



**AVALIAÇÃO DE EXTRATO NATURAL A BASE DE MORINGA OLEÍFERA
COMO POTENCIAL COAGULANTE EM PROCESSO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA NO MUNICÍPIO DE GUARATINGUETÁ/SP**

Ailton César Teles de Barros⁽¹⁾

Engenheiro Civil na Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG), Pós-graduação *Lato Sensu* em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico pela Universidade Estácio de Sá, Graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Estácio Radial de São Paulo/Campus Santo Amaro e em Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo/Campus Colatina.

Paulo Ricardo Amador Mendes⁽²⁾

Técnico em Saneamento na Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG), Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Química e Graduação em Engenharia Industrial Química pela Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo (USP).

Caio César Lino Menezes⁽³⁾

Engenheiro Químico na Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG), Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM).

Tatiane do Nascimento Lopes⁽⁴⁾

Técnica em Saneamento na Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG), Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal do ABC (UFABC), Especialização em Gestão de Projetos pela ETEC e em Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental pela Faculdade Oswaldo Cruz; Graduação em Tecnologia em Hidráulica e Saneamento pela Fatec São Paulo e em Engenharia Ambiental pela Faculdade Oswaldo Cruz e Técnica em Química pela ETEC “Júlio de Mesquita”.

Luiz Rodrigo Gomes de Jesus⁽⁵⁾

Técnico em Saneamento na Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG), Técnico em Química pela ETEC Rubens de Faria e Souza (Sorocaba/SP).

Evaldo Peixoto de Oliveira Júnior⁽⁶⁾

Técnico em Saneamento na Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá (SAEG), graduando em Engenharia de Produção pela Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP), Operador de Processos Químicos pelo SENAI Mário Amato (São Bernardo do Campo/SP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Luiz Guimarães de Almeida, nº 55, casa 05 - Vila Eliana Maria - Guaratinguetá – São Paulo - CEP: 12.512-150 - Brasil - Tel: +55 (12) 98280-2242 – Tel.: (12) 3122-7200 – Ramal 7222 - E-mail: actbarros3@hotmail.com ; actbarros123@gmail.com

RESUMO

Os materiais utilizados como coagulantes nos processos de tratamento de água, mais especificamente nas etapas de coagulação/floculação, são à base de ferro e alumínio, tais como o cloreto férrico (FeCl_3), cloreto de alumínio (AlCl_3), sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e policloreto de alumínio (PAC). Para tanto, existem produtos naturais com propriedades semelhantes aos químicos sintéticos atualmente empregados. Um dos produtos naturais em pesquisa laboratorial há algum tempo consiste na semente da árvore Moringa Oleífera. Diante dos vários estudos já realizados a nível nacional e internacional com essa semente, foi realizado um estudo através de ensaios de bancada no sistema de tratamento de água no município de Guaratinguetá, a fim de averiguar a potencialidade deste produto natural na remoção dos parâmetros Cor e Turbidez face as características da água bruta advinda do manancial superficial (Ribeirão Guaratinguetá). Os resultados obtidos demonstraram eficácia no emprego do extrato da semente de Moringa oleífera como coagulante, com índices máximos de remoção dos parâmetros Cor e Turbidez de 86,58 % e 90,00 % respectivamente com uso do extrato da polpa da semente, enquanto com uso da semente completa (polpa + casca) a remoção da Cor e da Turbidez foi de 78,51 % e 83,07 %.

Palavras Chave: Tratamento de água, Coagulante natural, Moringa oleífera.



INTRODUÇÃO

Moringa oleifera é uma planta da família *Moringaceae*, sendo conhecida simplesmente por moringa, ainda que seja também vulgarmente denominada como acácia-branca, árvore-rabanete-de-cavalo, cedro, moringueiro e quiabo-de-quina. Cresce principalmente em áreas semiáridas tropicais e subtropicais, sendo o seu habitat preferencial o solo seco e arenoso, tolerando solos pobres como em áreas costeiras.

Devido a uma composição particular dos óleos e das proteínas contidas nas sementes, Castro e Paulino (2015) descrevem que ao serem trituradas e misturadas a uma água turva e não potável, ocorre uma reação extraordinária: a água fica clarificada. O pó das sementes de moringa possui, de acordo com Castro e Paulino (2015), a propriedade de atrair argila, sedimentos e bactérias, os quais acabam indo para o fundo do recipiente e deixando a água limpa e potável.

Tanto as sementes da espécie etíope (*Moringa stenopatala*) como da asiática (*Moringa oleifera*) possuem as mesmas características de decantar a água. Pesquisadores do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais comprovaram, em testes de laboratório, que as sementes da moringa asiática conseguem remover 99% da turbidez da água (CASTRO e PAULINO, 2015).

Os biocoagulantes surgem como produtos promissores no setor de saneamento ambiental, de acordo com Lima Júnior e Abreu (2018), destacando-se por serem solúveis em água e de alta efetividade numa ampla faixa de pH, produzindo menores volumes de lodo biodegradável e de baixo impacto ambiental. Os produtos naturais, ainda conforme os autores, não são corrosivos e constituindo-se, em sua maioria, por polímeros e proteínas vegetais de baixa toxicidade. Quando bem utilizados, esses produtos podem permitir a redução do custo operacional do tratamento de água (LIMA JÚNIOR e ABREU, 2018).

De acordo com Lima Júnior e Abreu (2018), como vantagens principais atribuídas aos coagulantes naturais, em comparação aos inorgânicos sintéticos, devem-se à alta disponibilidade da matéria-prima, amplamente renovável, a baixa corrosividade sobre o sistema de distribuição de água, a diminuição do volume de lodo gerado no processo de até cinco vezes, não apresentando riscos à saúde humana e animal e é biodegradável.

À luz da saúde e do meio ambiente, perante as preocupações com o uso dos coagulantes químicos, Choy *et al.* (2014) recomenda a necessidade imediata de desenvolvimento de produtos viáveis para o emprego como coagulantes naturais em alternativa aos coagulantes químicos.

Já Yin (2010) reforça a importância da substituição dos coagulantes químicos a base de ferro e alumínio, tais como cloreto de alumínio ($AlCl_3$), cloreto férrico ($FeCl_3$) e policloreto de alumínio (PAC), por coagulantes à base de plantas para eliminar os impactos negativos gerados pelos coagulantes inorgânicos, tais como a ineficácia em águas com baixa temperatura, altos custos de aquisição, efeitos nocivos à saúde, produção de grandes volumes de lodo e interferência significativa no pH da água tratada.

A utilização dos coagulantes naturais, dentre eles a Moringa oleifera, representa um grande progresso no ramo da tecnologia sustentável, tendo em vista que são recursos renováveis e seu uso está diretamente ligada à melhoria da qualidade de vida para comunidades, especificamente as subdesenvolvidas (YIN, 2010).

A água aduzida para tratamento na estação de tratamento de água (ETA) no município de Guaratinguetá possui características físico-químicas intrínsecas quanto comparadas a outras fontes de abastecimento de água. As características da água bruta variam temporal e espacialmente nas mais variadas bacias hidrográficas do país e do mundo.

Diante dos vários estudos já realizados e aos atuais em andamento nas várias localidades a nível nacional e internacional, mediante utilização de produtos coagulantes e floculantes orgânicos de origem vegetal no tratamento de água, é necessário ampliar cada vez mais as pesquisas de forma a averiguar a eficácia dos produtos naturais como coagulantes alternativos nos vários sistemas de tratamento de água.

OBJETIVO(S)

O trabalho desenvolvido teve como objetivo avaliar, através de ensaios de bancada com o uso de equipamento *Jar Test* e acessórios, a remoção dos parâmetros físicos Cor e Turbidez com o uso do extrato aquoso da semente da árvore Moringa oleifera como coagulante químico natural no processo de tratamento de água na estação de tratamento de água (ETA) no município de Guaratinguetá em água bruta originária do Ribeirão Guaratinguetá, manancial superficial responsável pelo abastecimento de água de aproximadamente 90% da população residente na área urbana municipal.



METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia de pesquisa adotada foi a quantitativa, tendo em vista a geração de resultados numéricos mediante as análises em laboratório dos parâmetros físicos (Cor e Turbidez) e químico (pH).

