



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

NATHÁLIA DUTRA RIBEIRO LEITE

**AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA *Moringa oleífera* NA CLARIFICAÇÃO DE
ÁGUAS TURVAS**

**CAMPINA GRANDE
2022**

NATHÁLIA DUTRA RIBEIRO LEITE

**AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA *Moringa oleífera* NA CLARIFICAÇÃO DE
ÁGUAS TURVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental

Área de concentração: Tratamento de águas.

Orientador: Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos

Coorientador: Eng. Emanuel Júnior Silva Soares

**CAMPINA GRANDE
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

L533a Leite, Nathalia Dutra Ribeiro.
Avaliação da performance da *Moringa oleífera* na clarificação de águas turvas [manuscrito] / Nathalia Dutra Ribeiro Leite. - 2022.
20 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.
"Orientação : Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. "

1. Coagulante natural. 2. *Moringa oleífera*. 3. Turbidez da água. 4. Tratamento de água. I. Título

21. ed. CDD 628.3

NATHÁLIA DUTRA RIBEIRO LEITE

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA *Moringa oleífera* NA CLARIFICAÇÃO DE
ÁGUAS TURVAS

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Tratamento de águas.

Aprovada em: 14 / 07 / 2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Whelton Brito dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Eng. Emanuel Júnior Silva Soares (Coorientador)
Universidade de São Paulo (USP)



Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Me. George Antonio Belmino da Silva
Universidade Federal da Paraíba (UFCG)

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 5 |
| 2 | METODOLOGIA..... | 6 |
| 2.1 | Preparação da solução coagulante..... | 7 |
| 2.2 | Ensaio de tratabilidade | 7 |
| 2.3 | Análise dos dados..... | 9 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 9 |
| 4 | CONCLUSÃO | 15 |
| 5 | RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 16 |
| | REFERÊNCIAS | 17 |

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA *Moringa oleifera* NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUAS TURVAS

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF *Moringa oleifera* IN THE CLARIFICATION OF TURBED WATERS

Nathália Dutra Ribeiro Leite*

RESUMO

A clarificação da água é dada por um conjunto de etapas que visam remover os sólidos suspensos presentes na água bruta. Uma dessas etapas, que é de extrema importância, é a coagulação, onde pode-se utilizar coagulante de natureza inorgânica ou orgânica. Esse trabalho teve como objetivo a produção do coagulante orgânico a base de *Moringa oleifera* e a avaliação da performance do mesmo na clarificação de água turvas. Primeiramente as sementes da *Moringa Oleífera* foram desidratadas para o preparo do coagulante na proporção de 1:20, submetendo a uma agitação de 150 rpm por 10 min, resultando em uma solução de concentração de 5% em relação ao teor de sólidos totais. Em seguida, através de um Delineamento Box-Behnken (DBB) foram realizados planejamentos experimentais para avaliar a interferência das variáveis de dosagem de coagulante da *moringa oleifera*, turbidez da água bruta e tempo de sedimentação, o que resultou em 15 experimentos, realizados em duplicata. A água utilizada nos ensaios de tratabilidade foi originária do sistema de abastecimento, coletada da torneira do laboratório e posteriormente adicionada caulim para simular a cor e turbidez, ajustando os valores para o estimado no DBB, os ensaios de tratabilidade foram realizados em equipamento jartest. Para a remoção de turbidez, o ensaio E12 obteve melhor desempenho com remoção de 68,25% e para a cor aparente, o ensaio E7 teve melhor atuação, reduzindo em 40,88% em relação a água bruta. A função desejabilidade indicou que para otimizar a remoção de ambos parâmetros em simultâneo deve-se utilizar a dosagem de *Moringa oleifera* de 300 mg.L⁻¹, aplicação em água bruta com turbidez em torno de 60 uT, e aplicar tempo de sedimentação de 90 min. Por fim, notou-se que o vegetal em questão não apresenta remoções satisfatórias para a remoção de parâmetros físico-químicos em água com baixa turbidez, mas confirmou-se seu potencial de atuação como agente coagulante em água com turbidez elevada.

Palavras-chave: Coagulante natural; *Moringa oleifera*; Coagulação; Turbidez.

* Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental. E-mail: Nathaliad8@gmail.com

ABSTRACT

The clarification of the water is given by solid sets of steps that aim to remove the suspensions present in the raw water. One of these steps, which is extremely important, is coagulation, where inorganic or organic coagulant can be used. This work aimed to produce an organic coagulant based on *Moringa oleífera* and to evaluate its performance in clarifying turbid water. Moringa seeds were prepared for the preparation of the coagulant in a proportion of 1: a solution for a minimum proportion of 15 rpm 10, generating a solution with a content of 5% in relation to solids for the solution. In 15 experiments, performed in duplicate, raw water turbidity and settling time, experimental designs were carried out to evaluate the interference of variations, in duplicate of a Design (DBB) . The water used was used to originate from the supply system, collected from the laboratory collection and experimentally tested in the color and turbidity tests, adjusting the values evaluated for the treatment in the DBB, the treatment tests were carried out in jarrest equipment. For turbidity removal, the E12 test was better with the removal of 6.25% to improve apparent color, E7 performance to improve performance and 68% for better performance at 40.8% in relation to brutality. The desirability function to optimize the removal of both parameters simultaneously is to use the amount of *Moringa oleífera* around 300 mg, application in gross sedimentation time with turbidity of 60 uT, and measurement of sedimentation time of 90 min. Finally, do not dare that in question does not present plant remobilities - for the removal of chemical properties with potential turbidity, but its performance as a coagulating agent in water with superior turbidity was confirmed.

