



USO DE EXTRATO SALINO DA *MORINGA OLEIFERA* PARA REDUÇÃO DA TURBIDEZ DE ÁGUAS CINZAS

BRUNO SANTIAGO ARCANJO; MARIANE FERREIRA DA SILVA; DANIEL FREITAS
FREIRE MARTINS

RESUMO

A água é um recurso vital para a sustentação da vida na Terra, entretanto, devido ao consumo excessivo e a poluição dos meios hídricos, a sua disponibilidade vem diminuindo a cada ano. Dessa forma, é essencial buscar alternativas eficazes para o tratamento da água afim de melhorar sua qualidade e garantir sua disponibilidade. A coagulação é um processo empregado no tratamento de efluentes, onde são utilizados coagulantes químicos e naturais. Visando uma alternativa sustentável, o presente trabalho utilizou extrato salino de *Moringa oleifera* para a redução da turbidez de águas cinzas. Duas amostras de água com turbidez diferentes foram coletadas para uma avaliação da capacidade de redução desse parâmetro por meio do uso de extratos de *Moringa oleifera*. Para produzir os extratos coagulantes, as sementes de *Moringa oleifera* foram descascadas, trituradas, pesadas e dissolvidas em solução aquosa de NaCl 1 mol/L, posteriormente, os coagulantes foram aplicados nas amostras de água cinza tendo como base o planejamento fatorial 2^2 com repetição. Os melhores resultados foram verificados nas amostras de água com turbidez inicial mais elevada, cuja turbidez média inicial era de 116,6 NTU. Após o tratamento, a menor turbidez observada foi de 41,80 NTU, representando 64,15% de redução. Já nas amostras de água com turbidez inicial menor, não foram obtidos resultados satisfatórios, sugerindo que a ação do extrato salino de *Moringa oleifera* não é eficaz na remoção da turbidez em águas que inicialmente têm baixa turbidez. De acordo com o planejamento fatorial, a condição mais eficaz para a remoção da turbidez foi alcançada com um tempo de homogeneização de 30 minutos e uma concentração do coagulante de 5 g/L.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Reúso; Coagulação; Tratamento; Semiárido.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população urbana, associado a expansão da agricultura e do setor industrial, a demanda por recursos hídricos vem crescendo ao longo dos anos (Bouaroudj *et al.*, 2019). A dependência de práticas agrícolas que estão sujeitos à disponibilidade de água, em meio à irregularidade das chuvas e às adversidades climáticas do Semiárido, resulta em alta degradação ambiental e vulnerabilidade socioeconômica (Tavares *et al.*, 2019).

Diante do cenário atual, é preciso procurar alternativas visando aumentar o número de indivíduos com acesso a água. Uma das alternativas viáveis é a recuperação de efluentes visando o seu reúso, entre inúmeros métodos de tratamento está a coagulação que, segundo Richter (2009), consiste na adição de substâncias químicas para que ocorra a precipitação dos compostos em solução e instabilidade de suspensões coloidais de partículas sólidas. Os coagulantes são geralmente produtos químicos utilizados para a remoção de sólidos em suspensão na água que não podem ser removidos por outros métodos de tratamento (Marques, 2023).

A *Moringa oleifera* é uma planta originária da Ásia, que tem a capacidade de se adaptar a climas secos e, devido a essas características, conseguiu se proliferar em diversas regiões do

planeta (Castro; Paulino, 2015). Essas características ajudaram na proliferação da *Moringa oleifera* no Brasil, principalmente no semiárido nordestino, região esta que é caracterizada por períodos de estiagem e elevadas temperaturas em grande parte do ano (Zanella, 2014).

A *Moringa oleifera* é um excelente coagulante natural, sua facilidade de preparo e eficiência poderá fazer com que esse coagulante seja o substituto do sulfato de alumínio, coagulante químico amplamente utilizado no tratamento de água (Ali *et al.*, 2010). As sementes da *Moringa oleifera*, após serem trituradas e misturadas em águas que apresentam certa turbidez, conseguem coagular e retirar os materiais suspensos presentes na água, alocando-os no fundo do recipiente (Castro; Paulino, 2015). A utilização de *Moringa oleifera* como coagulante natural é um método viável principalmente para o tratamento de águas residuais, tendo como uma das principais vantagens a sua baixa toxicidade (Figueiredo *et al.*, 2022).

