



I-220 -EXTRAÇÃO DOS COAGULANTES NATURAIS DE *Moringa oleifera* E QUIABO (*Abelmoschus esculentus*) PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS TURVAS

Gabrielle Sanches Lima Mesquita (1)

Graduanda em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Técnica em Edificações pelo Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG/OP). Estudante de Iniciação Científica na área de Saneamento.

Tamara Daiane de Souza (2)

Doutora em Recursos Hídricos e Ambientais com ênfase em tratamento de efluentes pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Urbana da Escola Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (DEURB/EM - UFOP).

Bianca Cristina Morais Campolina (3)

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Técnica em Edificações pelo Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG/OP). Estudante de Iniciação Científica na área de Saneamento.

Joseandra Aparecida Campos Bongiovanni (4)

Engenheira Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Múcio André dos Santos Alves Mendes (5)

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (DECIV/EM - UFOP).

Endereço (2): Campus Morro do Cruzeiro - Bauxita - Ouro Preto - MG - CEP: 35400-000 - Brasil - Tel: (31) 3559-1471 - e-mail: tamara.souza@ufop.edu.br.

RESUMO

O presente trabalho visa explorar a extração e aplicação de coagulantes naturais a partir das sementes de *Moringa oleifera* e da hortaliça quiabo (*Abelmoschus esculentus*) para o tratamento de águas turvas. Considerando os desafios e impactos ambientais dos coagulantes químicos tradicionais, este estudo propõe uma alternativa sustentável e que demonstra efetividade. A metodologia inclui a obtenção e preparação dos extratos naturais, seguidos de testes de coagulação/floculação em águas com elevada turbidez. Resultados preliminares indicam que ambos os coagulantes naturais apresentam eficiência na remoção de turbidez e cor da água, além de vantagens adicionais como a biodegradabilidade e menor toxicidade. Este trabalho visa contribuir para a otimização dos processos de tratamento de água, oferecendo uma solução ecologicamente correta e potencialmente mais segura para a saúde pública. A solução de sementes de moringa reduziu a turbidez em até 93,12%, e a de quiabo em até 48,42%. A técnica é considerada reprodutível e eficaz, mas sugere-se mais estudos sobre a conservação e potencial combinação com outros agentes para otimizar o processo. Os dados coletados sugerem que, com a escalabilidade e continuidade das pesquisas, os coagulantes naturais podem se tornar uma alternativa viável e sustentável aos coagulantes químicos convencionais, promovendo a sustentabilidade no gerenciamento de recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulantes naturais, Tratamento de água, Quiabo, *Moringa oleifera*, Otimização.

INTRODUÇÃO

Uma mudança de paradigma no que tange o tratamento de água e esgoto tem impulsionado a implementação de técnicas mais sustentáveis nestas operações. Usualmente, a aplicação do tratamento físico-químico utiliza, na etapa de coagulação/floculação, sais inorgânicos como agentes coagulantes, como o sulfato de alumínio. No entanto, existem estudos como o de Gupta et al. (2005) que relacionam o uso deste coagulante com doenças neurológicas, comprometendo a saúde pública. Há ainda produção de lodo tóxico e a elevação dos



custos nas estações devido a necessidade de correção do pH da água, que se altera devido às propriedades químicas que o processo acarreta.

Já os coagulantes naturais, em geral, não afetam o pH da água, apresentam boa capacidade de remoção de cor e turbidez, promovem expressiva remoção de bactérias, são biodegradáveis, não tóxicos e geram lodo em menor quantidade e com menores teores de metais (Nwaiwu e Lingmu, 2011). Entretanto, ainda são incipientes os estudos que otimizam os processos de coagulação e floculação com coagulantes naturais, por isso, ainda possuem maior custo de aquisição devido ao fator de escala de produção e escassez de dados para sistemática no processo de tratamento. Ainda assim, os coagulantes naturais surgem como alternativa promissora. Dentre estes, destacam-se a *Moringa oleifera* (moringa) e mais recentemente, a solução de quiabo (*Abelmoschus esculentus*).

A moringa é utilizada na coagulação através do extrato de sua semente, que possui proteína com propriedades coagulantes, não altera o pH nem o gosto da água e não é tóxica para humanos ou animais. A aplicação com melhores resultados acontece em águas mais turvas, garantindo que o potencial coagulante da planta atue sobre as partículas e diminua a turbidez da água. Já o quiabo (*Abelmoschus esculentus*) é uma hortaliça de grande importância econômica e alimentar, cultivada em áreas tropicais e subtropicais, e tem despertado a atenção devido às suas propriedades de coagulação/floculação (Muniz et al., 2020). A hortaliça possui polissacarídeos solúveis em água capazes de desestabilizar partículas coloidais suspensas formando flocos, uma propriedade interessante para tratamento de efluentes (Lima, 2007; Muniz et al., 2020). Também, quando maduro, o quiabo torna-se rígido e impróprio para consumo, gerando grande volume de resíduos.