Os ensaios foram realizados no laboratório da ETA da no município de Guaratinguetá mediante uso dos aparelhos colorímetro, turbidímetro e pHâmetro.

A pesquisa realizada consistiu nas seguintes etapas:

- Obtenção da água bruta na calha Parshall da ETA com posterior determinação dos parâmetros considerados para o estudo (cenário 01);
- Realização de ensaios de coagulação/floculação (*Jar Test*) com a utilização do composto orgânico natural com uso apenas da polpa da semente (PS), com a posterior determinação dos parâmetros considerados para o estudo (cenários 02);
- Realização de ensaios de coagulação/floculação (*Jar Test*) com a utilização do composto orgânico natural com uso da semente completa (polpa + casca da semente _ PS + CS), com a posterior determinação dos parâmetros considerados para o estudo (cenários 03);
- Criação de histórico com os valores obtidos das análises dos ensaios mediante uso do software MS Excel;
- Criação de gráficos, por parâmetro de estudo, a fim de melhor avaliação do comportamento das águas consideradas no estudo;

Quanto ao preparo da solução com o coagulante a base das sementes de Moringa oleífera, segue a descrição de quantitativo de materiais utilizados, procedimento de preparo da solução aquosa e características técnicas adotadas durante o ensaio:

Equipamentos/materiais utilizados no preparo da solução:

- Balança digital eletrônica (capacidade 5,0 kg);
- Liquidificador doméstico;
- Peneira metálica com abertura 1,0 mm;
- Recipiente plástico para armazenamento do extrato obtido.

Equipamentos/materiais utilizados no ensaio/teste de bancada:

- Jar Test Flocc Control III (marca Policontrol);
- Phmetro de bancada (marca Policontrol);
- Turbidímetro de bancada (marca Policontrol);
- Colorímetro Aquacolor (marca Policontrol);
- Proveta 100 mL;
- Pipeta 25 mL;
- Balão volumétrico 500 mL;
- Deonizador de água.

Obtenção da solução salina utilizada no estudo:

- Solutivo 01: 40 g a base de semente de Moringa oleífera:
 - 1- Polpa da semente (PS) como tipo 01 de coagulante;
 - 2- Polpa + Casca da semente (PS + CS) como tipo 02 de coagulante;



- Soluto 02: 12 g de sal de cozinha (NaCl) para a obtenção de solução 1 molar (1 M);
- Solvente: 200 mL de água deonizada.

As soluções a base de semente de Moringa Oleífera utilizadas como coagulante natural em dosagens no *Jar Test* foram obtidas mediante duas etapas:

- a) Trituração em liquidificador de 40 g de soluto (PS ou PS + CS) e 12 g de sal de cozinha em 200 mL de água deonizada, a fim de obter a solução salina 1 molar (1 M);
- b) Peneiramento da solução gerada da trituração para retenção de eventual material grosseiro não triturado;
- c) Diluição de 150 mL do volume resultante do peneiramento em balão volumétrico 500 mL, complementado com água deonizada.

Características de tempo e velocidade considerados durante os ensaios:

- Tempo de 10 minutos para a agitação/trituração, a alta rotação do liquidificador, para a obtenção da solução composta de sementes de Moringa (PS ou PS + CS), água deonizada e sal de cozinha;
- Velocidade de agitação do equipamento *Jar Test*: 100 rpm, 75 rpm, 50 rpm e 20 rpm;
- Tempo de agitação no equipamento *Jar Test*: 2,0 minutos para cada velocidade anteriormente descrita;
- Tempo de 30 minutos considerado para a decantação/sedimentação após o término da agitação do líquido nas jarras, com a avaliação dos parâmetros Cor e Turbidez em intervalos de 10 minutos.

Fórmulas empregadas nos cálculos durante o desenvolvimento do estudo:

A fórmula para o cálculo da concentração do extrato obtido a partir das sementes de Moringa está descrita na equação (1) a seguir:

$$C_{extrato} = \frac{(M_{soluto\ 1} + M_{soluto\ 2})}{V_{solvente}} \quad \text{equação (1)}$$

Uma vez obtido o extrato, ocorreu a diluição em balão volumétrico, conforme a equação (2) abaixo:

$$D_{extrato}(\%) = \frac{V_{extrato}}{V_{solvente}} \quad \text{equação (2)}$$

As eficiências dos parâmetros físicos Cor e Turbidez foram calculadas conforme as equações 3 e 4 abaixo:

$$Cor(\%) = \left(\frac{C_{\text{Água Bruta}} - C_{\text{Água decantada (00:30 h)}}}{C_{\text{Água Bruta}}} \right) \times 100 \quad \text{equação (3)}$$

$$Turbidez(\%) = \left(\frac{T_{\text{Água Bruta}} - T_{\text{Água decantada (00:30 h)}}}{T_{\text{Água Bruta}}} \right) \times 100 \quad \text{equação (4)}$$

O município de Guaratinguetá localiza-se no estado de São Paulo, na macrorregião do Vale do Paraíba (eixo São Paulo - Rio de Janeiro) e microrregião de Guaratinguetá. A empresa responsável pela prestação dos

serviços de saneamento na municipalidade é a Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá, popularmente conhecida como SAEG.

A figura 1 a seguir mostra a localização do município de Guaratinguetá, local da realização do estudo, no estado de São Paulo.



Figura 1: localização do município de Guaratinguetá no estado de São Paulo.
Fonte: Wikipédia adaptado (2022).

A figura 2 abaixo apresenta a delimitação municipal e municípios limítrofes a Guaratinguetá na região do Vale do Paraíba.

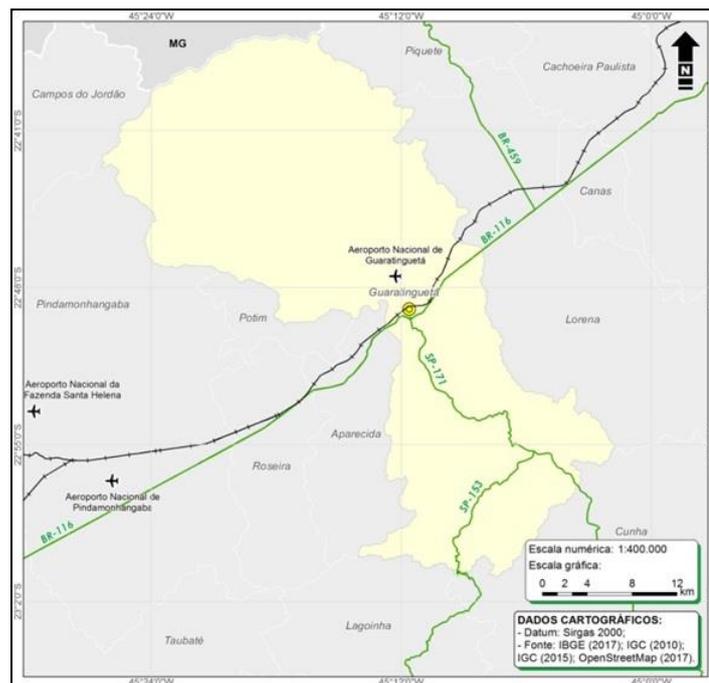


Figura 2: delimitação municipal de Guaratinguetá.
Fonte: IBGE adaptado (2017).

RESULTADOS OBTIDOS

Vários foram os resultados obtidos com os ensaios realizados mediante o emprego do extrato da semente da árvore Moringa oleífera, desde a polpa da semente (PS) a semente completa (PS + CS), de forma a visualizar as potencialidades de utilização e interface com o material particulado da água bruta.

A figura 3 abaixo mostra a árvore Moringa oleífera vista num dos bairros da parte alta na cidade de Maceió/AL, onde foram obtidas as sementes para uso na experimentação em Guaratinguetá/SP.



Figura 3: Árvore Moringa oleífera ou acácia branca vista na cidade de Maceió/AL.

A figura 4 abaixo mostra a matéria prima semente da árvore Moringa oleífera utilizada como coagulante natural para a realização dos ensaios de teste de jarras (*Jar Test*).