Keywords: Natural clotting agent; *Moringa oleífera*; Coagulation; Turbidity.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as concessionárias de saneamento devem fornecer água que atenda os preceitos estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 de 04 de maio 2021 que trata dos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

De forma que torna-se necessário submeter água captada de mananciais superficiais a diversos processos de tratamento. Nos processos convencionais, a clarificação visa a remoção das partículas em suspensão presentes na água, a partir das etapas de coagulação, floculação e decantação, nessa ordem (LIBÂNIO, 2016).

Como forma de realizar a remoção das impurezas em tempo viável de operação, comumente aplica-se um agente coagulante no intuito de promover a desestabilização das partículas, que por consequência se aglutinam em flocos e sedimentam. Geralmente, nas Estações de Tratamento de Água (ETA) emprega-se coagulantes de natureza inorgânica, mais especificamente, o sulfato de alumínio.

Porém, estudos evidenciam malefícios em termos de saúde pública e degradação ambiental gerados pela utilização dos coagulantes inorgânicos, uma vez que o residual de alumínio presente na água tratada pode estar associado ao desenvolvimento de doenças neurodegenerativas como o Mal de Alzheimer, além de produzirem excessivo volume de um lodo com difícil manejo, alta toxicidade e baixa degradabilidade (DYKE et al., 2021; RUSS et al., 2020; LIBÂNIO, 2016; BONGIOVANI et al., 2015; SKORONSKI et al., 2014; FARIAS et al., 2014).

Ao se tratar das comunidades isoladas, onde se requer o desenvolvimento de soluções descentralizadas, existem localidades que não possuem acesso aos sistemas de distribuição, havendo a necessidade de sistemas alternativos de tratamento que podem incluir a utilização de coagulantes orgânicos (SOUZA, 2017).

Os coagulantes orgânicos são compostos naturais, como sementes, mucilagem e outros compostos baseados em vegetais que possuem a capacidade de remoção de impurezas contidas na água. O uso de coagulantes de origem natural é uma alternativa ecológica que vem sendo viável na substituição dos coagulantes inorgânicos, especialmente em relação à biodegradabilidade e sustentabilidade (BERGAMASCO et al., 2009).

Os coagulantes orgânicos apresentam vantagens em relação aos inorgânicos por serem biodegradáveis e não tóxicos, além de promover menor geração de lodo que por sua vez é ausente de sais de alumínio e ferro em sua composição, isso facilita o manejo e tratamento (MANGRICH et al., 2014).

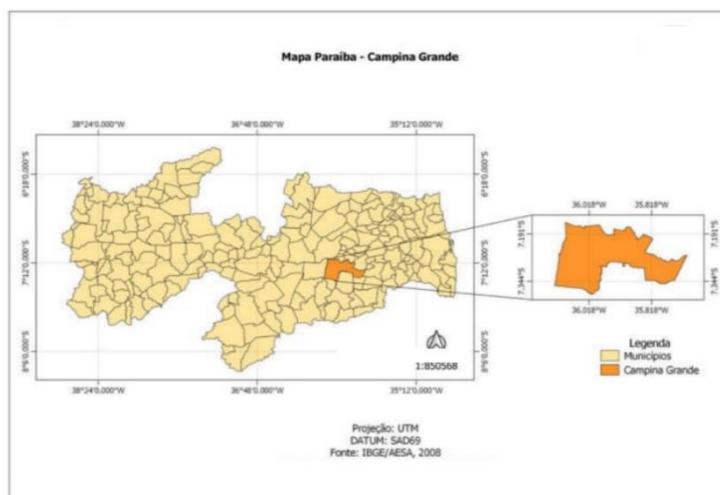
Dentre os vegetais que apresentam potencial de coagulação tem-se a *Moringa oleífera* que vem sendo utilizada principalmente em regiões onde a escassez de água se faz mais presente (FRIGHETTO et al., 2007), como o nordeste brasileiro. A *Moringa oleífera*, é uma planta altamente valorizada, nativa da Índia e utilizada com frequência nas indústrias alimentícias e farmacêuticas e para outros fins industriais.

A lectina, proteína que constitui cerca de 40% da semente de *Moringa oleífera* possui capacidade de desestabilizar as partículas coloidais em suspensão (BONGIOVANI, 2013). Assim, quando a semente é adicionada à água turva, as proteínas liberam cargas positivas atraindo as partículas carregadas negativamente, como barro, argila, bactérias, e outras partículas tóxicas presentes na água (MUNIZ, 2015).

A partir do exposto, esse trabalho tem como objetivo a produção do coagulante orgânico através da *Moringa oleífera* e avaliação da sua performance na clarificação de águas turvas.

2 METODOLOGIA

O estudo foi realizado no Laboratório de Referência em Tecnologias de Águas (LARTECA) vinculado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizado em Campina Grande, Paraíba (7° 13' 51" S, 35° 52' 54" O).



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

2.1 Preparação da solução coagulante

As sementes de *Moringa oleífera* (Figura 1) foram coletadas em uma propriedade privada localizada no município de São Vicente do Seridó, Paraíba (6° 55' 58" S, 36° 23' 8" O), e desidratadas em estufa de circulação de ar por 24 horas. Após esse tempo, preparou-se a solução coagulante na proporção de 1:20 (1g de semente de *Moringa oleífera* para cada 20 mL de solvente, neste caso, utilizou-se água destilada). Em seguida submeteu-se a mistura a agitação por 10 min à 150 rpm, como recomendado por Soares (2022), resultando em uma solução de concentração de 5% em relação ao teor de sólidos totais.