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo geral verificar a eficiência da utilização de extratos salinos da *Moringa oleifera*, obtidos sob diferentes condições, como coagulante natural para a remoção da turbidez da água cinza. Este estudo busca avaliar a eficácia desses extratos em diversos cenários, determinando as melhores condições para a diminuição da turbidez das amostras de água cinza.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de *Moringa oleifera* foram adquiridas por meio de coleta nas localidades de Caraúbas e Patu, situadas na região oeste do Estado do Rio Grande do Norte, onde foram transportadas para o laboratório de química da UFERSA, campus Caraúbas. No referido laboratório, as sementes foram submetidas ao procedimento de descascamento e, posteriormente, foram secas em estufa a 40°C por 3 horas, objetivando a remoção da umidade. Após esse procedimento, o material foi triturado em liquidificador e peneirado utilizando uma peneira com malha 45 mesh, obtendo assim o pó das sementes que foi empregado no preparo dos extratos coagulantes.

Os extratos coagulantes da *Moringa oleifera* foram obtidos mediante a aplicação do procedimento proposto por Beltrán-Heredia e Sánchez-Martín (2009) e Balbinoti *et al.* (2018), com modificações específicas implementadas durante a execução do método. Para a preparação dos extratos coagulantes, foram pesadas quantidades de 0,5 g e 1 g do pó derivado das sementes, que foram, em seguida, adicionadas a 100 ml de uma solução de NaCl 1,0 mol/L. Esse procedimento resultou na obtenção de dois extratos com diferentes concentrações, sendo uma de 5 g/L e outra de 10 g/L. Após a adição do pó das sementes, a mistura resultante foi submetida a homogeneização durante 60 minutos, em um agitador magnético, a uma velocidade de 300 rpm. Ao final, as misturas foram filtradas em papel de filtro qualitativo, colocadas em frascos de plástico, previamente higienizados, e armazenadas em ambiente refrigerado.

As amostras de água cinza utilizadas foram coletadas em uma residência situada na zona rural do município de Caraúbas/RN. Com o propósito de verificar a eficiência dos extratos coagulantes, foram coletadas duas amostras de água com turbidez distintas. As amostras foram transportadas para o laboratório de química da UFERSA, campus Caraúbas, no qual foram realizadas as leituras iniciais da turbidez. As análises foram conduzidas de acordo com a metodologia prescrita no Standard Methods of APHA (2005).

Os ensaios de coagulação foram conduzidos de acordo com planejamento fatorial 2^2 com repetição, empregando dois fatores e dois níveis, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores e níveis utilizados no experimento.

Fatores	Nível (-)	Nível (+)
---------	-----------	-----------

Tempo de homogeneização (1)	15 min	30 min
Concentração do coagulante de NaCl (2)	5 g/L	10 g/L

Fonte: Do autor (2024).

Na etapa inicial do planejamento, elaborou-se uma tabela de coeficientes de contraste e, a partir dela, foram obtidas as combinações necessárias para a execução dos ensaios, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Ensaios para o planejamento fatorial 2².

Ensaios	Fator 1	Fator 2
1	15 min	5 g/L
2	30 min	5 g/L
3	15 min	10 g/L
4	30 min	10 g/L

Fonte: Do autor (2024).

Para a condução dos testes de coagulação conforme o planejamento fatorial, procedeu-se da seguinte maneira:

I. Aplicação do coagulante nas amostras de água cinza

Pipetou-se 100 mL de uma amostra de água cinza e transferiu-se para um erlenmeyer de 250 mL. Posteriormente, de acordo com o planejamento fatorial, foram pipetados 30 mL do extrato coagulante, os quais foram adicionados aos 100 mL da amostra de água cinza já presentes no erlenmeyer.

II. Tempo de homogeneização dos coagulantes

Para promover a homogeneização da mistura resultante, o erlenmeyer foi colocado em um agitador magnético, mantendo o sistema em constante agitação a 300 rpm. O tempo de homogeneização foi ajustado conforme as especificações estabelecidas no planejamento fatorial.

III. Tempo de decantação e leitura das amostras

Após a etapa de homogeneização, as amostras foram deixadas em repouso por um período de 120 minutos, permitindo a estabilização do sistema. Findo o intervalo de espera, procedeu-se à realização das análises de turbidez pós-tratamento.

Com o intuito de verificar se o tempo de homogeneização e decantação influenciava na turbidez das amostras, foi realizado o mesmo procedimento descrito acima sem a adição do extrato coagulante.