Figura 4: semente de Moringa oleífera utilizada nos ensaios como coagulante natural.

As figuras 5 e 6 a seguir mostram a sequência das etapas para a obtenção do extrato das sementes de Moringa oleífera, desde a pesagem, uso de equipamento triturador, peneiramento para a retenção de material grosseiro e diluição em balão volumétrico.



Figura 5: Uso da polpa da semente de Moringa (PS) para a obtenção do extrato coagulante.



Figura 6: Uso da semente de Moringa (PS + CS) para a geração do extrato coagulante.

A figura 7 abaixo mostra a dosagem do extrato da semente de Moringa oleífera no teste de jarra (*Jar Test*).



Figura 7: Dosagem do extrato coagulante a base de Moringa oleífera no teste de jarra.

Para dosagens grandes durante a realização dos ensaios (volume acima de 25 mL), utilizou-se a proveta graduada 100 mL em vez da pipeta 25 mL.

A figura 8 abaixo mostra a vista superior da lâmina d'água das jarras com espuma branca durante o teste de jarra (*Jar Test*). Essa espuma é oriunda do uso do extrato das sementes de Moringa oleífera, sendo formada durante a agitação da água (giro das palhetas) durante o ensaio.



Figura 8: ensaio *Jar Test* realizado com uso do extrato da semente da Moringa.

Durante o tempo de decantação, após o funcionamento do aparelho *Jar Test*, visualizou-se a presença grande de partículas suspensas. Estas partículas causam alteração de valor do parâmetro Turbidez. Desta forma, a fim

de avaliar a melhoria na clarificação (redução do valor da Turbidez), utilizou-se o produto geocálcio, alcalinizante utilizado para a correção do pH no processo de tratamento de água municipal.

As figuras 9 e 10 abaixo mostram os resultados obtidos no *Jar Test* mediante o uso do extrato da Moringa oleífera com e sem adição do geocálcio. Em ambos os gráficos, tem-se como valores de referência comparativa os parâmetros Cor e Turbidez da água bruta, sendo visível a alta eficiência na remoção dos parâmetros da água coagulada após o tempo de 30 minutos da realização do ensaio.

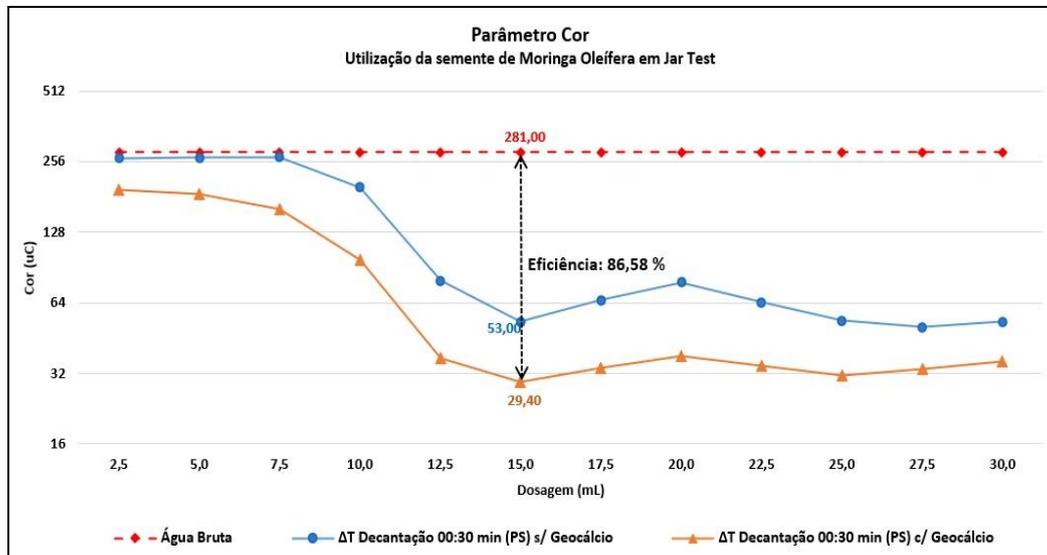


Figura 9: Avaliação do parâmetro Cor de água bruta em *Jar Test* no laboratório da ETA.

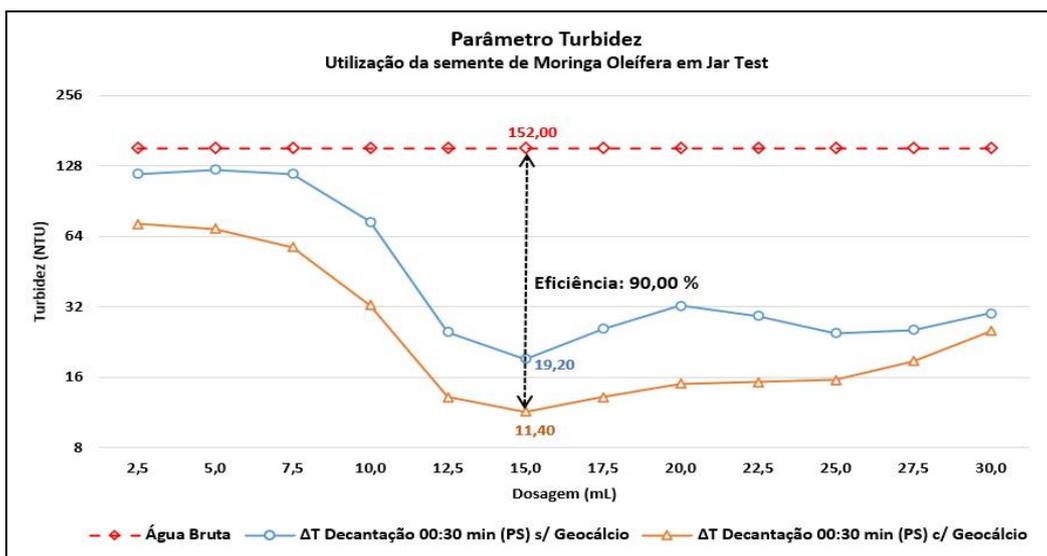


Figura 10: Avaliação do parâmetro Turbidez de água bruta em *Jar Test* no laboratório da ETA.

A tabela 1 a seguir apresenta os valores registrados para os parâmetros físicos Cor e Turbidez da água bruta utilizada nas análises dos ensaios *Jar Test*, oriunda do manancial superficial Ribeirão Guaratinguetá.

Tabela 1: características da água bruta analisadas nos ensaios *Jar Test*.

VALOR DO PARÂMETRO	COR (UC)	TURBIDEZ (NTU)
MÍNIMO	61,20	19,80
MÉDIO	156,86	76,41
MÁXIMO	281,00	153,00

De forma geral, para os ensaios *Jar Test* realizados com a água bruta, foram obtidos os seguintes percentuais, conforme a descrição na tabela 2 a seguir, mediante a utilização dos extratos da polpa da semente (PS) e da semente completa (PS + CS).

Tabela 2: percentuais de remoção dos parâmetros físicos diante do uso dos extratos da Moringa.

VALOR DE REMOÇÃO	COR (UC)		TURBIDEZ (NTU)	
	PS	PS + CS	PS	PS + CS
MÍNIMO	4,05 %	2,24 %	4,58 %	4,18 %
MÉDIO	52,36 %	50,54 %	54,10 %	43,32 %
MÁXIMO	86,58 %	78,51 %	90,00 %	83,07 %

As figuras 11 e 12 a seguir mostram as curvas de valores dos parâmetros cor e turbidez das águas bruta e coagulada correlacionadas as eficiências obtidas para os ensaios com uso do extrato da polpa de semente (PS) de Moringa.

