Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Uso de sementes de *Moringa oleifera* como agente coagulante para o tratamento de água

Jonas Raul Balbinoti¹; Camila Laschiwitz Beghetto²; Lucicleide Ângelo Silva³; Lucila Adriani Coral⁴; Fatima de Jesus Bassetti⁵

¹Engenheiro Ambiental, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; Bolsista CAPES. Autor Correspondente: jonasrbalbinoti@gmail.com, ²Bióloga, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; Bolsista CAPES. camilalaschiwitz@hotmail.com, ³Bióloga, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. lucicleidern@yahoo.com.br, ⁴Doutora em Engenharia Ambiental, professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. lucilacoral@utfpr.edu.br, ⁵Doutora em Engenharia Química, professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. bassetti@utfpr.edu.br

Artigo recebido em 16/05/2018 e aceito em 28/08/2018

RESUMO

O sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio são coagulantes químicos eficientes para formação de flocos em unidades de tratamento de água. No entanto, estes coagulantes podem contribuir para o desenvolvimento da doença de Alzheimer pelo alumínio residual na água pós-tratamento. Em razão disso, esta pesquisa teve como objetivo verificar a aplicação de extrato salino (CaCl_2) de sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de águas com baixa turbidez, usando flotação por ar dissolvido (FAD). A eficiência do processo foi determinada mediante os parâmetros cor, turbidez, pH e condutividade, os quais foram discriminados por Análise de Componentes Principais. Duas condições de turbidez (10 e 20 uT) foram utilizadas neste estudo, enquanto os ensaios de coagulação, floculação e FAD foram realizados com extratos salinos da semente nas dosagens de 10, 20, 30, 40 e 50 mg L⁻¹. Os resultados indicaram que houve remoção de turbidez (64,2 e 78,2%) e cor (77,6 e 72,4%) em águas com turbidez de 10 e 20 uT, respectivamente. A condutividade aumentou em função do maior acréscimo de coagulante, enquanto o pH não foi alterado de forma significativa. Concluiu-se, desta forma, que o uso do coagulante *Moringa oleifera* favoreceu a remoção dos parâmetros cor e turbidez, melhorando a qualidade da água.

Palavras-chave: Qualidade da água. Coagulante natural. Flotação por ar dissolvido. Análise Quimiométrica.

Use of *Moringa oleifera* seeds as a coagulant for the treatment of water

ABSTRACT

Aluminum sulphate and aluminum polychloride are efficient chemical coagulants for flake formation in water treatment plants. However, these coagulants can provide the development of Alzheimer's disease by residual aluminum in the post-treatment water. The objective of this research was to verify the application of saline extract (CaCl_2) from *Moringa oleifera* seeds in the treatment of water with low turbidity using dissolved air flotation (DAF). The efficiency of the process was determined by the parameters color, turbidity, pH and conductivity, which were discriminated by Principal Component Analysis. Two turbidity conditions (10 and 20 NTU) were used in this study, while coagulation, flocculation and DAF assays were performed with saline extracts at the doses of 10, 20, 30, 40 and 50 mg L⁻¹. The results indicated that turbidity (64.2 and 78.2%) and color (77.6 and 72.4) were removed in waters with turbidity of 10 and 20 NTU, respectively. The conductivity increased as a function of the higher coagulant addition, while the pH was not significantly altered. It was concluded, therefore, that the use of the *Moringa oleifera* coagulant favored the removal of the color and turbidity parameters, improving the quality of the water.

Keywords: Water quality. Natural coagulant. Dissolved air flotation. Chemometrics Analysis.

Introdução

É de fundamental importância que as estações de tratamento de água (ETA) sejam eficazes na remoção de impurezas, para que a água apresente potabilidade adequada para consumo. Nas ETA's, a primeira etapa do tratamento condiz à coagulação, processo no qual as partículas suspensas são desestabilizadas, por intermédio de mecanismos físicos e químicos atuantes na água, no coagulante e nas partículas.