Figura 1 – Vagem, sementes com tegumento e sementes da *Moringa oleífera*



Fonte: SOARES, 2022.

2.2 Ensaios de tratabilidade

Os ensaios de tratabilidade consideraram a metodologia da superfície de resposta (MSR) através de um Delineamento Box-Behnken (DBB) com três fatores (variáveis independentes): X_D - Dosagem do coagulante (mg.L^{-1}), X_T - Turbidez da água bruta (uT) e X_S - Tempo de sedimentação (min). A Tabela 1 explicita os fatores e níveis das variáveis independentes.

Tabela 1 – Níveis dos fatores codificados e não codificados das variáveis independentes

| Fatores | | Níveis | | |
|--|-------|--------|-----|-----|
| | | -1 | 0 | 1 |
| Dosagem do coagulante (mg.L^{-1}) | X_D | 100 | 300 | 500 |
| Turbidez da água bruta (uT) | X_T | 20 | 60 | 100 |
| Tempo de sedimentação (min) | X_S | 60 | 90 | 120 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

A partir do DBB, para três variáveis independentes e três repetições no ponto central, resultou em 15 experimentos (Tabela 2), realizados em duplicata. As variáveis respostas foram expressos em percentual de remoção de turbidez e cor aparente após o processo de clarificação (coagulação/floculação/sedimentação). As determinações de cor aparente e turbidez foram realizadas por métodos padronizados pelo *Standard*

Methods For the Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WPCF, 2012).

Tabela 2 – Matriz do delineamento experimental para as distintas condições de tratabilidade

| Experimento | X_D | X_T | X_S |
|-------------|-------|-------|-------|
| E1 | 100 | 20 | 90 |
| E2 | 500 | 20 | 90 |
| E3 | 100 | 100 | 90 |
| E4 | 500 | 100 | 90 |
| E5 | 100 | 60 | 60 |
| E6 | 500 | 60 | 60 |
| E7 | 100 | 60 | 120 |
| E8 | 500 | 60 | 120 |
| E9 | 300 | 20 | 60 |
| E10 | 300 | 100 | 60 |
| E11 | 300 | 20 | 120 |
| E12 | 300 | 100 | 120 |
| E13 | 300 | 60 | 90 |
| E14 | 300 | 60 | 90 |
| E15 | 300 | 60 | 90 |

Onde: X_D : Dosagem de *Moringa oleífera* (mg.L⁻¹), X_T : Turbidez da água bruta (uT), X_S : Tempo de sedimentação (min).

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

A água utilizada nos ensaios de tratabilidade foi proveniente do sistema de abastecimento de água de campina Grande, coletada da torneira do laboratório e posteriormente adicionado caulim (Figura 2), que por sua vez foi obtido na Mineradora Noruega localizada no município de Equador, Rio Grande do Norte (06°56'42,0" S, 36°43'04,8" O), para simular sua cor e turbidez. A turbidez da água foi ajustada para os valores de 20, 60 e 100 uT, conforme o planejamento experimental descrito anteriormente (Tabela 1).

Figura 2 – Exemplo da água de estudo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022.

Os ensaios de tratabilidade fazendo uso do coagulante orgânico, a base de *Moringa oleífera*, foram realizados em equipamento jarrest. Para isso, utilizou-se as

condições operacionais recomendadas por Franco et al. (2017): mistura rápida a 280 rpm, durante 2 min; e mistura lenta a 40 rpm, por 30 min; os tempos de sedimentação variaram em 60, 90 e 120 min, como explicitados no planejamento experimental (Tabela 1).

2.3 Análise dos dados

A análise de variância (ANOVA), estabelecimento do coeficiente de determinação (R^2) e valor-p foram utilizados para avaliar a significância dos efeitos principais e interações entre as variáveis envolvidas no processo de clarificação. Para a validação dos modelos matemáticos gerados empregou-se a análise de regressão ANOVA. O planejamento experimental bem como a análise dos resultados obtidos foi possível com auxílio do software STATISTICA® 10.0 (STATSOFT, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos ensaios de tratabilidade, ao se tratar da remoção de turbidez, pode-se verificar que os ensaios E3 (100mg.L-1: 100 uT: 90min), E4 (500 mg.L-1: 100 uT: 90min), E5 (100 mg.L-1:60 uT: 60min), E6 (500 mg.L-1:60 uT: 120min), E7 (100 mg.L-1:60 ut: 120 min), E8 (500 mg.L-1,60 uT: 120 min) e E12 (300 mg.L-1:100 uT: 120 min) apresentaram resultados satisfatórios (Tabela 3) num intervalo de 40 a 68%. Em destaque, o ensaio E12 obteve melhor remoção de turbidez, nas condições de 300 mg.L-1 de dosagem do coagulante, 100 uT de turbidez da água bruta e 120 min de tempo de sedimentação com um resultado de 68,25%.

Os ensaios E2 (500 mg.L-1; 20 uT; 90 min) e E9 (300 mg.L-1; 20 uT; 60 min) não apresentaram eficiência de remoção de turbidez, nota-se que em ambas condições a turbidez da água bruta foi de 20 uT, com isso, infere-se que a Moringa oleífera apresenta limitações no tocante a clarificação de água com baixa turbidez, o mesmo foi evidenciado pelos estudos de Franco et al. (2017) e Eguchi e Arantes (2019).