É notável que ambas as plantas têm revelado propriedades coagulantes importantes, no entanto, a carência de metodologias otimizadas para a obtenção dessas soluções tem sido um grande desafio. Este trabalho busca preencher essa lacuna, oferecendo uma abordagem clara e eficaz para a obtenção de coagulantes naturais, direcionado tanto ao quiabo, cujos estudos são notoriamente incipientes, quanto à *Moringa oleifera* que, embora tenha sido objeto de estudos mais abrangentes, também carece de uma metodologia padronizada que otimize sua eficácia como coagulante.

Este trabalho busca preencher essa lacuna, oferecendo uma abordagem clara e eficaz para a obtenção de coagulantes naturais, direcionado tanto ao quiabo, cujos estudos são notoriamente incipientes, quanto à *Moringa oleifera* que, embora tenha sido objeto de estudos mais abrangentes, também carece de uma metodologia padronizada que otimize sua eficácia como coagulante.

Serão analisados diferentes valores de pH, diferentes concentrações de coagulantes naturais de moringa e de quiabo em três tempos de pausa (30, 60 e 90 minutos). A metodologia de obtenção dos coagulantes naturais será brevemente apresentada, assim como a de revisão bibliográfica empregada.

OBJETIVO

Diante do exposto, o interesse no estudo de novas tecnologias socioambientais para o tratamento de água, além da busca por uma forma mais ecológica e sustentável de proporcionar água de qualidade para a população, deve condizer com o 6º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS), documento proposto pela ONU, que estabelece a seguridade da disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos. De acordo com o tópico 6.3 da ODS, mundialmente, até o ano de 2030, a qualidade da água nos corpos hídricos deve ser expressivamente melhorada, havendo redução da poluição, eliminação do despejo e diminuição da liberação de produtos químicos e materiais perigosos em cursos d'água, reduzindo pela metade as águas residuais não tratadas (ONU, 2015).

Os ideais propostos acima auxiliam no direcionamento deste trabalho para a concepção de uma metodologia voltada à obtenção de coagulantes naturais provenientes da semente da *Moringa oleifera* e do quiabo, identificando as condições ideais para sua utilização em busca de gerar um tratamento de água eficiente e com menor geração de resíduos e riscos à saúde. Foram reunidos dados relevantes sobre os aspectos técnicos e científicos relacionados ao uso das plantas citadas, buscando avaliar os efeitos das soluções na qualidade da água tratada. E, finalmente, fornecer informações atualizadas e de relevância para profissionais que trabalham na área de tratamento de água e gestão de recursos hídricos.

Propõe-se, desta forma, evidenciar os desafios enfrentados no processo de obtenção de coagulantes naturais e apresentar uma metodologia otimizada e eficiente para extrair soluções coagulantes da moringa e do quiabo. A metodologia proposta visa estabelecer uma base para futuras pesquisas e aplicações práticas, destacando o papel crucial destes coagulantes na busca por processos sustentáveis no tratamento de água. Por fim, o trabalho pretende fornecer uma contribuição significativa ao campo da engenharia sanitária, ambiental e urbana, promovendo o uso eficaz de coagulantes naturais e estimulando investigações mais aprofundadas para maximizar seu potencial.

METODOLOGIA

A fim de revisar a bibliografia a ser utilizada, a metodologia empregada foi baseada em um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL). O método de MSL permite uma visão geral do campo estudado, possibilitando a caracterização do tipo de pesquisa, quantidade e resultados disponíveis (Petersen et al., 2008). Possibilita então, a análise de relatórios já existentes, revisando e descrevendo suas metodologias e resultados. Assim, para o presente trabalho foram selecionados apenas artigos e periódicos publicados entre os anos de 2013 e 2023, a partir dos strings da tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Estratégias de busca

Search Terms	Search Strings
1. water treatment 2. wastewater 3. mining drainage 4. synthetic turbid 5. Moringa oleifera 6. natural coagulants 7. moringa seed 8. turbidity 9. pH	moringa oleifera OR moringa OR moringa seed* AND natural coagulant* OR coagulant* (4.699 results)
	(moringa oleifera OR moringa OR moringa seed*) AND (natural coagulant* OR coagulant*) AND (water treatment OR wastewater (213 results)
	(moringa oleifera OR moringa OR moringa seed*) AND (natural coagulant* OR coagulant*) AND (water treatment OR wastewater)AND (turbidity OR pH) (182 results)
	(moringa oleifera OR moringa OR moringa seed*) AND (natural coagulant* OR coagulant*) AND (water treatment AND wastewater OR mining dranaige) AND (turbidity OR pH) (48 results)
	(water treatment AND wastewater) AND (natural coagulant* OR coagulant*) AND ("moringa" OR "oleifera" OR "moringa seed*") AND turbidity AND pH (24 results)
Sources	Timeframe
Web of science	2013 a 2023
CAPES Periodicals Portal - CAFE Access	Type of Publication: Articles and Journals

Os artigos eleitos foram então filtrados por repetição, em seguida por título e, por fim, pelo resumo. Os artigos restantes foram lidos integralmente e utilizados no projeto corrente.