Nas ETA's, o coagulante usualmente utilizado é o sulfato de alumínio, principalmente devido ao baixo custo e alta eficiência na coagulação de partículas coloidais (Blanco et al., 2016). No entanto, o consumo de água tratada por este coagulante, devido ao alumínio residual, vêm sendo relacionada à ocorrência de lesões cerebrais (Freitas et al., 2016; Manivannan et al., 2015). Outro problema associado ao alumínio residual condiz à deposição deste nas ETAs (Keeley, 2014), o qual gera turvação nas etapas de coagulação/floculação e consequente prejuízo na etapa de desinfecção. Tendo em vista os aspectos negativos associados ao uso de sais de alumínio no tratamento de água, coagulantes naturais estão sendo estudados e tornando-se mais usuais.

Os coagulantes naturais, em locais remotos, são utilizados há vários anos (Katata-Seru et al., 2018), devido principalmente à dificuldade no acesso aos produtos químicos utilizados comumente como coagulantes (Keogh et al., 2017). Os principais aspectos positivos dos coagulantes naturais são: compostos não corrosivos; não promovem problemas de saúde e dispensam ajustes de pH e alcalinidade (Choy et al., 2014).

Uma árvore que apresenta características propícias para uso como coagulante é a *Moringa oleifera* Lam. Esta planta pertencente à família das *Moringaceae*, nativa da Índia e amplamente cultivada nos trópicos de todo o mundo (Pereira et al., 2016). Dentre os diversos usos atribuídos a espécie (alimentício, medicinal, etc.) destaca-se também seu uso como coagulante para o tratamento de água para abastecimento (Gopalakrishnan et al., 2016; Santos et al., 2015; Shebek et al., 2015).

Estudos publicados empregando *Moringa oleifera* demonstraram melhor capacidade deste coagulante natural quando utilizado após a extração das proteínas das sementes em solução salina, empregando-se NaCl, KNO₃, KCl, NaNO₃ e CaCl₂ (Baptista et al., 2017; Camacho et al., 2017; Carvalho et al., 2016; Hamid et al., 2016; Teixeira et al., 2017). Todavia, pesquisadores sugerem o uso deste coagulante apenas em água com turbidez

elevada, visto que, com baixa turbidez, a remoção pode não ser eficiente (Huang et al., 2014).

Baptista et al. (2015) propuseram a obtenção de coagulante a partir da semente de *Moringa oleifera* em extração salina ultrafiltrada e em solução aquosa, a fim de verificar em qual meio as proteínas do coagulante seriam melhor solubilizadas. Os resultados apontaram que as proteínas foram melhor solubilizadas em solução de NaCl (42,82%) do que em água (6,3%). Os autores reforçam a importância da solução salina ao demonstrar que a análise total de concentração de proteínas nas sementes era igual a 44,56%; desse modo, a extração das proteínas por extrato salino, com 42,82%, apresentou eficiência de 96%.

O processo de flotação por ar dissolvido (FAD) é uma alternativa eficaz para águas que apresentem partículas de baixa densidade e turbidez. Por este motivo, pesquisas envolvendo coagulante obtido a partir da *Moringa oleifera* associado com a FAD estão sendo cada vez mais realizadas, com o intuito de remover turbidez e cor da água.

Carvalho et al. (2016) avaliaram a diferença entre dois extratos salinos (NaCl e CaCl₂) na preparação de coagulante a partir de sementes de *Moringa oleifera* na remoção de células de *Microcystis aeruginosa*, utilizando FAD como processo de clarificação. A água inicial apresentava valor de turbidez de 25 uT. A melhor eficiência foi verificada no coagulante com extrato salino de CaCl₂, em uma dosagem de coagulante de 50 mg L⁻¹, com remoção de células de 78,9%. Os autores concluíram que os extratos de *Moringa oleifera*, obtidos a partir de solução salina de CaCl₂, se mostram eficazes para tratamento que objetivem a remoção de cianobactérias, inclusive em águas com baixa turbidez.

Na literatura, poucos estudos são encontrados relativos à aplicação do coagulante obtido de extrato de sementes de *Moringa oleifera*, assim como a associação dessa condição ao processo de flotação por ar dissolvido (FAD) em águas de baixa turbidez. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a remoção de turbidez e cor, utilizando extrato de sementes de *Moringa oleifera* como coagulante por intermédio da coagulação, floculação e FAD, em águas naturais de baixa turbidez.