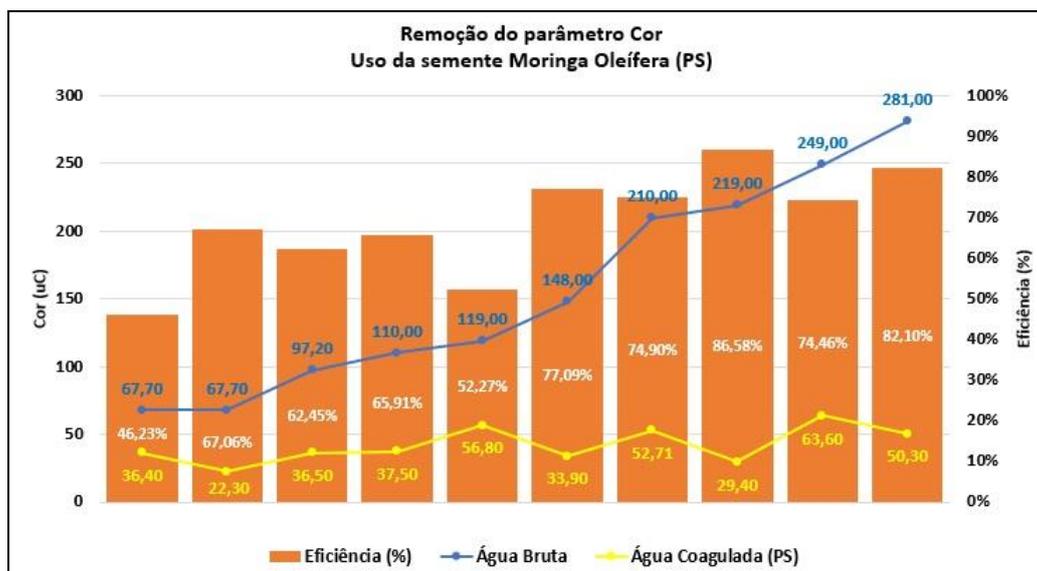


Figura 11: Avaliação do parâmetro Cor mediante uso do extrato PS.

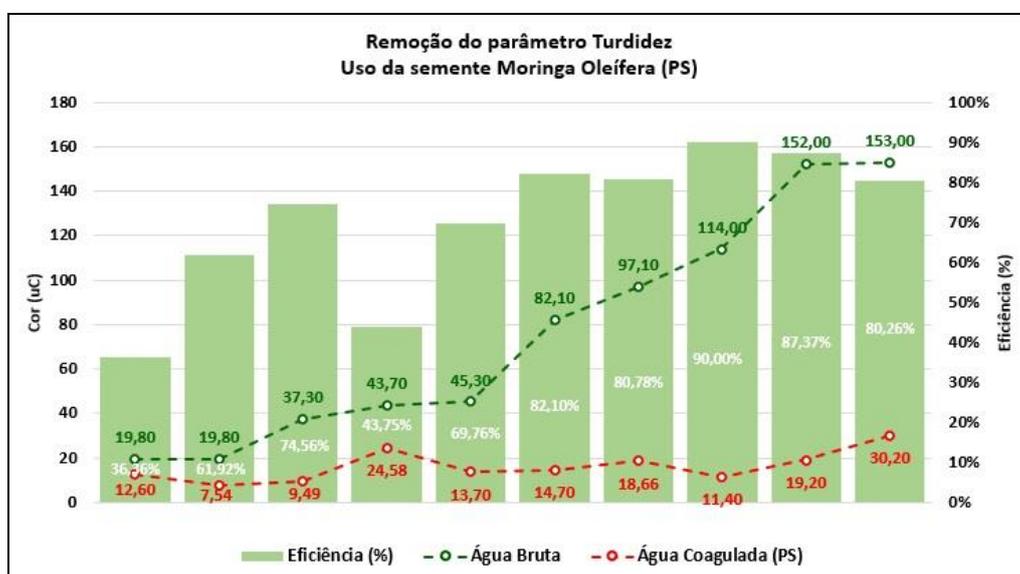


Figura 12: Avaliação do parâmetro Turbidez mediante uso do extrato PS.

Já as figuras 13 e 14 a seguir mostram as curvas de valores dos parâmetros cor e turbidez das águas bruta e coagulada correlacionadas as eficiências obtidas para os ensaios com uso do extrato da semente completa (PS + CS) de Moringa.

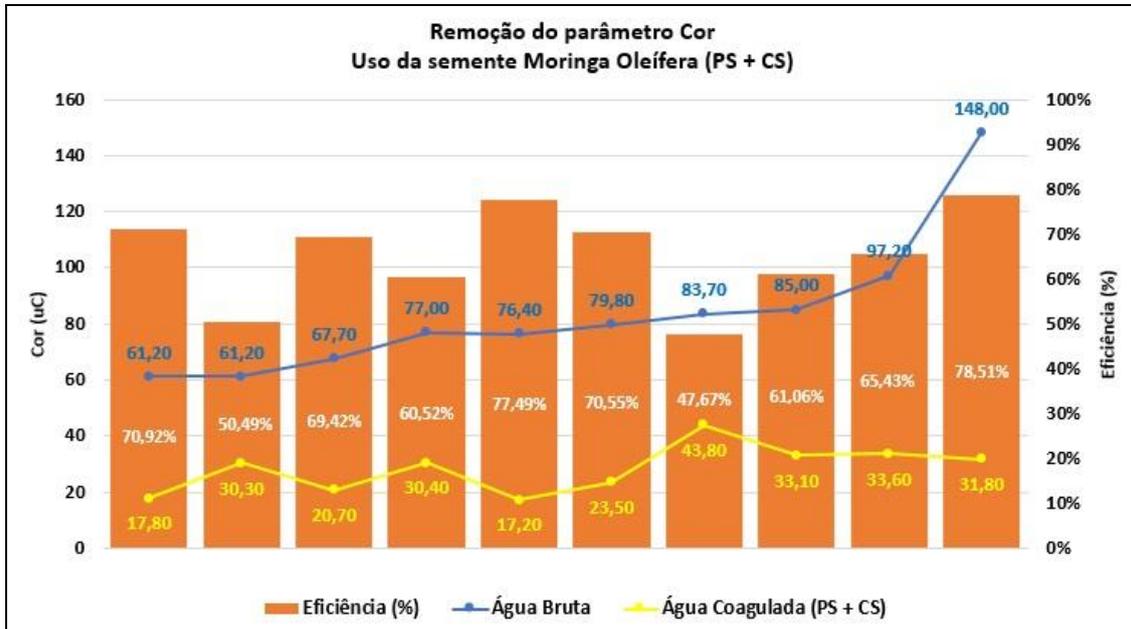


Figura 13: Avaliação do parâmetro Cor mediante uso do extrato PS+CS.

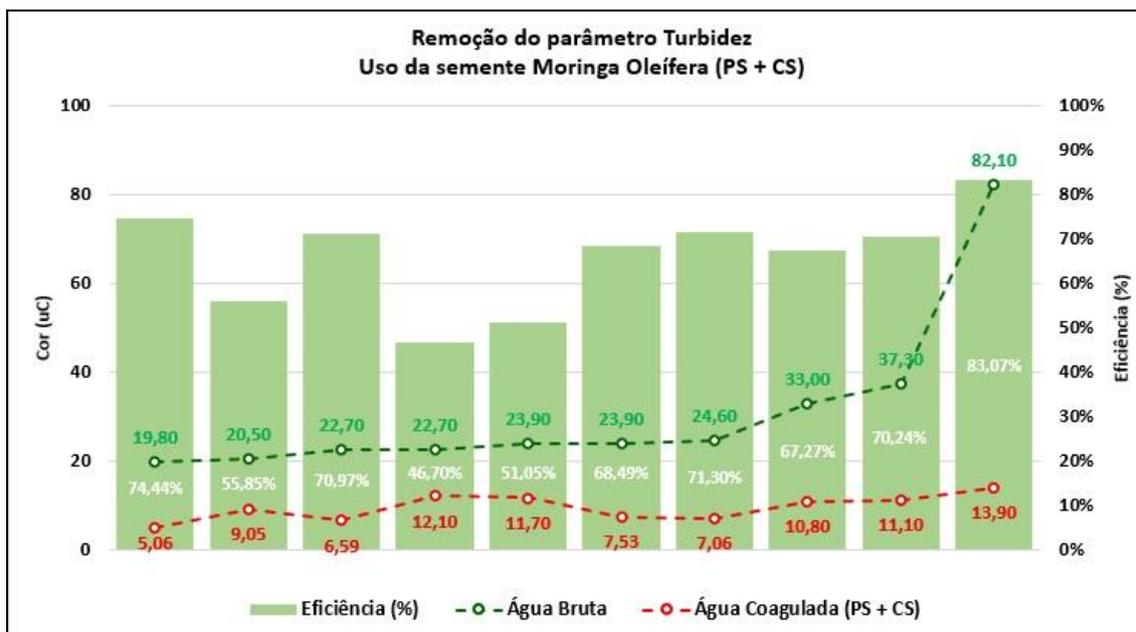


Figura 14: Avaliação do parâmetro Turbidez mediante uso do extrato PS+CS.