METODOLOGIA DA ETAPA EXPERIMENTAL

O quiabo foi adquirido no comércio local de Ouro Preto - Minas Gerais, a partir da uma doação de hortaliças maduras geralmente rejeitadas pelos consumidores. O quiabo foi cortado ao meio, seco com papel toalha para retirada do excesso de umidade e permaneceu em estufa a 60°C até que secasse por completo. Um pilão de cerâmica foi utilizado para macerar o quiabo seco, como demonstrado na figura 1, e o pó foi peneirado em peneira de 5mm. Este pó foi reservado para a obtenção do coagulante natural.



Figura 1: Processo de moer (pilar) o quiabo seco.

A semente de moringa foi adquirida pela internet e, com casca, batida no liquidificador até que se transformasse em um pó fino, mas ainda solto. Este pó foi colocado no forno a 120°C de 10 a 15 minutos. O aspecto tomado como ideal foi, como demonstra a figura 2 abaixo, a cor acinzentada amarronzada. Percebeu-se, também, leve cheiro amendoado ao secá-la. Este pó seco foi peneirado em peneira de 5mm e reservado para obtenção do coagulante natural.



Figura 2 - Pó seco e triturado de sementes de *M. Oleifera*.

RESULTADOS

Após a leitura integral dos trabalhos foram selecionados 14 trabalhos que se enquadravam no escopo da pesquisa. Na tabela 2 abaixo estão representadas as informações dos artigos selecionados.

Tabela 2: Autores, ano de publicação e objetivos.

	TÍTULO	AUTORES, ANO	OBJETIVO	PALAVRAS-CHAVE	LINK
1	Purification of river water using Moringa Oleifera seed and copper for point-of-use household application	Alakaparampil Joseph Varkey (2020)	Envolve o uso do pó de semente de moringa como coagulante natural e floculante para clarificar água turva e o cobre como agente antibacteriano para destruir patógenos como E. coli, produzindo água potável limpa.	Water clarification; Microbial decontamination; Water disinfection; Moringa oleifera seed; Copper	https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00364
2	Optimization of sustainable chitosan/Moringa oleifera as coagulant aid for the treatment of synthetic turbid water – A systemic study,	Sivakumar Vigneshwaran, Perumal Karthikeyan, Palliyalil Sirajudheen, Sankaran Meenakshi (2020)	Investigar a remoção de turbidez de água turva sintética, solução de salmoura e águas subterrâneas contaminadas com mais turbidez usando coagulantes à base de ACCM (Quitosana carbonizada tratada com ácido Moringa. Oleifera).	Chitosan/M. oleifera coagulant; Wastewater treatment; Turbidity removal	https://doi.org/10.1016/j.enceco.2020.08.002



3	Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alum blend)	B.I. Gandiwa, L.B. Moyo, S. Neube, T.A. Mamvura, L.L. Mguni, N. Hlabangana (2020)	Estudo comparativo sobre a eficácia da mistura de coagulantes naturais à base de plantas (extratos de Cactus Opuntia e Moringa Oleifera) e um coagulante sintético (sulfato de alumínio ou alumínio) em tratamento de água bruta.	Alum; Moringa oleifera; Cactus Opuntia; Coagulation; Waste water	https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005
4	Efficacy of a natural coagulant protein from Moringa oleifera (Lam) seeds in treatment of Opa reservoir water, Ile-Ife, Nigeria	Adewole Scholes Taiwo, Kuku Adenike, Okoya Aderonke (2020)	Este estudo investigou a atividade de coagulação da água de uma proteína purificada de sementes de Moringa oleifera na água do reservatório Opa de Universidade Obafemi Awolowo, Ile-Ife	Agriculture; Chemical engineering; Environmental science; Bacteriological; Dam; Drinking water; Quality	https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03335
5	Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology	Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021)	O objetivo deste estudo foi confirmar a eficiência da utilização do pó de sementes de Moringa oleifera como coagulante natural no tratamento de águas residuais domésticas. Foi investigado em ambas as características de águas residuais: ácidas e básicas.	COD; Color; Domestic wastewater; Moringa oleifera; RSM; Turbidity	https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08451
6	Antimicrobial and coagulation potential of Moringa oleifera seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana	Richard Agbo Kwabena Ntibrey, Francis Atta Kuranchie, Samuel Fosu Gyasi (2020)	O objetivo deste trabalho foi investigar a eficiência do pó de semente de Moringa oleifera acoplado à filtração de areia no tratamento de águas cinzas de escolas públicas de ensino médio no município de Bolgatanga e Kasena Nankana West Distrito na Região do Alto Leste de Gana.	Coagulation; Efficiency; Moringa oleifera; Physico-chemical parameters; Microbial parameters	https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04627
7	Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using Moringa oleifera seed	Olusola Adedayo Adesinaa, Fatima Abdulkareem, Adeyinka S. Yusuff, Mayowa Lala, Akindele Okewale (2019)	Uso de um coagulante natural ecologicamente correto, a semente de Moringa oleifera para o tratamento de águas superficiais.	Moringa oleifera; RSM; Surface water; Optimization; Coagulation	https://doi.org/10.1016/j.sajce.2019.02.002
8	Aplicação do extrato de Abelmoschus esculentus (L.) Moench como floculante para a remoção de cor no tratamento de águas com corante têxtil	Bruna Caroline de Lima, Gigliolla Caroline Biazon Pinguelo, Laís Gimenes Vernasqui, Nelson Consolin Filho, Marilene Ferrari Barriquello Consolin, Patrícia Valderrama, Flávia Vieira da Silva Medeiros (2020)	A partir de planejamento fatorial 23 determinou-se as melhores concentrações do coagulante de quiabo, considerando a remoção de cor e geração de lodo como parâmetros.	Floculante; Quiabo; Análise Multivariada.	http://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2020.004.0035