Material e métodos

Caracterização da água de estudo

A água utilizada foi proveniente de um manancial localizado na região metropolitana de

Curitiba/PR, Figura 1. Foram realizadas quatro coletas, em diferentes períodos, tendo-se definido duas condições iniciais de baixa turbidez para

realização dos experimentos: 10 e 20 uT. Para se atingir a turbidez desejada, foi realizada diluição, utilizando água coletada do próprio manancial.

Figura 1. Imagem aérea do local de coleta da água.
Fonte: Google Earth, 2017.

Preparo da solução coagulante

Foi preparada uma solução coagulante a partir de sementes de *Moringa oleifera* utilizando o sal divalente CaCl_2 , sendo preparada solução 1 M deste sal, conforme Beltrán-Heredia e Sánchez-Martin (2009).

O preparo da solução coagulante compreendeu as seguintes etapas (Figura 2): primeiramente, as sementes (1) foram descascadas manualmente (2) e depois trituradas em um liquidificador (3); em seguida, as sementes trituradas (4) foram passadas por uma peneira de metal (5), com área de orifício de 42 mm^2 . Na sequência, as sementes trituradas (6) foram misturadas com solução salina de CaCl_2 (7). A solução salina contendo as sementes trituradas foi então agitada em agitador magnético por 30 min, a 300 rotações por minuto (rpm) (8). Ao término da agitação, foram feitas duas filtrações da solução contendo as sementes: a primeira (9), em papel de

filtro ($28 \mu\text{m}$); a segunda (10), em membrana de vidro ($0,45 \mu\text{m}$). Após a realização destas etapas, obteve-se o coagulante para uso (11).

A solução estoque de CaCl_2 1 M foi preparada em concentração de 10 g L^{-1} , a partir da massa inicial de pó de semente adicionado para a extração. Para os ensaios, foram aplicadas as dosagens de 10, 20, 30, 40 e 50 mg L^{-1} da solução coagulante.

Desenvolvimento experimental

Os ensaios com os coagulantes foram realizados em equipamento Floteste (Nova Ética - modelo 218/3), constituído por uma câmara de pressurização e jarros de coagulação / floculação / flotação (Figura 3).

O pH foi mantido entre 7,5 e 8,0, visto que valores próximos a neutralidade são recomendados para melhor ação do coagulante (Beltrán-Heredia e Sánchez-Martin 2009). Trabalhou-se com temperatura constante de $\pm 20^\circ\text{C}$.

Figura 2. Esquema ilustrativo das etapas do preparo do coagulante *Moringa oleífera*.

Figura 3. Fotografia do equipamento Floteste, utilizado para os ensaios de coagulação, floculação e flotação.

Os parâmetros operacionais para coagulação, floculação e flotação foram adotados de acordo com Carvalho et al. (2016) (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros operacionais adotados nas etapas de coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido.

Coagulação e Floculação		Flotação por ar dissolvido ^a	
Gradiente de mistura rápida (s⁻¹)	1000	Pressão de saturação (bar)	4
Tempo de mistura rápida (s)	10	Tempo de saturação (min)	8
Gradiente de mistura lenta (s⁻¹)	25	Taxa de recirculação (%)	10
Tempo de mistura lenta (min)	15	Velocidade de flotação (cm min ⁻¹)	5

Procedimentos analíticos

Os parâmetros utilizados durante o monitoramento, controle e caracterização de todas as etapas realizadas são descritas na Tabela 2.

Ensaios em triplicata foram efetuados para verificar as melhores dosagens do coagulante extraído de semente de *Moringa oleifera* na remoção dos parâmetros propostos.

Tabela 2. Parâmetros empregados para o monitoramento do tratamento e respectiva metodologia.