O estudo contemplou também a criação de “águas sintéticas” mediante o uso de corante/tinta e de solo argiloso/siltoso para análise, a fim de simular um efluente industrial (de fábrica têxtil por exemplo) e água de rio com elevada turbidez (água em período chuvoso nos variados lugares por exemplo) respectivamente, de forma a avaliar o potencial de remoção dos parâmetros físicos Cor e Turbidez com o emprego dos extratos a base de Moringa.

A figura 15 a seguir mostra a água sintética “colorida” criada com uso de produto industrializado, consistindo na diluição de 50 mL de corante na cor azul em 100 L de água bruta. Em seguida, ocorreu a homogeneização mediante uso de bastão durante 5 minutos, de forma que o corante esteja presente em todo volume amostral.



Figura 15: Formação da água sintética “colorida” para uso no ensaio *Jar Test*.

A figura 16 abaixo mostra os béqueres (2,0 L cada) com a água sintética “colorida” a ser utilizada no ensaio *Jar Test*.

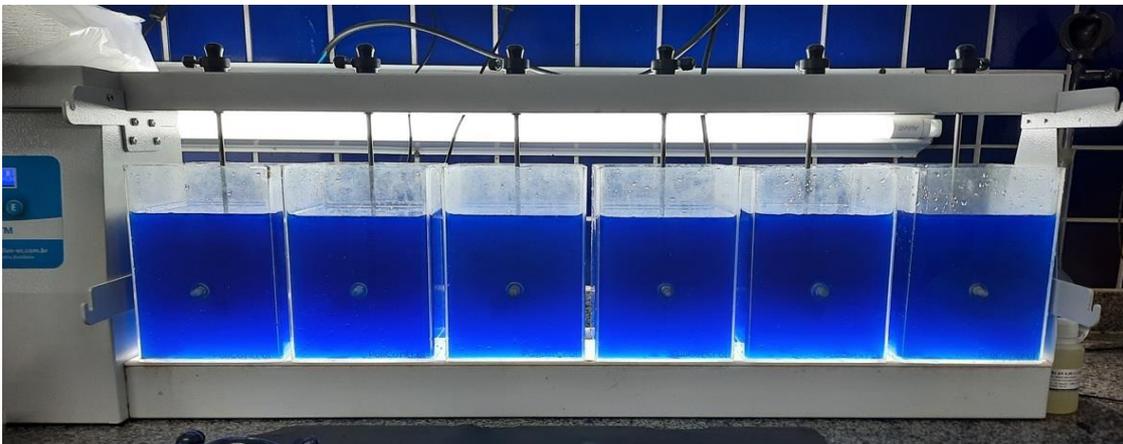


Figura 16: Béqueres do aparelho *Jar Test* com a água sintética para a realização do ensaio.

As figuras 17 e 18 a seguir mostram respectivamente o clareamento da água “colorida” nos béqueres mediante a utilização do extrato da polpa das sementes de Moringa (PS) no ensaio *Jar Test* em tempo inicial (00:00:00 h) e final (00:30:00 h) de decantação.



Figura 17: Água sintética em fase inicial de decantação (tempo 00:00:00 h) após o ensaio *Jar Test*.



Figura 18: Água sintética em fase final de decantação (tempo 00:30:00 h) após o ensaio Jar Test.

As figuras 19 e 20 abaixo mostram os valores obtidos para os parâmetros Cor e Turbidez durante o ensaio Jar Test, assim como as informações de dosagem empregados do extrato da semente de Moringa.

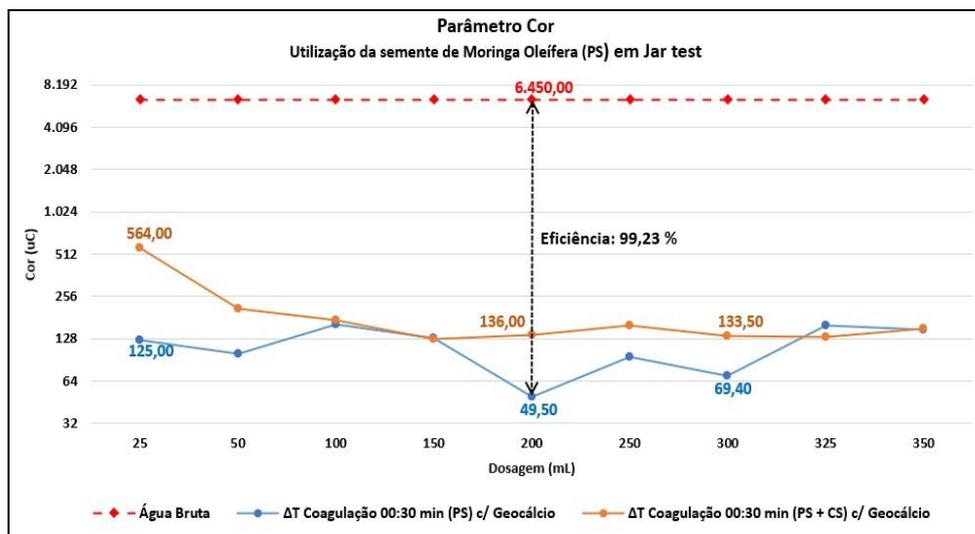


Figura 19: Avaliação do parâmetro cor da água sintética em ensaio Jar test.

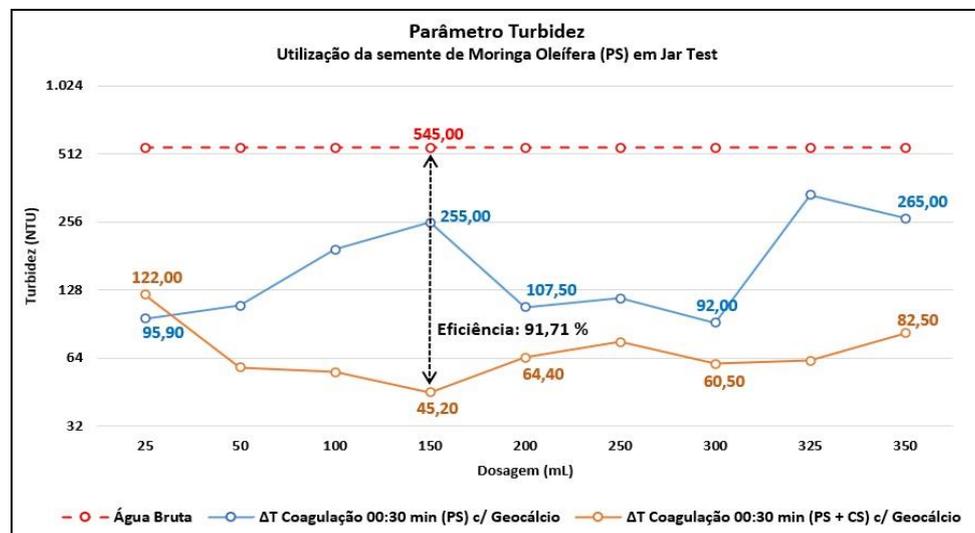


Figura 20: Avaliação do parâmetro turbidez da água sintética em ensaio Jar Test.

O outro tipo de água sintética analisado foi obtido mediante a mistura de solo argiloso/siltoso em 100 L de água. A homogeneização ocorreu mediante uso de bastão durante 5 minutos, de forma que a matéria sólida esteja totalmente distribuída em todo volume amostral.