Em relação à remoção de cor aparente, pela Tabela 3 observa-se que os ensaios E5 (100 mg.L-1; 60 uT; 60 min), E6 (500 mg.L-1; 60 uT; 120 min), E7 (100 mg.L-1; 60 uT; 120 min), E8 (500 mg.L-1; 60 uT; 120 min) e E12 (300 mg.L-1; 100 uT; 120 min) apresentaram remoções superiores a 25%, sendo observada a remoção máxima de 40,88% para as condições utilizadas no ensaio E7.

Em contrapartida, os ensaios E2 (500 mg.L-1; 20 uT; 90 min), E9 (300 mg.L-1; 20 uT; 60 min) e E11 (300 mg.L-1; 20 uT; 120 min) não apresentaram eficiência em termos de remoção de cor aparente, de forma análoga, percebe-se que nesses experimentos a turbidez da água bruta apresentava-se baixa, com isso, tem-se a hipótese de que o vegetal não realiza remoções satisfatórias para águas com essas características.

A Tabela 3 apresenta os valores de remoção para os ensaios realizados com os valores médios dos percentuais de remoção para a cor aparente e turbidez após o processo de clarificação.

Tabela 3 – Matriz do DBB e seus respectivos valores médios das variáveis respostas percentual de remoção de turbidez e cor aparente após o processo de clarificação

| Exp. | X _D | X _T | X _S | Remoção de Turbidez (%) | Remoção de cor aparente (%) |
|------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-----------------------------|
| E1 | 100 | 20 | 90 | 29,75 | 14,83 |
| E2 | 500 | 20 | 90 | -5,75 | -23,79 |
| E3 | 100 | 100 | 90 | 43,70 | 4,07 |
| E4 | 500 | 100 | 90 | 44,25 | 5,22 |
| E5 | 100 | 60 | 60 | 45,42 | 29,28 |
| E6 | 500 | 60 | 60 | 40,00 | 25,14 |
| E7 | 100 | 60 | 120 | 64,58 | 40,88 |
| E8 | 500 | 60 | 120 | 39,58 | 26,61 |
| E9 | 300 | 20 | 60 | -1,25 | -27,07 |
| E10 | 300 | 100 | 60 | 33,95 | 7,83 |
| E11 | 300 | 20 | 120 | 23,50 | -0,34 |
| E12 | 300 | 100 | 120 | 68,25 | 26,51 |
| E13 | 300 | 60 | 90 | 27,83 | 22,28 |
| E14 | 300 | 60 | 90 | 28,50 | 15,01 |
| E15 | 300 | 60 | 90 | 35,00 | 13,17 |

Onde: X_D: Dosagem de *Moringa oleífera* (mg.L⁻¹), X_T: Turbidez da água bruta (uT), X_S: Tempo de sedimentação (min).

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Santos, Vieira e Bergamasco (2013) aplicaram a *Moringa oleífera* na dosagem 50 mg.L⁻¹ para fins de clarificação da água e observaram redução da turbidez em 99%. Já os estudos de Martín, Ghebremichel e Heredia (2010) corroboram com os dados obtidos nesse estudo, uma vez que após o processo de clarificação os autores obtiveram 67% de remoção do parâmetro em questão.

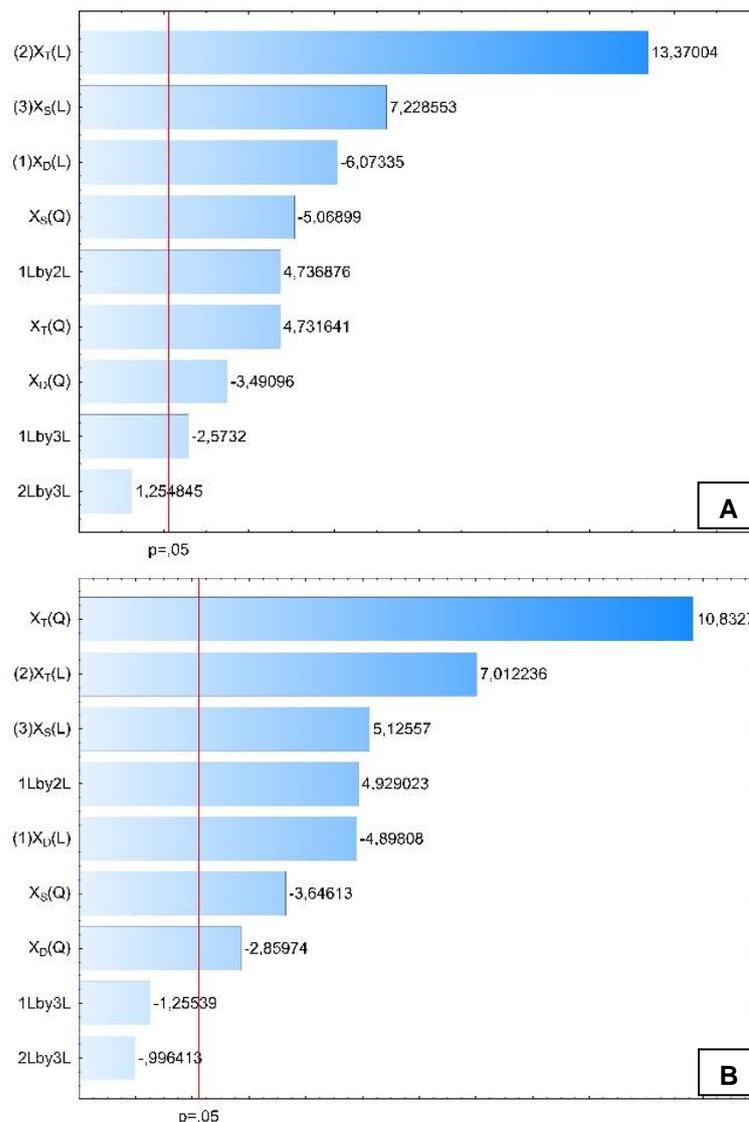
Após utilizar a *Moringa oleífera* como agente coagulante, Franco, Gabriela e Paterniani (2012) obtiveram remoções de cor aparente de 86% após a clarificação. Enquanto Soares (2022) ao utilizar solução coagulante a partir da *Moringa oleífera* com metodologia similar a utilizada neste estudo, observou redução de 47% da cor aparente.