PARÂMETRO ANALÍTICO	METODOLOGIA EQUIPAMENTO	REFERÊNCIAS
pH	Potenciometria HQ40D HACH	APHA, AWWA, WPCF (2012)
Cor Aparente (mg PtCo L⁻¹)	Redução da Intensidade da Luz ($\lambda = 455\text{nm}$) DR 5000 HACH	
Turbidez (uT)	Nefelométrico 2100Q HACH	
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Condutância entre dois eletrodos inertes Condutivímetro digital	

Análise estatística

Os resultados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA), com intervalo de confiança de 95%. No caso de rejeição da hipótese H_0 , ou seja, caso houvesse diferença entre as dosagens de coagulante, foi aplicado o teste de Tukey, ao mesmo nível de significância, para verificar quais dosagens apresentaram resultados diferentes entre si.

Além disso, os dados foram discutidos por análise quimiométrica, mediante técnica PCA (Análise de Componentes Principais). A matriz de dados foi processada utilizando o pacote PLSToolbox 3.0® em ambiente Matlab 7.0.1® (Mathworks), com pré-processamento de autoescalamamento.

Resultados e discussão

Ensaios de C/F/FAD para avaliar a remoção do parâmetro turbidez

Foi possível observar que em água com turbidez de 10 uT, após o tratamento, não houve diferença estatística entre as dosagens de coagulantes (Figura 4) e, desse modo, sugere-se como melhor dosagem de coagulante 10 mg L⁻¹, visto que uma menor quantidade de coagulante será empregada, resultando no mesmo teor de remoção do que o obtido em dosagens superiores. Nesta mesma dosagem (10 mg L⁻¹), Leyva et al. (2017) também obtiveram valores residuais de turbidez menores do que 5 uT, utilizando o mesmo coagulante.

Figura 4. Variação da turbidez residual em água com turbidez de 10 e 20 uT, em diferentes dosagens do coagulante *Moringa oleifera*, após C/F/FAD. Água 10 uT - Turbidez inicial: 10,6 uT (0,4). Água 20 uT - Turbidez inicial: 20,8 uT (0,7). Legenda: letras diferentes indicam diferença estatística (Teste Tukey, $p < 0,05$).

Na turbidez de 10 uT foi possível observar que o tratamento proposto resultou em remoções de turbidez de até 64%. Camacho et al. (2017), ao trabalharem com água com turbidez de 10 uT (mistura contendo solo, água de torneira e células de *M. aeruginosa*) obtiveram remoção semelhante ao obtido nesta pesquisa; porém, o coagulante *Moringa oleifera* foi utilizado após extração salina com NaCl, em dosagem igual a 50 mg L⁻¹.

Na água com turbidez de 20 uT, foi possível verificar que após o tratamento, a melhor dosagem de coagulante aplicada foi a de 20 mg L⁻¹ (Figura 4), uma vez que, estatisticamente (95% de confiança), o valor residual nesta dosagem foi o mesmo daquele verificado para a dosagem de 30 mg L⁻¹, na qual foi obtido valor residual inferior.

Carvalho et al. (2016), ao trabalharem com água sintética contendo ácido húmico e cianobactérias, em turbidez de 25 uT, com dosagem de coagulante de 50 mg L⁻¹ de extrato salino (CaCl₂) de *Moringa oleifera*, obtiveram menor remoção (57,9%) de turbidez do que neste trabalho (78,2%). Tal resultado pode estar

relacionado à presença de cianobactérias na água, as quais podem interferir nos resultados, assim como por se tratar de água sintética, que apresenta características diferentes da água de rio.

Ensaios de C/F/FAD para avaliar a remoção do parâmetro cor

Na água com turbidez de 10 uT, somente ao se utilizar 20 e 30 mg L⁻¹ de dosagem de coagulante, o valor obtido para cor encontrou-se abaixo do limite (15 uH), determinado pela Portaria 2914/11, após tratamento completo (BRASIL, 2011) (Figura 5). Foi observado que em água a 10 uT, após a dosagem de coagulante de 30 mg L⁻¹, os valores de cor residual foram maiores, conforme o aumento da concentração de coagulante na água; já na água com turbidez de 20 uT, obteve-se menores valores de cor residual quando utilizada maior dosagem do coagulante.