Após a coleta dos dados relativos à turbidez, foram determinados os valores do produto do erro pelo t de Student e dos efeitos de primeira e segunda ordem que possibilitou a identificação da influência dos fatores estudados na resposta obtida. Para investigar o potencial impacto da agitação sobre a turbidez das amostras de água cinza, sem a aplicação de coagulante, realizou-se o teste de Tukey através de conjunto com análises de variância (ANOVA), utilizando o software Origin 2018. O teste de Tukey também foi realizado nos resultados obtidos durante a caracterização das amostras de água cinza com o objetivo de determinar se a turbidez das amostras diferia estatisticamente entre si.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma melhor compreensão, foi denominada que a amostra de água apresentando maior turbidez como água 1, enquanto a amostra de água com menor turbidez será denominada água 2. A Tabela 3 exibe os valores iniciais para turbidez. O teste de Tukey realizado na caracterização das amostras de água foi para verificar estatisticamente se as amostras se deferem entre si, o que realmente é confirmado.

Tabela 3 – Caracterização das amostras de água.

Parâmetros	Média ± Desvio Padrão	
	Água 1	Água 2
Turbidez (NTU)	125,73 ± 0,25a	34,06 ± 0,06b

Letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2024).

A Tabela 4 exibe os valores das médias da turbidez das amostras de água inicial e submetidas ao tempo de homogeneização e decantação, de acordo com o planejamento fatorial, sem a aplicação do coagulante. Após a realização do teste de Tukey, verificou-se que o processo de homogeneização e decantação influencia nos resultados da turbidez. Nas amostras com turbidez mais elevada, observou-se uma diminuição, enquanto nas amostras de água com turbidez mais baixa, ocorreu um leve aumento. Assim, os valores de turbidez após este procedimento, serão os valores considerados posteriormente como iniciais para o cálculo do percentual de redução da turbidez após aplicação do extrato salino coagulante.

Tabela 4 – Teste de Tukey nas amostras sem aplicação do coagulante.

Amostras	Média ± Desvio Padrão		
	Inicial	15 minutos	30 minutos
Água 1 (NTU)	125,73 ± 0,25a	123,06 ± 0,11b	116,60 ± 0,53c
Água 2 (NTU)	34,06 ± 0,06a	35,60 ± 0,10b	34,43 ± 0,05c

Letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância.

Fonte: Do autor (2024).

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios realizados da água 1, juntamente com suas respectivas médias. Destaca-se que o ensaio 2, que utilizou o tempo de homogeneização de 30 minutos e a concentração do coagulante a 5g/L, teve o melhor resultado na redução da turbidez em comparação com os demais ensaios.

Tabela 5 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2² em relação a turbidez.

Ensaio	Resposta 1	Resposta 2	Média (NTU)	Desvio Padrão
1	66,33	65,63	65,98	0,49
2	41,37	42,23	41,80	0,60
3	64,27	65,07	64,67	0,56
4	46,37	45,73	46,05	0,45

Fonte: Do autor (2024).

A redução da turbidez, quando comparada à amostra não tratada com um período de homogeneização de 30 minutos que teve média de 116,6 NTU, alcançou um índice de redução de 64,15 %.

Analisando a Tabela 6 e comparando o Efeito 1, que se relaciona ao tempo de homogeneização, com o produto do erro pelo t de Student, nota-se que o valor do Efeito 1 é muito superior em módulo. Como este efeito é negativo, significa que ao aumentar de um nível menos (-) para um nível mais (+), ocorre uma redução na turbidez. Assim, para obter melhores resultados, o tempo de 30 minutos de homogeneização é mais adequado. Já o efeito 2, que trata da concentração da solução coagulante, e o efeito 12, que é a interação entre o tempo de homogeneização e a concentração do coagulante, seus valores são um pouco maiores do que o

produto do erro pelo t de Student, mas ainda estão na mesma ordem de grandeza, sugerindo que a concentração do coagulante e sua interação com o tempo de homogeneização não apresentam efeitos significativos na resposta obtida.