9	Efficiency in the treatment of landfill leachate using natural coagulants from the seeds of Moringa oleifera lam and Abelmoschus esculentus (L.) moench (Okra) Expansive soil View project Collapsible soil View project	Z. L. Oliveira, M. R. C. C. Lyra, Ana Maria, Ribeiro Bastos Da Silva, Silvio Ferreira (2016)	Promover a remoção de cor, turbidez, condutividade, coliformes, pH, DQO e DBO5 do lixiviado por processos de coagulação/floculação/sedimentação/filtração utilizando coagulantes naturais: Moringa oleifera Lam e Abelmoschus esculentus (L.) Moench (Quiabo), no pré-tratamento do lixiviado de aterro em condições de laboratório.	Moringa, Okra, Leachate, treatment, Natural Coagulants.	https://www.researchgate.net/publication/312231916
10	Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (A. esculentus) mucilage as natural coagulant	T. K. F. S. Freitas, V. M. Oliveira, M. T. F. de Souza, H. C. L. Geraldino, V. C. Almeida, S. L. Fávoro, J. C. Garcia (2015)	Investigou-se a atividade coagulante da mucilagem de quiabo (Abelmoschus esculentus) como coagulante natural e sua eficiência foi comparada ao cloreto férrico (agente químico) no tratamento CF de águas residuais têxteis. Ensaios de otimização foram conduzidos pelo método padrão de teste em jarra	Bioflocculant, Biopolymer, Coagulation, Okra gum, Residual okra, Textile effluent	http://doi.org/10.1016/j.indero.2015.06.027
11	Performance evaluation of okra (abelmoschus esculentus) as coagulant for turbidity removal in water treatment	Muhammad Ridwan Fahmi, Nasrul Hamidin, Che Zulzikrami Azner Abidin, M. A. Umi Fazara, M. D. Irfan Hatim (2014)	Avaliar o desempenho na remoção de turbidez na água utilizando quiabo (Abelmoschus esculentus) como coagulante natural. O agente coagulante ativo em várias partes do quiabo foi extraído com água destilada e soluções de NaCl 1,0 M. Água sintética contendo caulim com uma turbidez de 55 NTU foi utilizada como fonte de água neste estudo.	Okra, Water treatment, Natural coagulant, Synthetic water, Turbidity removal	http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.226
12	Performance of natural coagulants obtained from agro-industrial wastes in dairy wastewater treatment using dissolved air flotation	Gustavo Lopes Muniz, Alisson Carraro Borges, Teresa Cristina Fonseca da Silva (2020)	Sementes de quiabo (Abelmoschus esculentus) e maracujá (Passiflora edulis) foram preparadas, caracterizadas e utilizadas como coagulantes naturais em experimentos de coagulação/flotação por ar dissolvido (C/DAF) tratando águas residuais sintéticas de laticínios (SDW).	Okra, Circular economy, Coagulation-flocculation, Passion fruit, Sludge	http://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101453
13	Utilisation of natural plant-based fenugreek (Trigonella foenum-graecum) coagulant and okra (Abelmoschus esculentus) flocculant for palm oil mill effluent (POME) treatment	Farah Amira Binti Mohammad Lanan, Anurita Selvarajoo, Vasanthi Sethu, Senthil Kumar Arumugasamy (2021)	O feno-grego (Trigonella foenum-graecum) e o quiabo (Abelmoschus esculentus) foram utilizados como coagulantes naturais e flocculantes, respectivamente, para o tratamento do efluente da usina de óleo de palma (POME).	Clean fuel, Coagulant-flocculant, Fenugreek, Okra, Palm oil mill effluent, Response surface methodology	http://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104667



14	UV-Vis Spectroscopy Applied in the Determination Time of <i>Abelmoschus esculentus</i> Moench Solution Used as Natural Flocculant	Dominique Martins Sala, Patrícia Valderrama, Ana Paula Peron, Flávia Vieira da Silva-Medeiros (2021)	A fim de substituir o alumínio ou reduzir a concentração do metal, várias alternativas naturais para auxiliar no processo de coagulação/floculação têm sido avaliadas, incluindo o uso de <i>Abelmoschus esculentus</i> Moench (quiabo) como agente floculante. Para determinar o tempo de degradação da solução de quiabo, foram realizadas medidas espectrais na região UV-Vis.	Okra, Chemometrics, Degradation, Natural polymer, UV-vis spectrum, Water treatment	http://doi.org/10.1007/s11270-021-05307-9
----	---	--	---	--	---

Assim, concluiu-se que de acordo com o MSL, via de regra, as sementes de moringa foram descascadas, lavadas, moídas e peneiradas. Ainda, Desta e Bote (2022) e outros autores observaram que o pó da semente é altamente atraído pela umidade tanto antes quanto depois da moagem e diversas técnicas para secagem são citadas, como secagem em estufa e em forno seco (Vigneshwaran et al., 2020; Desta e Bote, 2021). Para o quiabo maduro confirmou-se sua utilização em forma de solução com o pó seco da vagem (Lima et al., 2020), além da extração da mucilagem por imersão do quiabo (Lanan et al., 2021). Estes dados podem ser conferidos nas tabelas 3 e 4 abaixo.