Figura 5. Variação da cor residual, em água com turbidez de 10 e 20 uT, em diferentes dosagens do coagulante *Moringa oleifera*, após C/F/FAD. Água 10 uT – Média cor inicial: 53,46 uH $\pm$ 3,4. Água 20 uT – Média cor inicial: 127 uH $\pm$ 2,8. Legenda: letras diferentes indicam diferença estatística (Teste Tukey, $p < 0,05$).

Na água com turbidez de 10 uT, recomenda-se como melhor dosagem de coagulante 20 mg L⁻¹, visto que, estatisticamente (95% de confiança), o valor residual é o mesmo daquele obtido em 30 mg L⁻¹, sendo utilizado, deste modo, menor dosagem de coagulante. Já na água com turbidez de 20 uT, nas dosagens de coagulante de 40 e 50 mg L⁻¹ foram obtidos os melhores resultados, sendo proposto como melhor dosagem 40 mg L⁻¹, pelo mesmo motivo exposto anteriormente.

Uma explicação para o melhor efeito do coagulante extraído com solução salina de CaCl₂ 1M pode estar relacionada à rede de interação (Figura 6) proporcionada pelo cátion bivalente, que possui capacidade de se adsorver aos componentes ativos com carga negativa – no caso, as partículas

dissolvidas que conferem cor a água. Na coagulação, durante o processo de adsorção e neutralização de carga, o coagulante de carga positiva interage com partículas coloidais carregadas negativamente, desestabilizando-as (Kansal e Kumari, 2014; Mateus et al., 2018; Nordmark et al., 2016; Priya et al., 2017). Moura et al. (2016) sugerem que, nas partículas desestabilizadas, as atividades da lectina - principal proteína responsável pela coagulação, presente nas sementes de *Moringa oleifera* (Luz et al., 2017) - são maiores quando ocorre diminuição da resistência elétrica do meio.

Figura 6. Mecanismo de atuação do coagulante obtido a partir de extração salina (CaCl_2 1M) de *M. oleifera*. Fonte: adaptado de Okuda et al. (2001).

A remoção das partículas presentes na água, após FAD, também podem ser visualizadas na Figura 7, onde é nítida a permanência do material na porção superior do jarro. Os resultados deste estudo demonstraram que, assim como para

águas com cor elevada (Gámez et al., 2015), o uso das sementes de *Moringa oleifera* como coagulante é uma alternativa viável para remoção de águas com cor mais baixa (menor do que 130 uH).

Figura 7: Fotografia da água no flotador após coagulação e FAD, ao utilizar o coagulante *M. oleifera*.

Ensaios de C/F/FAD para avaliar o parâmetro condutividade e pH

Em ambas as águas (10 e 20 uT), houve aumento na condutividade conforme se aumentou a dosagem de coagulante (Figura 8), como também demonstrado por Araújo et al. (2013) e Muthuraman et al. (2014). Também se verificou pelo teste de Tukey que todas as amostras se diferiram uma das outras, nas duas condições de água estudadas. O valor mínimo foi de, aproximadamente, 0,3 mS/cm, na dosagem de 10 mg L⁻¹, e máximo de, aproximadamente, 0,95 mS/cm na dosagem de 50 mg L⁻¹.

O aumento da condutividade, quando empregadas maiores dosagens do coagulante natural, pode ser explicado, possivelmente, pela maior concentração de proteínas presentes na solução salina de *M. oleifera*, as quais aumentam os valores de condutividade elétrica, devido à adição de espécies iônicas à solução pelo extrato das sementes. O uso do sal CaCl_2 também pode ter contribuído para o aumento da condutividade, devido à adição de cátions na água.

Figura 8. Valores de condutividade, em água com turbidez de 10 e 20 uT, em diferentes dosagens do coagulante *Moringa oleifera*, após C/F/FAD. Água 10 e 20 uT - Condutividade inicial: 0,16 mS/cm. Legenda: letras diferentes indicam diferença estatística (Teste Tukey, $p < 0,05$).

A respeito do pH, não houve diferença estatística entre os valores, após C/F/FAD, entre todas as dosagens de coagulante empregadas (Figura 9). Também notou-se que não ocorreu alteração significativa do pH.