O Diagrama de Pareto explicita os efeitos de cada fator estudado (dosagem do coagulante, turbidez da água bruta e tempo de sedimentação), de forma a avaliar as influências significativas sobre as variáveis respostas.

Na Figura 3A que apresenta o Diagrama de Pareto para a remoção de turbidez, pode-se observar que, para um intervalo de confiança de 95%, todos os fatores apresentaram efeitos significativos. Sendo que a turbidez da água bruta (X_T) e o tempo de sedimentação (X_S), ambos em termos lineares, e X_T em termos quadráticos apresentaram valores positivos; enquanto que os efeitos da dosagem de coagulante (X_D) em termos lineares e quadráticos apresentaram valores negativos.

Para a remoção de cor aparente (Figura 3B), o Diagrama de Pareto indicou um comportamento similar ao encontrado para a remoção de turbidez. Onde os fatores X_T, em termos lineares e quadráticos, bem como X_S em termos lineares apresentaram efeitos significativos com valores positivos; já X_D em termos lineares e quadráticos e X_S, em termos quadráticos, apresentaram valores negativos.

Figura 3 – Diagramas de Pareto para (a) remoção de turbidez e (b) remoção de cor aparente após o processo de clarificação



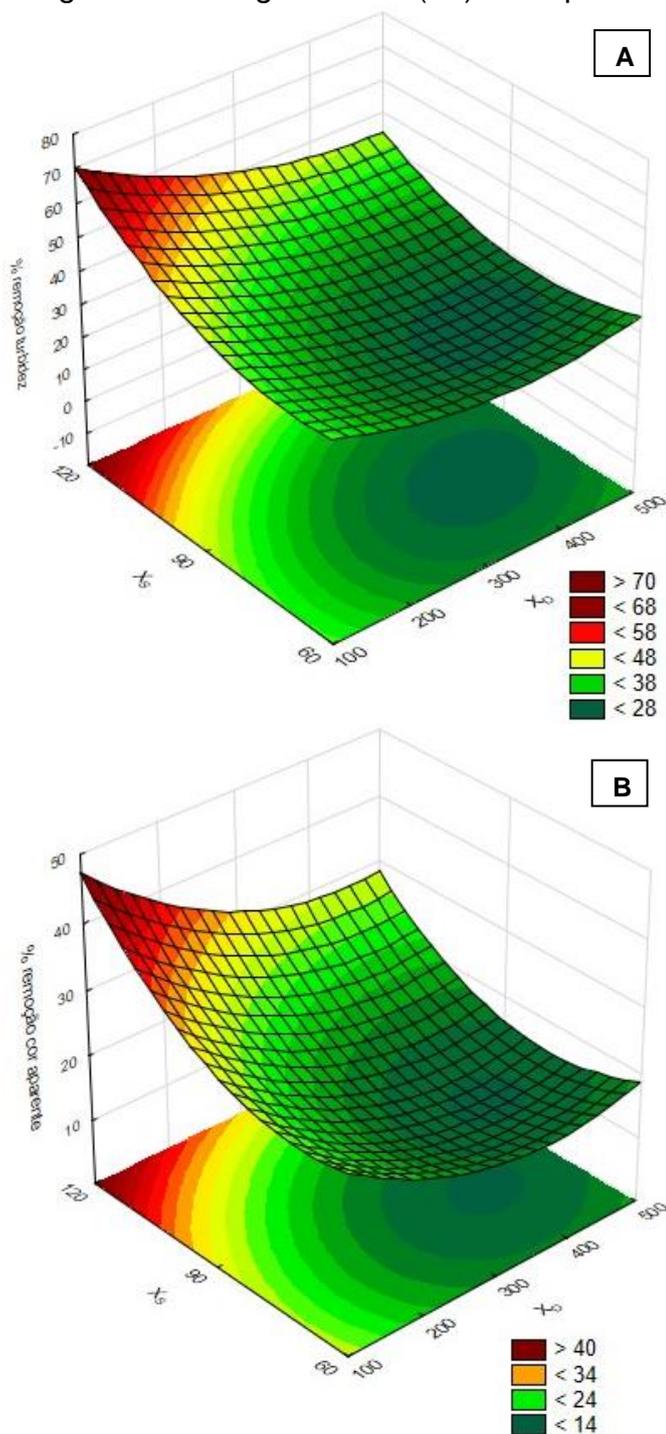
Onde: X_D: Dosagem de *Moringa oleífera* (mg.L⁻¹), X_r: Turbidez da água bruta (uT), X_s: Tempo de sedimentação (min).