Tabela 3: Metodologia de mistura e obtenção do extrato de *Moringa oleifera*.

AUTORES, ANO	Alakaparampil Joseph Varkey (2020)	Sivakumar Vigneshwaran et. al (2020)	B.I. Gandiwa et al. (2020)	Adewole Scholes Taiwo, et al. (2020)
METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE M. OLEIFERA	Descascadas, moídas em moedor elétrico e peneiradas. Agitadas: 20-25s e repouso.	Moídas e secas, estufa a 70°C por 6 h. Agitação: 10–50 rpm - intervalos de tempo de 100 min.	Descascadas e colocadas em estufa (35°C), moídas e peneiradas (500 µm). Agitado por 1 hora e repouso. Mistura 200 rpm por 2 min, seguido de 10 min de mistura lenta a 20 rpm e 30 min de sedimentação.	Secas ao ar, moídas em pó fino. Moringa e 5% (p/v) de sulfato de alumínio com 1 L de amostras de água e misturados por 3 min e repouso 1h. Mistura: 18h e mantido a 4°C. 3500 rpm por 20 min.
AUTORES, ANO	Wendesen Mekonin Desta, Million Ebba Bote (2021)	Richard Agbo Kwabena Ntibrey, et al. (2020)	Olusola Adedayo Adesinaa, et al. (2019)	
METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE M. OLEIFERA	Forno seco (105 C) por 7h, moídas e peneiradas. Agitação: 15 minutos a 200 r/min, lenta a 40 r/min por 15 min.	Secos ao sol por 6h/7 dias, moídos e peneirados (500 µm). Agitação 100 rpm por 1,0 min e 25 rpm por 20 min e repouso por 30 min.	Trituradas e pesadas na água destilada. Agitação de 10 min a 100 rpm e repouso 120min.	

Tabela 4: Metodologia de mistura e obtenção do extrato de quiabo.

AUTORES, ANO	Sala et al. (2021)	Oliveira et. al (2016)	Lima et al. (2020)	Freitas et al. (2015)
METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE QUIABO	Seco em estufa a 60 °C por 48 h e moído em pilão de porcelana. Concentração de 1 mg L-1.	Cortado e moído no liquidificador. Concentração 37,5 g/L.	0,1 g do quiabo seco e moído em 100 mL de água destilada. Utilização de coagulante químico e de alcalinizante. Repouso por 10 min para sedimentação.	Separação da mucilagem e fibras feita por filtração. A mucilagem viscosa foi coletada e usada como coagulante. Testadas com NaCl, KCl, NaNO3 e água destilada.



AUTORES, ANO	Lanan et al. (2021)	Muniz et al. (2020)	Fahmi et al. (2014)	
METODOLOGIA DE MISTURA E OBTENÇÃO DO EXTRATO DE QUIABO	O quiabo foi imerso por 24 h. Foi realizada a extração da mucilagem do quiabo passando-o através de um pano de nylon.	Os quiabos maduros foram secos em estufa, triturados em liquidificador e peneirados para padronização granulométrica. Partículas entre 0,30 e 0,85 mm foram utilizadas.	Foram utilizados: caules, folhas, vagens e sementes. Separadas e secas ao ar e no forno e moídas. NaCl 1,0 M e água destilada foram usados para extrair o agente ativo de coagulação. A suspensão foi filtrada.	

A partir da análise destes dados comparou-se a utilização da solução de sementes de *M. oleifera* em diferentes concentrações (50g/L, 20g/L e 10g/L), com e sem adição de Nitrato de Cálcio (29,5g/L) e, também, da mucilagem do quiabo (1g/L e 5g/L), do pó de quiabo seco (5g/L e 10g/L) e adicionando Nitrato de Cálcio (29,5g/L).

Para a solução de moringa, percebeu-se que a partir de 60 minutos de pausa, houve pouca diferença ao adicionar ou não o NaCl (Figura 3): Utilizando a solução de moringa (50g/L) com NaCl (7,37g) foi possível obter redução de até 95,23% na turbidez da água, enquanto que utilizando apenas a solução com moringa (20ml/L), conseguiu-se 93,12% de redução.