A figura 21 a seguir mostra o recipiente com a água sintética turva acondicionada, onde ocorreu a retirada da água com uso dos béqueres do aparelho *Jar Test* mediante abertura de registros instalados na altura média na lateral do recipiente.

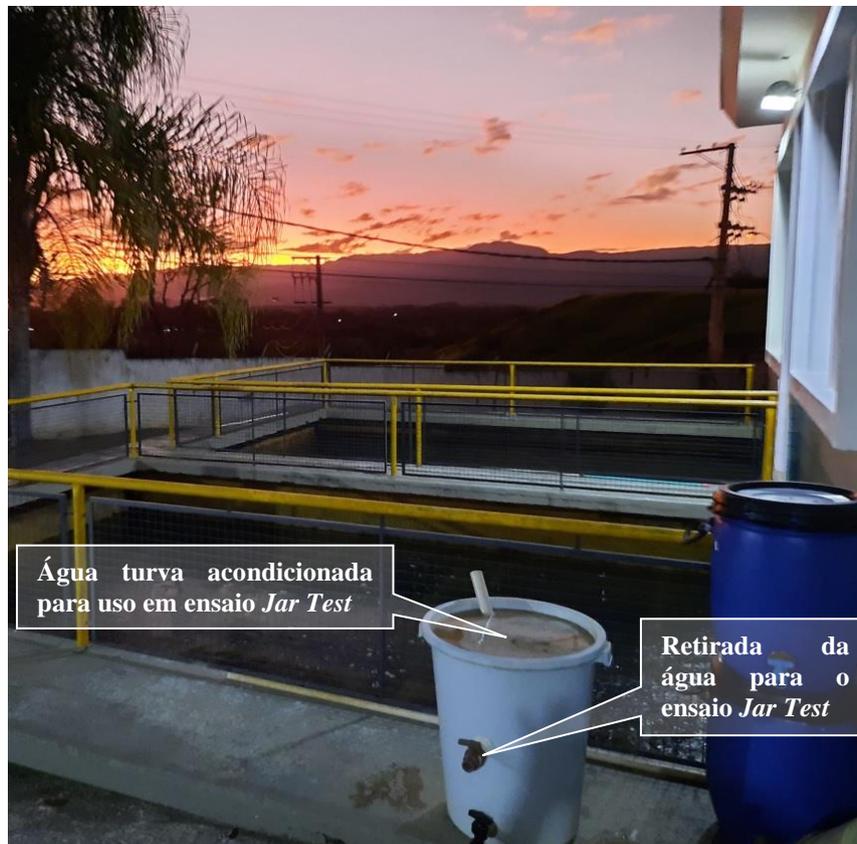


Figura 21: Recipiente acondicionador da água sintética turva para uso no ensaio *Jar Test*.

A figura 22 abaixo mostra os béqueres do aparelho *Jar Test* com a água sintética turva para uso no ensaio.

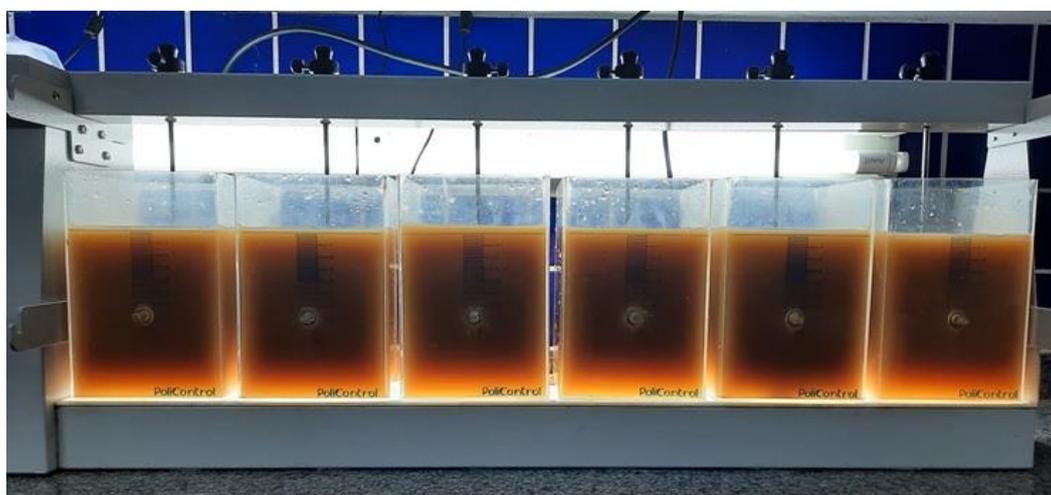


Figura 22: Água sintética turva nos béqueres para uso no ensaio *Jar Test*.

A figura 23 a seguir mostra o material particulado sedimentado nos béqueres do aparelho *Jar Test* após o tempo de 30 minutos (00:30:00 hs) mediante uso do extrato da semente da Moringa (PS + CS).



Figura 23: Tempo de decantação de 00:30 h finalizado no ensaio *Jar Test*.

As figuras 24 e 25 a seguir mostram as curvas de valores para os parâmetros Cor e Turbidez das águas bruta e decantada no tempo de 30 minutos (00:30:00 h) após os ensaios no aparelho *Jar Test* com uso dos extratos da polpa (PS) e da semente completa (PS + CS) da Moringa.

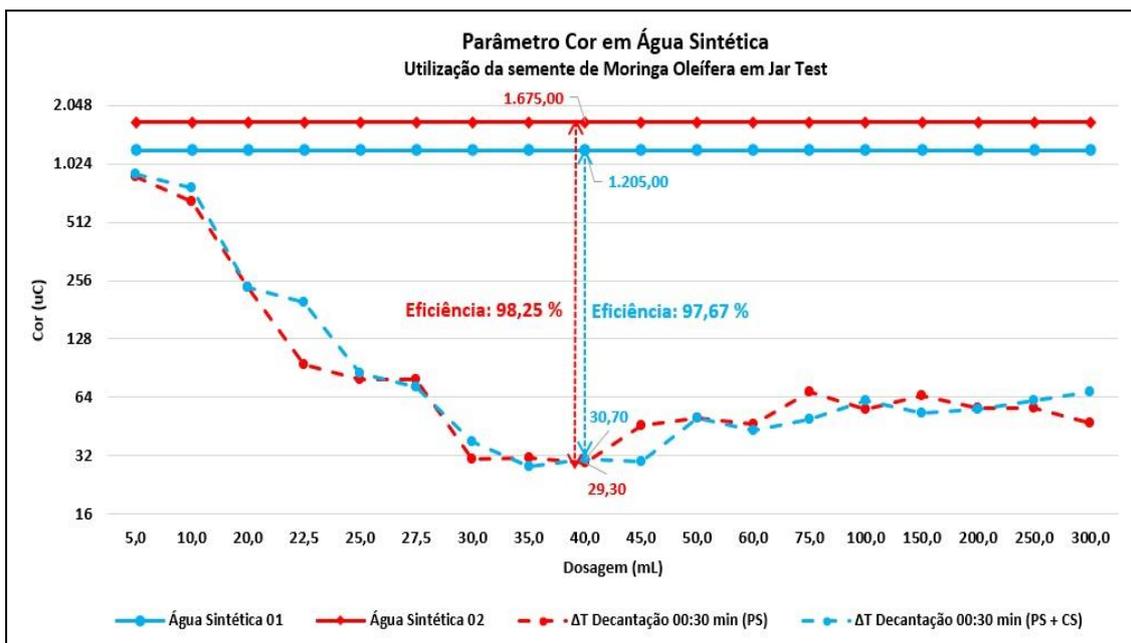


Figura 24: Avaliação do parâmetro Cor das águas bruta e decantada após o ensaio *Jar Test*.