Os resultados obtidos para o parâmetro pH corroboram com aqueles encontrados em outros

estudos, os quais afirmam que o extrato das sementes não contribui para alterações na relação H^+/OH^- presentes na solução (Carvalho et al., 2016; Choy et al., 2014). Desse modo, é possível afirmar que o emprego das sementes de *Moringa oleifera* como coagulante não alteram o pH da água.

Figura 9. Valores de pH, em água com turbidez de 10 e 20 uT, em diferentes dosagens do coagulante *Moringa oleifera*, após C/F/FAD. Água 10 uT – Média pH inicial: $7,62 \pm 0,06$. Água 20 uT – Média pH inicial: $7,7 \pm 0,04$. Legenda: letras diferentes indicam diferença estatística (Teste Tukey, $p < 0,05$).

Quimiometria dos dados

Utilizou-se a análise de componentes principais (PCA) (Figura 9), com o objetivo de visualizar a estrutura dos dados obtidos (cor, turbidez, pH e condutividade), a fim de encontrar semelhanças entre os parâmetros e condições monitoradas antes e após tratamento.

A matriz (Componentes Principais - PC) que caracteriza a PCA é composta por scores (condizentes as coordenadas de cada amostra nas PCs) e loadings (atribuição das variáveis nas PCs).

Figura 9. Análise de componentes principais na distribuição de *loadings* (A) e *scores* (B). Legenda: Na figura B: 10/10/i a 10/50/i - água com turbidez de 10 uT, nas dosagens de 10 a 50 mg L⁻¹ (pré-tratamento); 10/10/f a 10/50/f - água com turbidez de 10 uT, nas dosagens de 10 a 50 mg L⁻¹ (pós-tratamento); 20/10/i a 20/50/i - água com turbidez de 20 uT, nas dosagens de 10 a 50 mg L⁻¹ (pré-tratamento); 20/10/f a 20/50/f - água com turbidez de 20 uT, nas dosagens de 10 a 50 mg L⁻¹ (pós-tratamento).

Por intermédio da técnica PCA foi possível verificar a dispersão dos parâmetros avaliados neste estudo, no que diz respeito às duas primeiras componentes principais, que representaram 88,99% da variância dos dados. A primeira componente principal - PC 1, segue na direção da variação (máxima possível) existente no conjunto de dados; já a segunda componente (PC 2) é ortogonal a primeira, representando a segunda maior variância.

Foi observado que a PC 1, com 78,49% de variância, segmenta os parâmetros cor, turbidez e pH da condutividade das amostras finais e iniciais. Esta constatação confirma as observações anteriores, nos quais foi demonstrado que os valores finais de cor, turbidez e pH foram menores do que na condição inicial, sendo que ocorria o oposto com a condutividade.

Ao analisar a PC 2, foi possível perceber que o parâmetro cor, nas duas condições de turbidez e

em determinadas dosagens de coagulantes, iniciais e finais, apresentou semelhança. Outro grupamento que demonstrou paridade foi na água com turbidez de 20 uT, nas condições iniciais, possivelmente devido à igualdade dos valores de pH entre estas amostras.

Desse modo, por intermédio da análise de PCA, foram reafirmadas tendências apontadas anteriormente neste estudo: aumento da condutividade, conforme há o incremento na dosagem de coagulante, enquanto ocorre diminuição dos valores de cor, turbidez e pH, em qualquer dosagem de coagulante aplicada.