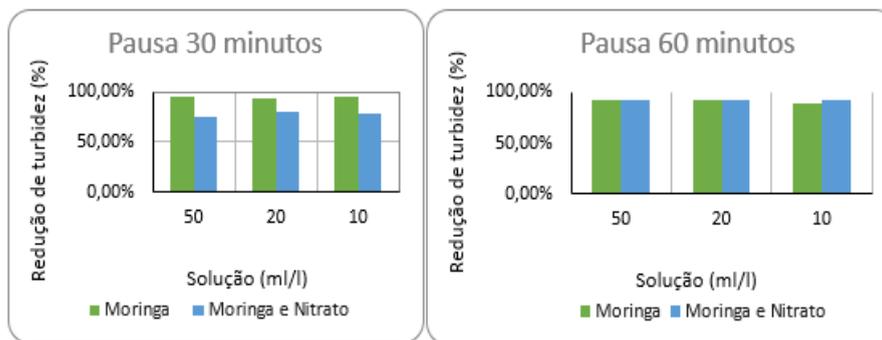


Figura 3: Resultado comparativo da redução utilizando moringa e moringa com NaCl, com pausas de 30 minutos e 60 minutos.

Os diferentes métodos testados para a obtenção da solução coagulante de quiabo resultaram na tabela abaixo (Figuras 4).

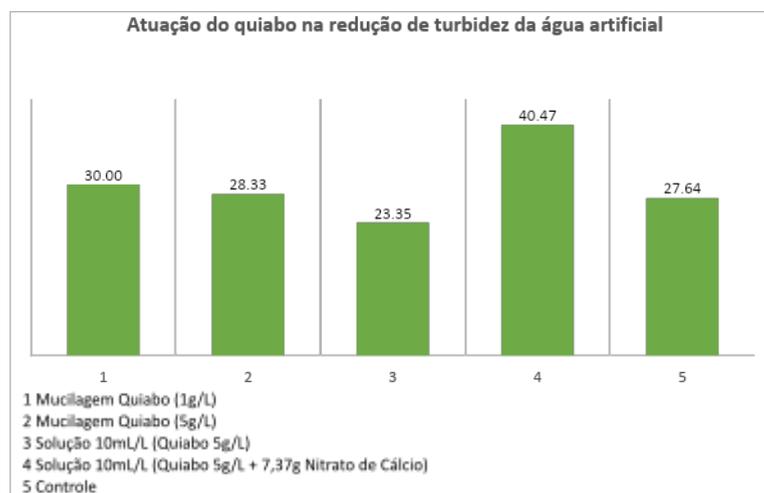


Figura 4: Atuação com o quiabo na redução de turbidez da água turva (diferentes metodologias), com pausa de 60 minutos.

Desta forma, a metodologia escolhida para obtenção dos coagulantes naturais (Figura 6) foi a seguinte: o pó de sementes de moringa (secas em estufa, trituradas com casca e passadas em peneira 5mm), foi dosado para atingir a concentração adequada e adicionado a um (1) litro de água destilada. Esta solução passou por 30 minutos pelo agitador magnético para assegurar eficiente dispersão do pó, rápida dissolução e homogeneização da mistura e, posteriormente, filtrada à vácuo (Figura 5).

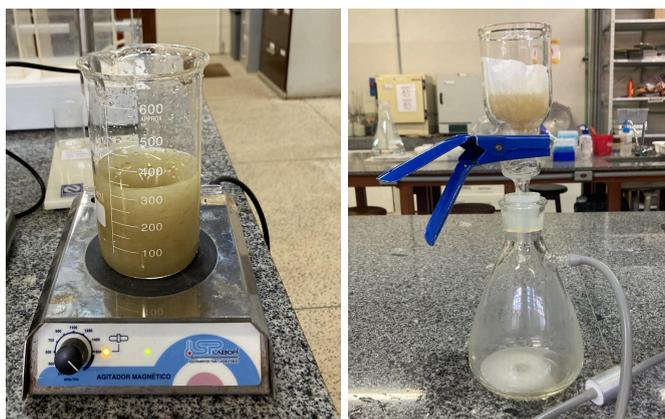


Figura 5 - Solução de sementes de *M. oleifera* no agitador magnético e filtragem à vácuo, respectivamente.

Para o quiabo, processo semelhante foi estabelecido: o quiabo seco em estufa, moído e passado em peneira 5mm foi adicionado em um (1) litro de água destilada. A solução passou por agitador magnético durante 30 minutos, e, posteriormente, foi filtrada à vácuo.



Figura 6 - Soluções finais de coagulantes naturais: quiabo e *M. oleifera*, respectivamente.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a solução coagulante de sementes de moringa, a maioria das metodologias teve em comum os processos de secagem, trituração e peneiração, a fim de criar um pó fino capaz de englobar as propriedades coagulantes da planta. Para o quiabo, formas utilizando a mucilagem por imersão da hortaliça, o pó ou apenas as sementes do quiabo foram estudadas.

Por fim, ao analisar os resultados dos ensaios jar test e de metodologia para obtenção dos coagulantes naturais, constatou-se que a utilização da solução do quiabo em pó a 10g/L (10ml/L) e do extrato de sementes de moringa em pó a 50g/L (20ml/L) foram mais eficientes para a redução de turbidez da água (Figuras 7 e 8).