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

A interpretação dos Diagramas de Pareto permitiu inferir que a turbidez da água é um fator significativo para a eficiência do processo de clarificação, de forma que quanto maior o valor de turbidez mais eficiente será a *Moringa oleífera* na remoção dos parâmetros supracitados.

O mesmo pode-se afirmar para o tempo de sedimentação. Pelos diagramas e nas superfícies de respostas apresentadas nas Figuras 4A e 4B, notou-se que a remoção de turbidez e cor aparente foi favorecida nos ensaios que utilizaram maiores tempos de sedimentação, porém, as dosagens aplicadas não apresentaram distinções significativas entre si.

Figura 4 – Superfícies de resposta para (a) remoção de turbidez e (b) remoção de cor aparente após o processo de clarificação considerando as variáveis independentes dosagem de *Moringa oleífera* (X_D) e tempo de sedimentação (X_S)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

A Tabela 4 expressa os modelos ajustados para o percentual de remoção de turbidez cor aparente após o processo de clarificação.

Tabela 4 – Modelos gerados para as variáveis respostas (I) percentual de remoção de turbidez e (II) percentual de remoção de cor aparente após o processo de clarificação

| Modelo matemático | |
|---|-----------|
| % rem. de turbidez = $80,35069 - 0,13871X_D + 0,00017X_D^2 + 0,63542X_T - 0,00586X_T^2 - 1,55806X_S + 0,01115 X_S^2 + 0,00113 X_DX_T - 0,00082 X_DX_S + 0,00199 X_TX_S$ | Equação 1 |
| % rem. de cor aparente = $23,52589 - 0,16157X_D + 0,00015X_D^2 + 1,73365X_T - 0,01421X_T^2 - 1,06018X_S + 0,00851X_S^2 + 0,00124X_DX_T - 0,00042X_DX_S + 0,00167X_TX_S$ | Equação 2 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

A partir da análise de variância (Tabela 5), pode-se observar que para um nível de confiança de 95%, ambos os modelos foram significativos uma vez que para a regressão o $F_{cal} > F_{tab}$ (BARROS NETO, SCARMINIO; BRUNS, 2007). Porém, ao se tratar da falta de ajuste os modelos apresentaram $F_{cal}/F_{tab} > 1$, e para obedecer a critérios de predição essa relação deveria ser menor que 1.

Por seu turno, conforme apresentado na Tabela 5, tem-se que o modelo ajustado para o percentual de remoção de turbidez apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,91 e para a percentual de remoção de cor aparente o R^2 foi de 0,86. De acordo com Segundo Barros Neto, Scarmino e Bruns (2007), valores de R^2 acima de 0,60 podem ser indicados para explicitar tendência bem como para fins preditivos.

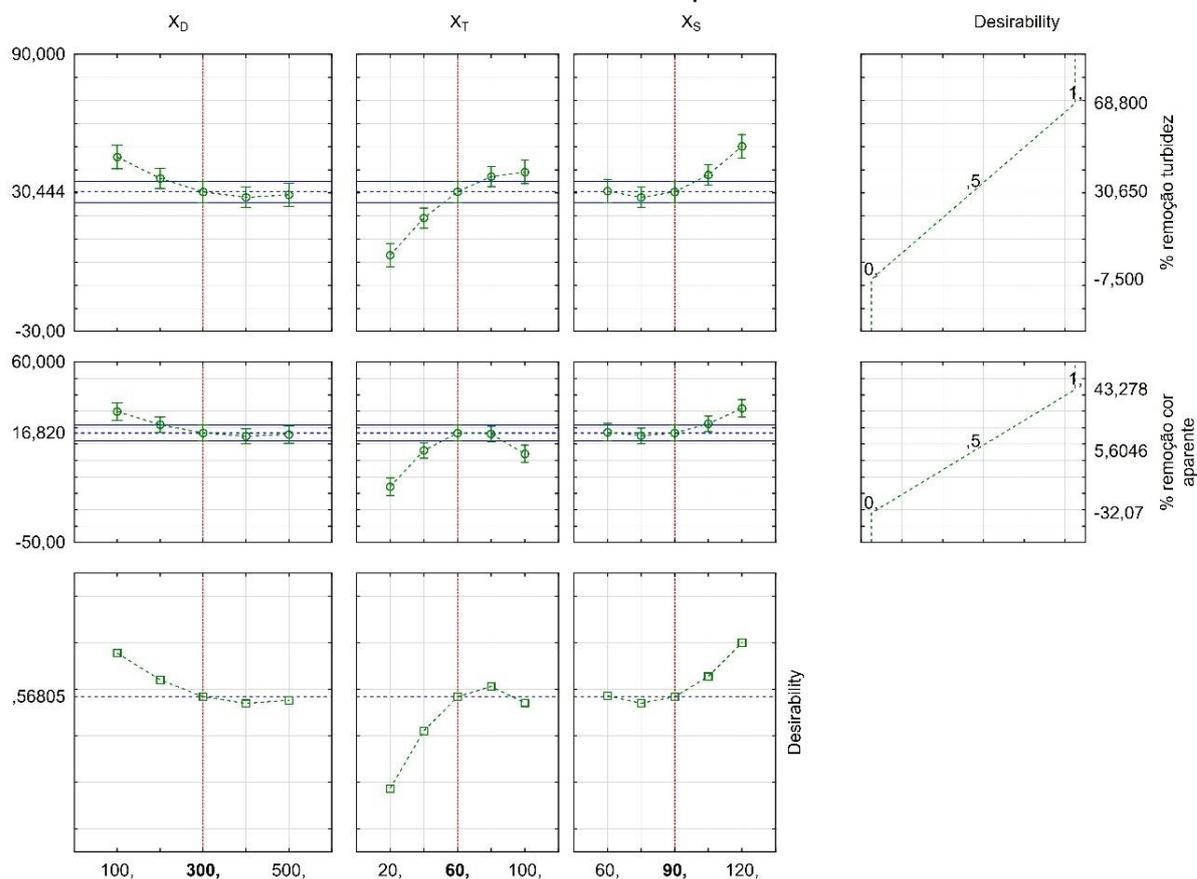
Tabela 5 – Análise de variância para as variáveis respostas remoção de turbidez e remoção de cor aparente

