência na área de química analítica, com ênfase no desenvolvimento de métodos de separação (cromatografia gasosa e cromatografia líquida), química ambiental (análise de traços) e adsorção (remoção de poluentes de efluentes aquosos usando adsorventes naturais).

Carla Bastos Vidal

Pós-doutorado (2016-2019) em Química Analítica pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Doutorado (2015) em Engenharia Civil na área de saneamento ambiental pela UFC, com período sanduíche na *The City College of New York* -(Nova Iorque, EUA). Graduada em Tecnologia em Processos Químicos pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE- 2008) e em Química pela Universidade Estadual do Ceará (2011). Mestra (2011) atualmente, é professora universitária do Centro Universitário UniFanor Wyden e do Centro Universitário UniFametro, lecionando disciplinas nos cursos de Engenharia Ambiental e Sanitária; Engenharia Química e Engenharia Civil. Tem experiência na área de saneamento ambiental, com ênfase em química ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: tratamentos avançados de efluentes industriais e de ETES; modelagem de equilíbrio e cinética de adsorção; síntese de materiais adsorptivos de baixo custo. Desenvolve pesquisa na área de validação de métodos cromatográficos, síntese e caracterização de argilas para adsorção de compostos orgânicos em matrizes ambientais.

Recebido em: 28/08/2019

Aceito em: 10/12/2019