AMOSTRA	SOLUÇÃO	PAUSA	PH	TURBIDEZ (NTU)	Redução (%)
0 (balde)	0	0 min	7.13	2218	0,00
1	0	30 min	6.86	1361	38,64
2	10 ml/l	30 min		1290	41,84
3	50 ml/l	30 min		1406	36,61
4	100 ml/l	30 min		1286	42,02
1	0	60 min	6.78	1357	38,82
2	10 ml/l	60 min		1144	48,42
3	50 ml/l	60 min		1260	43,19
4	100 ml/l	60 min		1185	46,57

Figura 7: Utilização da solução de quiabo (10g/L)

AMOSTRA	SOLUÇÃO (MORINGA 50g/l)	PAUSA	PH	TURBIDEZ (NTU)	Redução (%)
1	0	30 min	7.12	2152	0,00
2	50 ml/l	30 min		251	88,34
3	20 ml/l	30 min		352	83,64
4	10 ml/l	30 min		266	87,64
1	0	60 min		892	58,55
2	50 ml/l	60 min		212	90,15
3	20 ml/l	60 min		194	90,99
4	10 ml/l	60 min		229	89,36
1	0	90 min	7.12	816	62,08
2	50 ml/l	90 min		162	92,47
3	20 ml/l	90 min		148	93,12
4	10 ml/l	90 min		206	90,43

Figura 8: Utilização da solução de sementes de moringa (50g/L)

A metodologia classificada como mais apropriada, eficaz e reprodutível, foi a seguinte: as sementes de moringa foram trituradas, secas em forno a 120°C por cerca de 10 minutos e peneiradas em peneira de 5mm, enquanto que o quiabo foi seco em forno a 60°C, pilado e peneirado em peneira de 5mm. Ambos os pós passaram por agitação magnética misturados em água destilada por 30 minutos e foram filtrados à vácuo. Estas soluções coagulantes demonstraram desempenho semelhante com ou sem adição de Nitrato de Cálcio, por isso, optou-se pela utilização dos coagulantes naturais puros. Não houveram estudos aprofundados sobre a validade e o método de armazenamento ideais, assim, soluções frescas foram produzidas a cada rodada de ensaio.

Constatou-se que a utilização da mucilagem do quiabo não apresentou bons resultados, enquanto que a solução com o pó teve uma performance significativamente melhor. Também, o quiabo, por possuir consistência mais densa, faz com que seja necessário maiores cuidados relacionados a sua filtração para obtenção da solução. Os melhores resultados na aplicação dos coagulantes naturais para redução de turbidez se deram na utilização de 20ml/L da solução de sementes de moringa (50g/L) que chegou a 93,12% de redução, enquanto que o quiabo (10g/L) reduziu até 48,42% (10 ml/L) a turbidez da água artificial utilizada.

A técnica estudada foi considerada reprodutível, rentável e capaz de produzir água com notáveis reduções de turbidez. Os agentes em estudo possuem alta capacidade de coagulação e floculação, podendo, inclusive, serem utilizados em conjunto com outros agentes químicos, sendo produto eficaz para remoção de impurezas até mesmo em escala industrial (Adesinaa et al., 2019). De acordo com a revisão realizada, mais trabalhos podem ser desenvolvidos a fim de determinar melhores condições de conservação dos coagulantes naturais, investigar a influência do tamanho das partículas de pó na eficácia das soluções e, novas combinações dos agentes coagulantes com outros agentes naturais ou químicos, tornando o processo de coagulação e floculação mais ágil e completo.



Por fim, pode-se considerar que a utilização de coagulantes naturais como auxiliares na coagulação de águas turvas é viável e deve seguir sendo foco de estudos para que, assim, torne-se conhecimento difundido, mais acessível aos operadores e para que se obtenha resultados mais aprofundados.

CONCLUSÕES

A revisão sistemática da literatura, adotada como base para esta pesquisa, revelou-se de suma importância. Essa etapa foi fundamental para a análise dos dados, orientando a escolha da metodologia mais adequada na obtenção de coagulantes naturais a partir dos extratos de sementes de moringa e quiabo no processo de coagulação para o tratamento de água.