| Variável | R^2 (%) | R^2 ajust (%) | F_{tab} | F_{cal} | F_{cal}/F_{tab} (regressão) | F_{cal}/F_{tab} (falta de ajuste) |
|------------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------|----------------------------------|--|
| % rem. de turbidez | 91,57 | 87,00 | 2,39 | 24,13 | 10,08 | 1,71 |
| % rem. de cor aparente | 86,67 | 81,00 | 2,39 | 14,45 | 6,04 | 2,64 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

A Figura 5 trata dos diagramas que explicitam os valores preditos e a função desejabilidade, de forma que para otimizar a remoção de turbidez e cor aparente de forma simultânea ($D=0,56$), a dosagem de *Moringa oleífera* deve ser de 300 mg.L⁻¹, aplicação em água bruta com turbidez em torno de 60 uT, e utilizando o tempo de sedimentação de 90 min.

Figura 5 – Perfis dos valores preditos e a função de desejabilidade considerando a análise de ambas as variáveis respostas em simultâneo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2022

Os estudos realizados por Franco et al. (2017) evidenciaram que o coagulante orgânico a base de *Moringa oleífera* produz significativo aumento na eficiência para águas com turbidez na faixa de 40 a 100 uT e as concentrações de coagulante necessárias aumentam gradativamente. Os resultados explicitados pela função desejabilidade confirmaram isso, uma vez que a faixa ideal para a atuação do vegetal em questão seria para água bruta com turbidez média de 60 uT.

4 CONCLUSÃO

Diante do exposto, pode-se concluir que:

- A *Moringa oleífera* apresenta eficiência para clarificação de águas turvas. Nesse estudo foi possível observar remoções de até 68,25 e 40,88% para turbidez e cor aparente, respectivamente;
- Observou-se que a *Moringa oleífera* apresenta limitações para a remoção de parâmetros físico-químicos em água com baixa turbidez, isso evidencia que esse vegetal tem potencial de tratar águas poluídas;
- A partir do DBB realizado, o Diagrama de Pareto indicou que a turbidez da água bruta e o tempo de sedimentação produzem efeitos significativos com valores positivos no tocante as variáveis respostas estudadas;
- Os modelos de regressão gerados para as variáveis respostas (% de remoção de turbidez e % de remoção de cor aparente) foram significativos e pelo elevado R^2 , pode-se utilizar esse para fins preditivos;
- A função desejabilidade indicou que para se otimizar a remoção de ambas variáveis respostas de forma simultânea, a *Moringa oleífera* deve ser utilizada na dosagem de 300 mg.L⁻¹, com tempo de sedimentação de 60 min, para água bruta com turbidez média de 90 uT.

5 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados percepções obtidas por esse estudo, recomenda-se para trabalhos futuros utilizando *Moringa oleífera* como coagulante orgânico:

- Otimizar o processo de produção da solução coagulante como forma de aumentar o tempo de vida útil do produto;
- Realizar estudos com maiores tempo de sedimentação bem como análise da viabilidade operacional desses;
- Realizar diagramas de coagulação para determinar a faixa de atuação da *Moringa oleífera* em relação ao pH da água bruta;
- Avaliar a remoção de parâmetros microbiológicos como coliformes totais, *Escherichia coli* e cianobactérias.

REFERÊNCIAS

- APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2012.
- BRASIL. Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 3. ed. Campinas: UNICAMP, 2007.
- BERGAMASCO, R. et al. Estudo da utilização da Moringa Oleífera em uma estação de tratamento de água piloto (ETA - piloto). **Anais. Encontro Nacional de Moringa**, Aracaju, SE, 2009.
- BONGIOVANI, M. C.; CAMACHO, F. P.; VALVERDE, K. C.; SANTOS, T. R. T.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R. Evaluation of trihalomethanes formation using combined process coagulation/flocculation/membranes in water treatment. **Chemical Engineering Transactions**, v.43, p.2283-9216, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1543388>
- DYKE, N. V.; YENUGADHATI, N.; BIRKETT, N. J.; LINDSAY, J.; TURNER, M. C.; WILLHITE, G. G.; KREWSKI, D. Association between aluminum in drinking water and incident Alzheimer's disease in the Canadian Study of Health and Aging cohort. **NeuroToxicology**, v. 83, p. 157-165, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.04.002>
- EGUCHI, C. S.; ARANTES, C. C. Clarificação de água superficial com baixos valores de turbidez e cor aparente utilizando extrato de sementes de Moringa oleífera e sulfato de alumínio. **Rev. Bras. Cien., Tec. e Inov.**, v., n. 2, p. 190-199, 2019. DOI: 10.18554/rbcti.v4i2.3726
- FARIAS, F. A.; FERREIRA, R. L. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de fábrica de celulose não branqueada. **Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v.5, n.3, p.86-104, 2014.
- FRANCO, C. S.; BATISTA, M. D. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KOHN, G. P.; FIA, R. Coagulação com semente de Moringa oleífera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 22, n. 4, p. 781-788, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017145729

FRANCO, M.; GABRIELA, S.K.; PATERNIANI, J.S. Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 989-997, 2012.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 4ed. Campinas: Átomo, 2016.