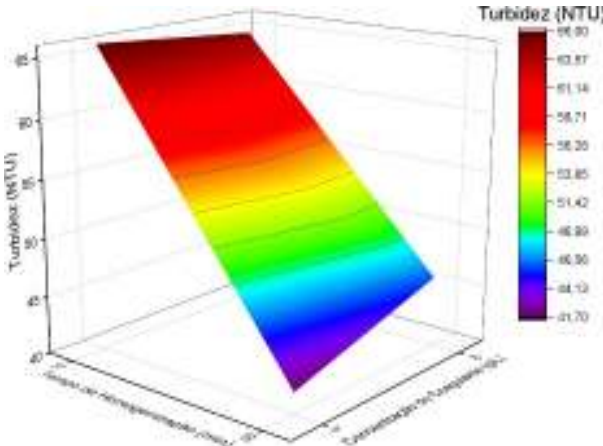
Tabela 6 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação a turbidez.

Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
-21,4	1,47	2,78	0,3774	1,0481

Fonte: Do autor (2024).

A Figura 1 mostra o gráfico de superfície de resposta em relação à turbidez. É evidente que ao passarmos do menor nível, que corresponde ao menor tempo de homogeneização do coagulante, para o maior nível, ocorre uma redução significativa da turbidez, para as duas concentrações.

Figura 1 – Gráfico de superfície de resposta referente a turbidez da água 1 pós-tratamento



Fonte: Do autor (2024).

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios conduzidos para avaliação da turbidez da água 2. Há uma diferença significativa entre os ensaios realizados, aqueles com concentrações mais elevadas de coagulante exibiram níveis mais elevados de turbidez. Em contrapartida, os ensaios que registraram redução na turbidez apresentaram uma variação modesta.

Tabela 7 – Respostas, médias e desvio padrão para o planejamento fatorial 2² em relação a turbidez.

Ensaios	Resposta 1	Resposta 2	Média (NTU)	Desvio Padrão
1	26,00	25,97	25,99	0,02
2	27,13	27,10	27,12	0,02
3	52,33	52,90	52,62	0,40
4	48,13	47,87	48,00	0,18

Fonte: Do autor (2024).

De maneira semelhante ao procedimento anterior, os valores dos efeitos de primeira e segunda ordem foram comparados utilizando o produto do erro pelo t de Student, conforme apresentado na Tabela 8, para proporcionar um entendimento sobre quais fatores e níveis foram significativos.

Tabela 8 - Efeitos de primeira ordem, segunda ordem, valores do erro e do produto do erro pelo t de student em relação à turbidez.

Efeito 1	Efeito 2	Efeito 12	Erro	Erro*t de student
-1,7425	23,7575	-2,8725	0,1569	0,4359

Fonte: Do autor (2024).

Analisando o efeito 2, que relaciona a concentração do coagulante, ocorre uma variação de seu valor em relação ao produto do erro pelo t de Student. O fato deste valor ser positivo sugere que há um aumento na turbidez ao se passar de um nível menos para um nível mais. O efeito 1 e o efeito 12 demonstraram valores diferentes do produto do erro pelo teste t de Student, porém em magnitude inferior ao efeito 2. Como esses valores são negativos, nota-se uma ligeira redução da turbidez ao se passar de um nível menos para um nível mais em ambos os efeitos.

Um dos motivos para esse aumento da turbidez é a baixa eficiência dos coagulantes de *Moringa oleifera* em água de baixa turbidez. Estudos conduzidos por Okuda *et al.* (2001), verificaram que a eficácia das propriedades coagulantes da moringa foi mais eficiente em amostras de água com alta turbidez. Esse fato também foi comprovado por Franco *et al.*, (2017), onde se trabalhou com amostras de água com turbidez inicial de 20 NTU, que após a aplicação do coagulante de *Moringa oleifera* sofreu um aumento em sua turbidez inicial. Segundo Moreti *et al.*, (2013), essa tendência pode ser atribuída ao aumento da carga orgânica, que se intensifica com a concentração do coagulante a 10 g/L, devido à alta presença de substâncias orgânicas na *Moringa oleifera*, como óleo, proteínas e gorduras.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o coagulante natural salino da *Moringa oleifera* demonstra eficácia na remoção de turbidez de água cinza. O coagulante demonstrou maior eficácia nas amostras de água 1, que apresentam níveis mais elevados de turbidez, alcançando uma taxa de remoção de 64,15 % após 30 minutos de homogeneização. Tanto o coagulante com menor concentração (5 g/L) quanto o com maior concentração (10 g/L) foram mais eficazes quando o tempo de homogeneização foi prolongado. No entanto, na água 2, o coagulante com menor concentração resultou em uma redução mínima da turbidez, enquanto o de maior concentração teve um efeito adverso, aumentando a turbidez das amostras de água que possuíam menor turbidez.