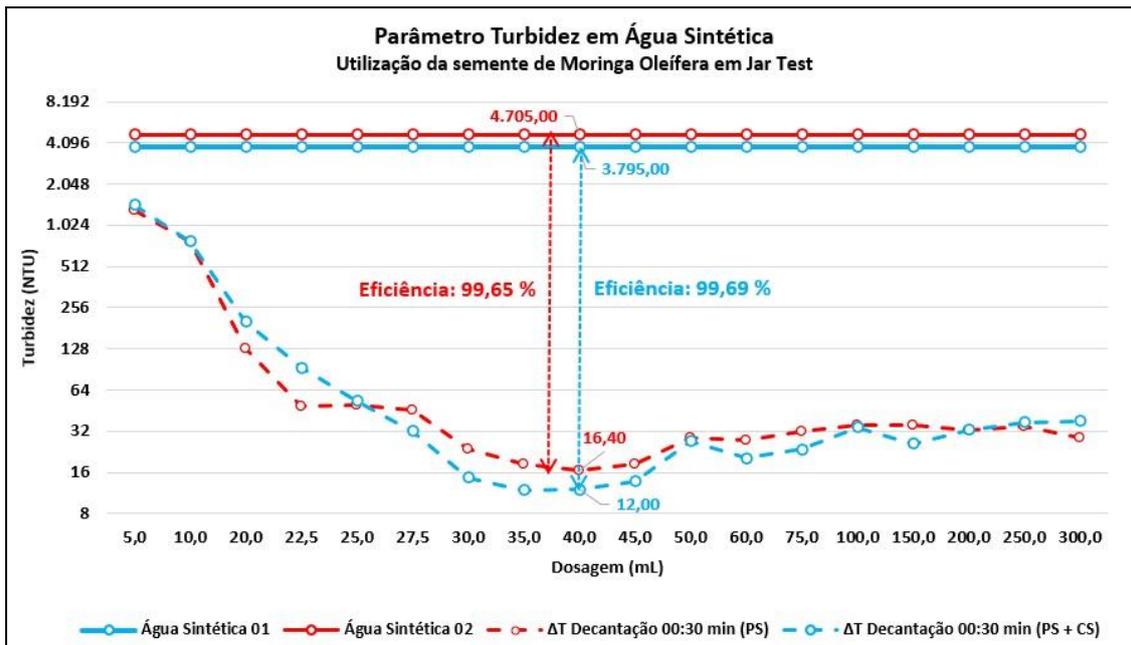


Figura 25: Avaliação do parâmetro Turbidez das águas bruta e decantada após o ensaio Jar Test.

Referente aos resultados obtidos para as eficiências na remoção dos parâmetros físicos Cor e Turbidez da água bruta mediante uso do extrato da semente de Moringa oleífera (Tabela 2), as figuras 26 a 29 a seguir mostram os resultados obtidos para cada intervalo percentual de eficiência obtido.

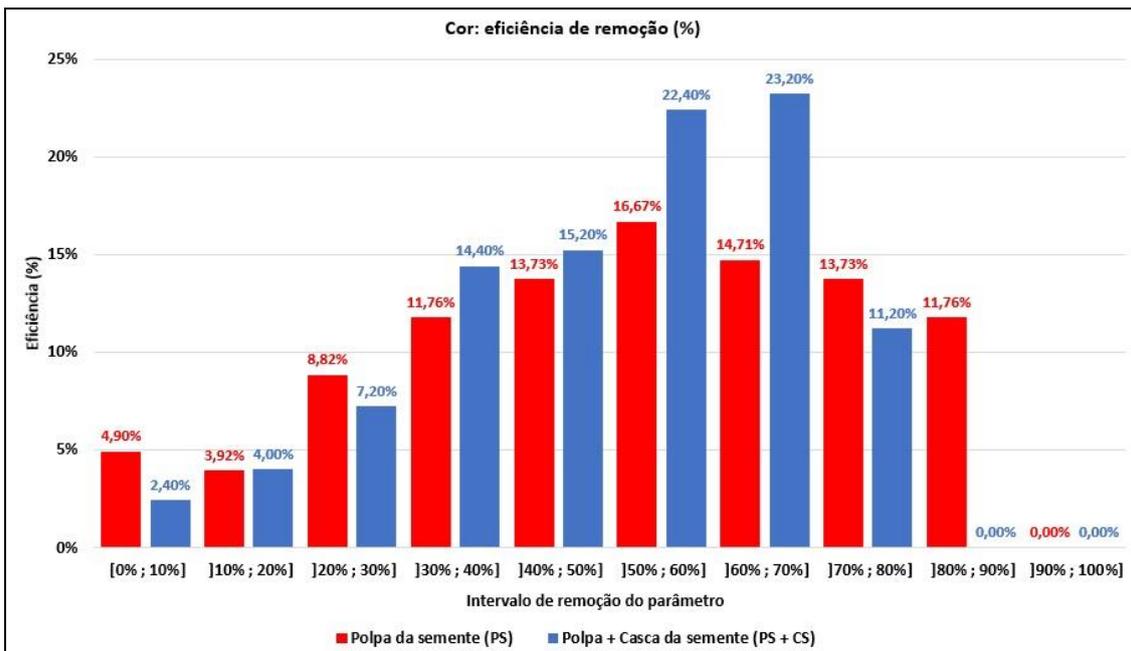


Figura 26: Histogramas para avaliação de remoção do parâmetro Cor.

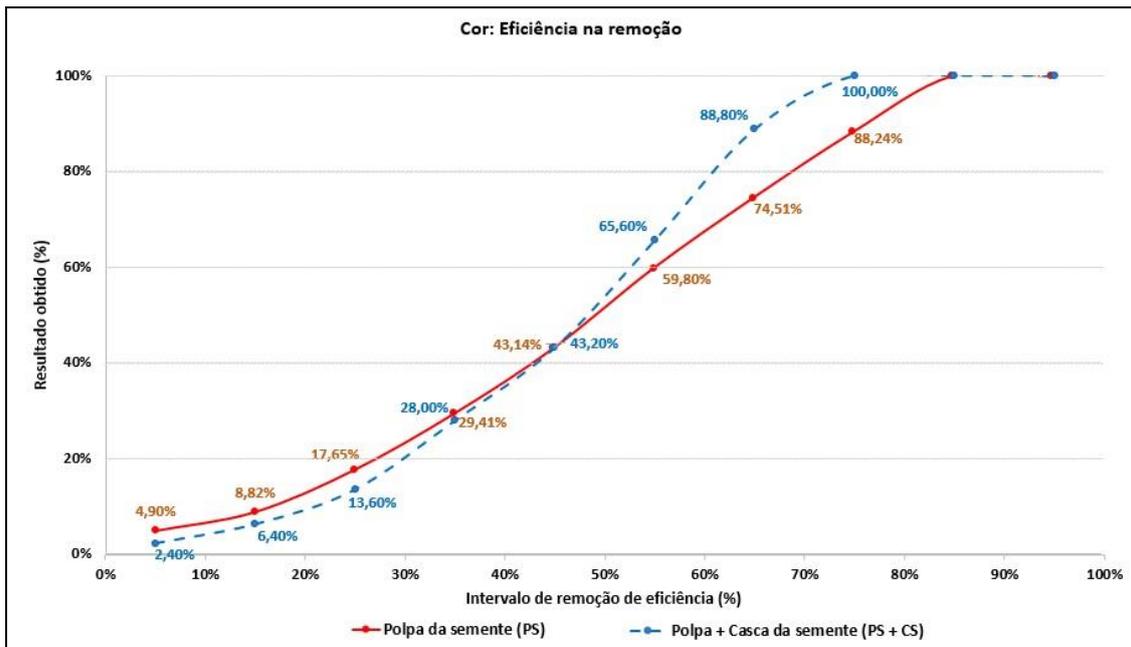


Figura 27: Curvas acumuladas para avaliação de remoção do parâmetro Cor.