Dentre os procedimentos testados, o processo que envolveu a secagem, trituração, peneiramento e mistura dos pós das sementes em água destilada, seguido de filtração a vácuo apresentou melhores resultados. As soluções de coagulantes naturais, sem adição de Nitrato de Cálcio, foram preferidas e preparadas frescas para cada ensaio. A mucilagem do quiabo mostrou-se ineficaz, enquanto o pó teve melhor desempenho. A solução de sementes de moringa reduziu a turbidez em até 93,12%, e a de quiabo em até 48,42%. A técnica é considerada reproduzível e eficaz, mas sugere-se mais estudos sobre a conservação e potencial combinação com outros agentes para otimizar o processo. Conclui-se que os coagulantes naturais são viáveis e promissores para o tratamento de águas turvas, merecendo mais pesquisas e divulgação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADESINA, O. A. et al. Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using Moringa oleifera seed. *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 28, p. 46-51, 2019.
2. AGARWAL, M. et al. Utilization of okra gum for treatment of tannery effluent. *International Journal of Polymeric Materials*, v. 52, n. 11-12, p. 1049-1057, 2003.
3. ANG, W. L.; MOHAMMAD, A. W. Integrated and hybrid process technology. In: *Sustainable Water and Wastewater Processing*. Elsevier, 2019. p. 279-328.
4. BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G. K.; CHAUDHARI, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating Moringa oleifera seed coagulant. *Journal of hazardous materials*, v. 142, n.1-2, p. 477-482, 2007.
5. BRIZOLA, J.; FANTIN, N. Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. *Revista de Educação do Vale do Arinos-RELV*, v. 3, n. 2, 2016.
6. DESTA, W. M.; BOTE, M. E. Wastewater treatment using a natural coagulant (Moringa oleifera seeds): optimization through response surface methodology. *Heliyon*, v. 7, n. 11, p. e08451, 2021.
7. FAHMI, M.R., Hamidin, N., Abidin, C.Z.A., Umi Fazara, M.A., Hatim, M.D.I., 2013. Performance Evaluation of Okra (*Abelmoschus esculentus*) as Coagulant for Turbidity Removal in Water Treatment. *KEM* 594–595, 226–230. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.594-595.226>
8. FREITAS, T.K.F.S, Oliveira,V.M., de Souza, M.T.F., H.C.L. Geraldino, V.C. Almeida, S.L. Fávaro, J.C. Garcia, Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. *Industrial Crops and Products*, v. 76, 2015, p. 538-544. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.027>
9. GANDIWA, B.I. et al. Optimisation of using a blend of plant based natural and synthetic coagulants for water treatment: (Moringa Oleifera-Cactus *Opuntia*-alum blend). *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 34, p. 158-164, 2020.
10. GUPTA, V. B. et al. Aluminium in Alzheimer's disease: are we still at a crossroad?. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, v. 62, p. 143-158, 2005.
11. KITCHENHAM, B. A.; MENDES, E.; TRAVASSOS, G. H. Cross versus within-company cost estimation studies: A systematic review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 33, n. 5, p. 316-329, 2007.
12. LIMA, Bruna & Pinguelo, Gigliolla & Vernasqui, Laís & Consolin-Filho, Nelson & Barriquello, Marcilene & Valderrama, Patricia & Vieira da Silva Medeiros, Flávia. (2020). Aplicação do extrato de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench como floculante para a remoção de cor no tratamento de águas com corante têxtil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*. 11. 424-431. 10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0035.



13. MUNIZ, G. L.; BORGES, A. C.; SILVA, T. C. F. da. Performance of natural coagulants obtained from agro-industrial wastes in dairy wastewater treatment using dissolved air flotation. *Journal of Water Process Engineering*, v. 37, p. 101453, 2020.
14. NTIBREY, R. A. K.; KURANCHIE, F. A.; GYASI, S. F. Antimicrobial and coagulation potential of Moringa oleifera seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana. *Heliyon*, v. 6, n. 8, p. e04627, 2020.
15. NWAIWU, N. E.; LINGMU, B. Studies on the effect of settling time on coliform reduction using Moringa oleifera seed powder. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, v. 6, n. 3, 2011. <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A3%3A21519491/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A70125339&crI=f>
16. OLIVEIRA, Z.L. & Lyra, M. & Arruda, A.C.F. & Silva, Ana Maria & Nascimento, J.F. & Ferreira, Silvio. (2016). Efficiency in the treatment of landfill leachate using natural coagulants from the seeds of Moringa oleifera lam and Abelmoschus esculentus (L.) moench (Okra). 21. 9735-9752.
17. ONU (Nações Unidas Brasil). 2015. Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 20 dez. 2023.
18. PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. In: 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12. 2008. p. 1-10.
19. SALA, D.M., Valderrama, P., Peron, A.P. et al. UV–Vis Spectroscopy Applied in the Determination of the Degradation Time of Abelmoschus esculentus Moench Solution Used as Natural Flocculant. *Water Air Soil Pollut* 232, 368 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05307-9>
20. SULAIMAN, M. et al. Moringa oleifera seed as alternative natural coagulant for potential application in water treatment: A review. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, v. 56, n. 1, p. 11- 21, 2019.
21. THAKUR, Sunita Singh; CHOUBEY, Sonal. Assessment of coagulation efficiency of Moringa oleifera and Okra for treatment of turbid water. *Scholars Research Library, Coden*, v. 2, n. 6, p. 24-30, set. 2014. Disponível em: <https://www.scholarsresearchlibrary.com/articles/assessment-of-coagulation-efficiency-of-moringa-oleifer-a-and-okra-for-treatment-of-turbid-water.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.
22. UNDP (United Nations Development Programme). 2019. Human Development Report 2019: Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in human development in the 21st century. New York.
23. VARKEY, A. J. Purification of river water using Moringa Oleifera seed and copper for point-of-use household application. *Scientific African*, v. 8, p. e00364, 2020.
24. VARSANI, V.; VYAS, S. J.; DUDHAGARA, D. R. Development of bio-based material from the Moringa oleifera and its bio-coagulation kinetic modeling—A sustainable approach to treat the wastewater. *Heliyon*, v. 8, n. 9, p. e10447, 2022.
25. VIGNESHWARAN, S. et al. Optimization of sustainable chitosan/Moringa. oleifera as coagulant aid for the treatment of synthetic turbid water—A systemic study. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, v. 2, p. 132-140, 2020.