Conclusões

Após a análise dos resultados, foi possível concluir que o processo de C/F/FAD, utilizando o coagulante *Moringa oleífera*:

- 1) Para remoção de turbidez, em águas com baixa turbidez, não são necessárias dosagens elevadas de coagulante – como ocorre em águas com alta turbidez, onde são necessários emprego de dosagens elevadas;
- 2) Em águas com cor baixa, neste caso principalmente na condição de água com turbidez de 10 uT, evidenciou-se que dosagens baixas de coagulante já são suficientes para promover elevada remoção. Em água com turbidez de 20 uT, que apresentava maior cor, restou comprovado que, possivelmente, maiores remoções seriam obtidas com dosagens superiores a 50 mg L⁻¹.
- 3) A condutividade era maior à medida que se aumentava a dosagem de coagulante. São necessárias futuras pesquisas para avaliar o quanto a condutividade pode alterar na remoção de turbidez e cor, em virtude da maior ou menor presença de íons na água;
- 4) Não foram observadas alterações no pH, despendendo correções pós-tratamento - como ocorre quando empregado sais de alumínio.
- 5) Em virtude dos resultados obtidos, é possível afirmar que as sementes de *Moringa oleífera* podem ser empregadas em unidades de tratamento de água com baixa turbidez.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa

concedida; ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por todo apoio e infraestrutura concedida, e à Universidade Federal de Sergipe, pela doação das sementes de *Moringa oleífera*.

Referências

- Apha, Awwa, Wef. 2012. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. American Public Health Association, Washington.
- Araujo, M.O., Santo, P.A., Bittencourt, L.P., Andrade, F.M.C., Casali, V.W.D. 2013. Efeito de doses das preparações homeopáticas de moringa (*Moringa oleífera*) em água. In: Resumo do VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia.
- Baptista, A. T. A., Silva, M. O., Gomes, R. G., Bergamasco, R., Vieira, M. F., Vieira, A. M. S. 2017. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleífera* lam and its application in superficial water treatment. Separation and Purification Technology 180, 114-124.
- Baptista, A. T. A., Silva, M. O., Pinto, L. A. de M., Cardines, P. H. F., Mateus, G. A. P.; Tavares, F. O., Gomes, R. G.; Bergamasco, R.; Vieira, A. 2015. Coagulation-flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleífera* for the treatment of surface water. Chemical Engineering Journal 276, 166-173.
- Beltran-Heredia, J., Sánchez-Martín, J. 2009. Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleífera* seed extract. Journal of Hazardous Materials 164, 713-719.
- Blanco, L. M., Minihoni, R. T. A., Costa, G. H. G. 2016. Extrato de acácia negra no tratamento primário de água fluvial. Environmental Research Science & Technology 1, 10-15.
- Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R., Teixeira, M. R. 2017. The use of *Moringa oleífera* as a natural coagulant in surface water treatment. Chemical Engineering Journal 303, 226-237.
- Carvalho, M. S., Alves, B. R. R., Silva, M. F., Bergamasco, R., Coral, L. A., Bassetti, F. J. 2016. CaCl₂ applied to the extraction of *Moringa oleífera* seeds and the use for *Microcystis aeruginosa* removal. Chemical Engineering Journal, 304, 469-475.

- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., Ramanan, R. N. 2014. Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences* 26, 2178-2189.
- Freitas, J. H. E. S., Santana, K. V. de, Nascimento, A. C. C. do, Paiva, S. C. de, Moura, M. C. de, Coelho, L. C. B. B., Oliveira, M. B. M. de, Paiva, P. M. G., Nascimento, A. E. do, Napoleão, T. H. 2016. Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble *Moringa oleifera* seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water. *Chemosphere* 163, 133-141.
- Gámez, L. L. S., Delrisco, M. L., Cano, R. S. Effect of storage and preparation methods of *Moringa oleifera* seeds during the coagulation process. 2016. *Desalination and Water Treatment* 57, 16376-16383.
- Gopalakrishnan, L., Doriya, K., Kumar, D. S. 2016. *Moringa Oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*.
- Hamid, S. H. A., Lananan, F., Khatoon, H.; Jusoh, A., Endut, A. 2016. A study of coagulating protein of *Moringa oleifera* in microalgae bioflocculation. *International Biodeterioration & Biodegradation* 113, 310-317.
- Huang, X., Bo, X., Zhao, Y., Gao, B., Wang, Y., Sun, S. 2014. Effects of compound bioflocculant on coagulation performance and floc properties for dye removal. *Bioresour. Technol* 165, 116-221.
- Kansal, S. K., Kumari, A. 2014. Potential of *M. oleifera* for the treatment of water and wastewater. *Chem. Rev.* 114, 4993-5010.
- Keogh, M. B., Elmusharaf, K., Borde, P., McGuigan, K. G. 2017. Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. *Solar Energy* 158, 448-454.
- Leyva, J. P. R., Andrade, I. C., Sánchez, J. I. S., Claverie, A. L., Lam, S. A. J., Madrigal, Y. G. C., Corrales, L. A. P. 2017. A Eficácia da Farinha de Sementes de *Moringa oleifera* e Quitosana como Coagulantes-Floculantes para Tratamento de Água. *Clean, Soil, Air, Water*, 45.
- Luz, L. de A., Rossati, F. A., Pereira e Costa, R. A., Napoleão, T. H., Paiva, P. M. G., Coelho, C. B. B. C. 2017. Citotoxicidade do coagulante *Moringa oleifera* lectina (cMoL) para células de melanoma B16-F10. *Toxicologia in Vitro* 44, 94-99.
- Katata-Seru, L., Moremedi, T., Aremu, O. S., Bahadur, I. 2018. Green synthesis of iron nanoparticles using *Moringa oleifera* extracts and their applications: Removal of nitrate from water and antibacterial activity against *Escherichia coli*. *Journal of Molecular Liquids* 256, 296-304.
- Keeley, J., Jarvis, P., Judd, S. J. 2014. Coagulant recovery from water treatment residuals: a review of applicable technologies. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol* 44, 2675-2719.
- Manivannan, Y., Manivannan, B., Beach, T. G., Halden, R. U. 2015. Role of environmental contaminants in the etiology of Alzheimer's Disease: a Review. *Curr Alzheimer Res.* 12, 116-146.
- Mateus, G. A. P., Paludo, M. P., Dos Santos, T. R., Silva, M. F., Nishi, L., Klenc, M. R. F., Gomes, R. G., Bergamasco, R. 2018. Obtaining drinking water using a magnetic coagulant composed of magnetite nanoparticles functionalized with *Moringa oleifera* seed extract. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6, 4084-4092.
- Moura, K. S. de., Silva, H. R. C. da., Dornelles, L. P., Coelho, L. C. B. B., Napoleão, T. H., Oliveira, M. D. L. de., Paiva, P. M. G. 2016. Coagulant activity of water-soluble *Moringa oleifera* lectin is linked to lowering of electrical resistance and inhibited by monosaccharides and magnesium ions. *Appl. Biochem. Biotechnol* 180, 1361-1371.
- Muthuraman, G., Sasikala, S. 2014. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20, 1727-1731.
- Nordmark, B. A., Przybyciena, T. M., Tilton, R. D. 2016. Comparative coagulation performance study of *Moringa oleifera* cationic protein fractions with varying water hardness. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 4, 4690-4698.
- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., Okada, M. 2001. Coagulation mechanism of salt solution - extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. *Water Research* 35, 830-834.
- Pereira, F. S., Galvão, C. C., Lima, V. F. de, Rocha, M.F. da, Schuler, A.R., Da Silva, V. L., Filho, N. M. de Lima. 2016. The versatility of the *Moringa oleifera* oil in sustainable applications. *OCL*, 23, 2-7.
- Priya, T., Tarafdar, A., Gupta, B., Mishra, B. K. 2017. Effect of bioflocculants on the coagulation activity of alum for removal of trihalomethane precursors from low turbid water. *Journal of environmental sciences* 70, 1-10.

- Santos, A. F. S., Luz, L. A., Pontual, E. V., Napoleão, T. H., Paiva, P. M. G., Coelho, L. C. B. B. 2015. *Moringa oleifera*: resource management and multiuse life tree. Adv. Res. 4, 388-402.
- Shebek, K., Schantz, A. B., Sines, I., Lauser, K., Velegol, S., Kumar, M. 2015. The Flocculating Cationic Polypeptide from *Moringa oleifera* Seeds Damages Bacterial Cell Membranes by Causing Membrane Fusion. Langmuir 31, 4496-4502.
- Teixeira, R. M., Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R. 2017. Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. Journal of Cleaner Production 162, 484-490.