MARTÍN, S.J.; GHEBREMICHAEL, K.; HEREDIA, J.B. Comparison of single-step and two-step purified coagulants from *Moringa oleifera* seed for turbidity and DOC removal. **Bioresource Technology**, n. 101, p. 6259-6261, 2010.

MANGRICH, A. S.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química verde no tratamento de águas: Uso de coagulante derivado de tanino de acácia *mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2014. DOI: 10.5935//1984-6835.20140002

MUNIZ, G. L.; DUARTE, F. V.; OLIVEIRA, S. B. de. Uso de sementes de *Moringa oleifera* na remoção da turbidez de água para abastecimento. **Revista Ambiente e Água**. v. 10, Taubaté, 2015.

RUSS, T. C.; KILLIN, L. O. J.; HANNAH, J.; BATTY, G. D.; DEARY, I. J.; STARR, J. M. Aluminium and fluoride in drinking water in relation to later dementia risk. **BJPsych**, v. 216, p. 29-34, 2020. DOI: 10.1192/bjp.2018.287

SANTOS, T.R.T.; VIEIRA, M.F.; BERGAMASCO, R. Uso do coagulante natural *moringa oleifera* lam no processo combinado de coagulação/floculação/adsorção para minimização da formação de trihalometanos. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 9, n. 11, p. 131-141, 2013.

SKORONSKI, E.; NIERO, B.; FERNANDES, M.; ALVES, M. V.; TREVISAN, V. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Rev. Ambient. Água**, v.9, n.4, p.680-687, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1303>

SOARES, E. J. S. **Produção de coagulantes à base de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) e *Moringa oleifera* para e aplicação no tratamento de água de abastecimento**. 34p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

STATSOFT, I. **STATISTICA (data analysis software system)**, www.statsoft.com, 2011.

T. R. T. SANTOS, F. S. ARAKAWA, K. C. VALVERDE, L. O. R. MORETI, A. T. A. BAPTISTA, Q. L. SHIMABUKU, M. F. SILVA, F. P. CAMACHO, R. BERGAMASCO, M. F. VIEIRA. Estudo da minimização de trihalometanos pelo processo combinado coagulação/floculação com coagulante *moringa oleifera* e filtro de carvão ativado. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, v. 9, n. 11, p. 131-141.

FRIGHETTO, R. T. S.; FRIGHETTO, N.; SCHNEIDER, R. P.; FERNANDES LIMA, P. C. O Potencial da Espécie *Moringa oleifera* (Moringaceae). I.A Planta como Fonte de Coagulante Natural no Saneamento de Águas e como Suplemento Alimentar. **Revista Fitos**. V.3, n. 02, p. 78-88, 2007.

SOUZA, R. M. A. ***Moringa oleifera* como coagulante na clarificação da água para tratamento em comunidades rurais**. 13p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação de Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade do Vale do São Francisco, 2017.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por todas as bênçãos que recebi nessa caminhada, por nunca me deixar desamparada.

Aos meus pais, Hilton e Josecleide, que sempre fizeram esforços além do que podiam para que eu chegasse até aqui, por todo amor e carinho, a eles dedico toda a minha conquista.

À minha tia Zaira, que é minha segunda mãe. Que nunca mediu esforços para me fazer bem, quem acompanhou toda minha jornada desde do maternal e me acompanha em todos meus passos da vida.

Ao meu primo Rafael, que mesmo estando na China, sempre me deu apoio e mostrou que posso sempre recorrer a ele.

Ao meu orientador Whelton, que nos dois anos de convivência nos conquistou demais. Que com toda a paciência e amor pelo curso, nos ensina e faz com que tenhamos um olhar diferente para a jornada que vem pela frente.

Ao meu coorientador Emanuel Junior, que não tenho palavras para expressar minha gratidão. Com esse jeito atencioso que nos conquista. Que mesmo em outro estado se fez presente, sanando todas as minhas dúvidas a qualquer instante.

Agradeço aos meus amigos Aurea, Karyna, Allisson, Ayrton e Lucas que de alguma forma sempre se fizeram presente ao longo dessa jornada.

Um agradecimento bem especial a minha amiga Amanda Myrna. Que foi o meu ponto de força dentro da universidade. Quem esteve ao meu lado em todas as ocasiões e principalmente na produção do meu TCC.

À equipe do Laboratório de Referência em Tecnologias de Águas (LARTECA) pelo espaço cedido e apoio técnico para o desenvolvimento da pesquisa, em especial Thyago Nóbrega.

Por fim, agradeço à banca como um todo em especial à professora Ruth, e ao Mestre George, por terem aceitado o convite de avaliar o trabalho em questão