REFERÊNCIAS

ALI, E. N.; MUYIBI, S. A.; SALLEH, H. M.; ALAM, M. Z.; SALLEH, M. R. M. Production of Natural Coagulant from Moringa Oleifera Seed for Application in Treatment of Low Turbidity Water. **Journal Of Water Resource And Protection**, v. 02, n. 03, p. 259-266, dez. 2010. Disponível em: <https://www.scirp.org/html/10-9400117_1498.htm>. Acesso em: 23 jun. 2023.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21st ed. Washington: APHA. 2005.

BALBINOTI, J. R.; BEGHETTO, C. L.; SILVA, L. A.; CORAL, L. A.; BASSETTI, F. J. Uso de sementes de Moringa oleifera como agente coagulante para o tratamento de água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 5, p. 1748-1760, 2018.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J. Improvement of water treatment pilot plant with Moringa oleifera extract as flocculant agent. **Environmental Technology**, London,

v. 30, n.6, p.525-534, maio. 2009. Disponível em:
<<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09593330902831176>>. Acesso em: 10 julho. 2023.

BOUAROU DJ, Sara; MENAD, Ahmed; BOUNAMOUS, Azeddine; ALI-KHODJA, Hocine; GHERIB, Abdelfettah; WEIGEL, Dana E.; CHENCHOUNI, Haroun. Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. **Chemosphere**, [S.L.], v. 219, p. 76-88, mar. 2019. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653518323002?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

CASTRO, Haroldo; PAULINO, Giselle. **Moringa, a árvore mágica que pode acabar com a fome no mundo**. 2015. Disponível em: <<https://epoca.oglobo.globo.com/colunas-e-blogs/viajologia/noticia/2015/06/moringa-arvore-magica-que-pode-acabar-com-fome-no-mundo.html>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

FIGUEIREDO, M. T. S.; SANTOS, C. B.; SANTOS, M. H.; SILVA, D. K.; OLIVEIRA, T. L. R. Water treatment using Moringa oleifera seed extract: An integrative review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 1-9, jan. 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i2.25889. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25889>>. Acesso em: 11 julho. 2023.

FRANCO, C. S; BATISTA, M. D. A; OLIVEIRA, L. F. C; KOHN, G. P; FIA, R. Coagulação com semente de moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 781-788, ago. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/ZGTXxZwjpZH9wJZtKyXjh8B/>. Acesso em: 29 jan. 2024.

MARQUES, Flávia. **Entenda o que é coagulante e sua função no tratamento de água**. Disponível em: <<https://acquablog.acquasolution.com/entenda-o-que-e-coagulante-e-qual-sua-funcao-no-tratamento-de-agua/>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

MORETI, Livia de Oliveira Ruiz; CAMACHO, Franciele Pereira; BONGIOVANI, Milene Carvalho; STROHER, Ana Paula; NISHI, Leticia; VIEIRA, Angelica Marquetotti Salcedo; BERGAMASCO, Rosangela. EMPREGO DAS SEMENTES DE MORINGA OLEIFERA LAM, COMO COAGULANTE ALTERNATIVO AO POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC), NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS POTÁVEIS. **E-Xacta**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 153-165, 10 jun. 2013. <Disponível em: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/view/991>>. Acesso em: 26 dez. 2023.

OKUDA, T; BAES, A; NISHIJIMA, W; OKADA, M. Isolation and characterization of coagulant extracted from moringa oleifera seed by salt solution. **Water Research**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 405-410, fev. 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135400002906>>. Acesso em: 8 dez. 2023.

RICHTER, Carlos A. **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.

TAVARES, Fiama Beatriz; SILVA, Ana Carla Rodrigues da; FERNANDES, Cleyton dos Santos; MOURA, Karidja Kalliany Carlos de Freitas; TRAVASSOS, Kaline Dantas. CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE PIMENTÃO UTILIZANDO ÁGUA RESIDUÁRIADOMÉSTICA TRATADA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 3683-3690, abr. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340702385_CRESCIMENTO_E_PRODUCAO_D_E_PIMENTAO_UTILIZANDO_AGUA_RESIDUARIA_DOMESTICA_TRATADA>. Acesso em: 12 jan. 2024.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v., n. 36, p. 126-142, 2014.