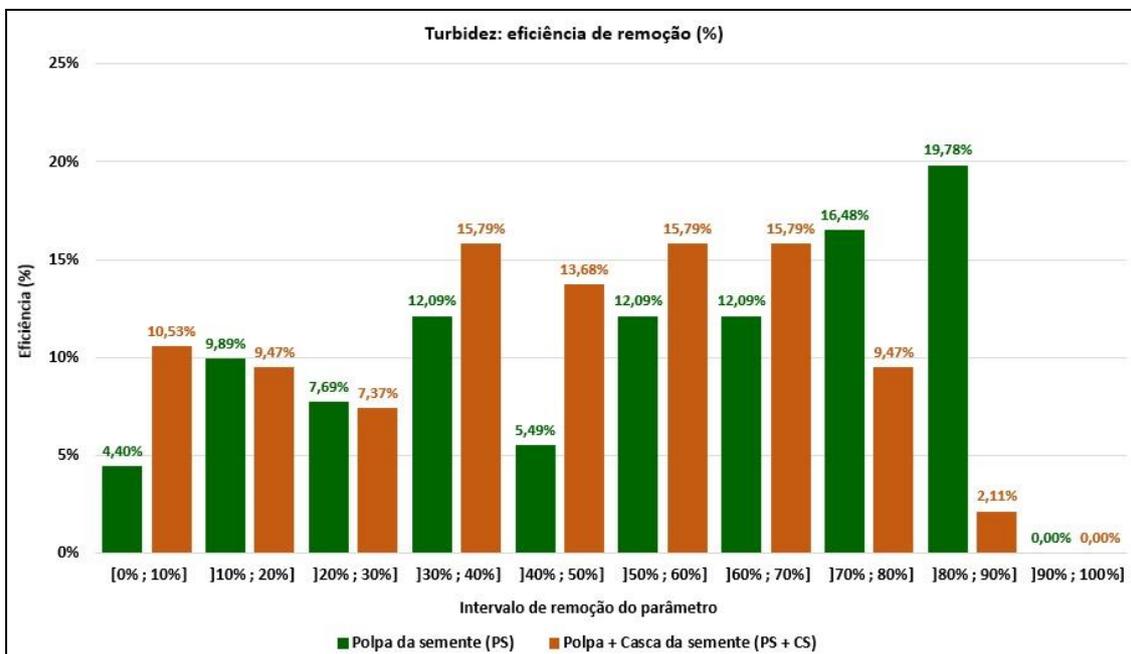


Figura 28: Histogramas para avaliação de remoção do parâmetro Turbidez.

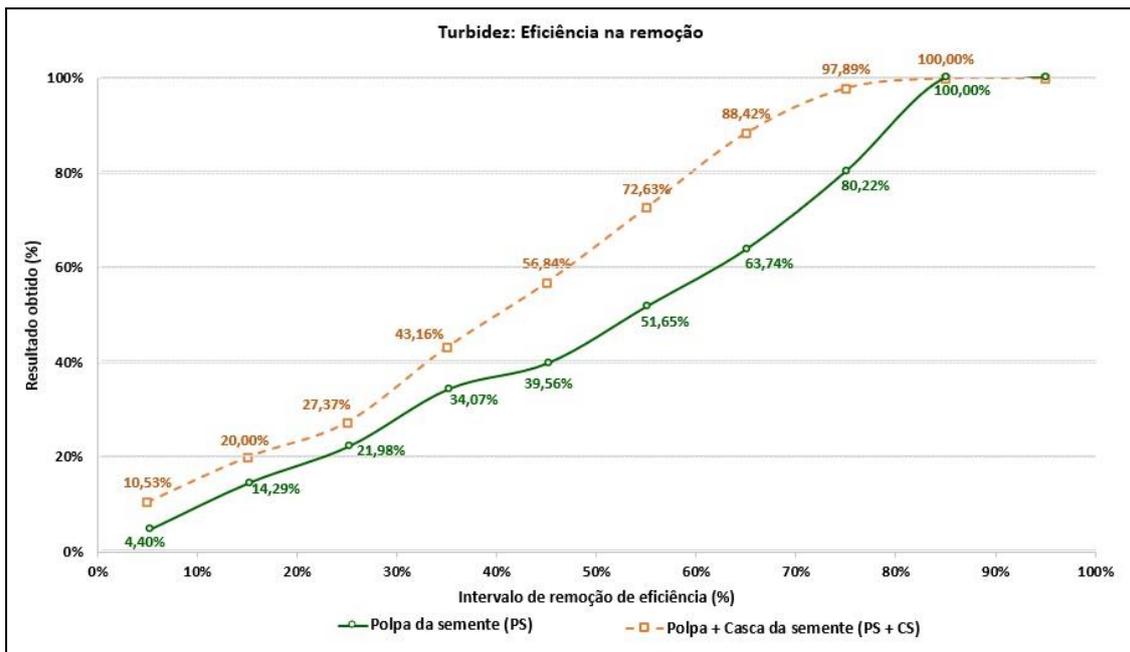


Figura 29: Curva comparativa para avaliação da remoção do parâmetro Turbidez.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Mesmo existindo o procedimento para a geração do extrato das sementes de *Moringa oleífera*, segundo Araújo *et al.* (2016), adotou-se um procedimento alternativo considerando os equipamentos básicos e de fácil acesso por qualquer empresa e/ou pessoa física para a realização dos ensaios. Os autores Fermino e Ribeiro (2016) adotaram aparelhos simples para a trituração das sementes para posterior preparação do extrato de *Moringa*.

Para as águas com elevada turbidez, o extrato da semente de *Moringa oleífera* mostrou-se bastante eficaz durante a realização dos ensaios *Jar Test*. Para as águas com baixa turbidez, houve a necessidade de redução da concentração da semente no preparo do extrato (40 g para 20 g) ou reduzir o volume do extrato na diluição em balão volumétrico para a obtenção da dosagem ótima (maior eficiência na remoção dos parâmetros Cor e Turbidez).

Quanto ao uso das soluções a base da polpa da semente (PS) e a semente completa (PS+ CS) nos ensaios *Jar Test*, houve equivalência na redução dos parâmetros Cor e Turbidez em parte dos ensaios. Para alguns ensaios, houve diferença mediante a aplicação dos dois extratos, sendo mais eficiente a utilização do extrato com polpa e casca da semente (PS+ CS).

Durante os ensaios, parte das dosagens foram realizadas mediante uso de pipetas (volume de 25 mL) e provetas (volume de 100 mL). Este último equipamento foi empregado quando demandava dosagem elevada (água bastante turva), a fim de evitar usos sucessivos com a pipeta para a dosagem na mesma jarra.

Através da análise das curvas representadas nas figuras 9 e 10, mediante o emprego do extrato da polpa da semente (PS), ficou visível a melhor eficiência na remoção dos parâmetros Cor e Turbidez com a aplicação do alcalinizante geocálcio em comparação a não aplicação.

Para a água sintética “colorida” estudada, observou-se que a dosagem ótima para a remoção de Turbidez (Figura 20) diferiu da melhor dosagem de remoção do parâmetro Cor (Figura 19). Para o mesmo efluente colorido, o uso do extrato da semente completa (PS + CS) removeu melhor a Turbidez em relação a polpa da semente (PS). Já quanto a remoção do parâmetro Cor, o comportamento foi o contrário.

Observou-se que, para a redução dos valores dos parâmetros Cor e Turbidez da água sintética “colorida” (valor da Cor bem mais elevado em comparação a Turbidez), precisou empregar mais volume de extrato de *Moringa* em comparação à água sintética com solo argiloso/siltoso (valor da Turbidez mais elevado em relação a Cor).

As curvas que contêm os valores obtidos dos ensaios *Jar Test* para os parâmetros Cor e Turbidez da água sintética turva, esta consistindo da mistura da água bruta com solo argiloso /siltoso (Figuras 24 e 25),



apresentaram valores próximos ao longo das várias dosagens empregadas nos ensaios com o uso dos extratos da polpa (PS) e da semente completa (PS + CS) da Moringa.

Para alguns ensaios realizados com adição de geocálcio (alcalinizante), ocorreu elevação acentuada do pH da jarra de melhor eficiência na remoção da Cor e Turbidez. Alguns valores nos ensaios ultrapassaram o limite de 9,0 para a água tratada, conforme a Portaria GM/MS 888/2021. Dessa forma, foram realizados novos ensaios com o emprego de menor volume alcalinizante (redução de 3 mL para 2 mL ou de 2 mL para 1,5 mL etc), de modo a ter nova constatação da remoção de parâmetros físicos e averiguação do valor de pH (valor entre 8,0 e 8,5).

Durante o uso das soluções dos extratos de Moringa nos ensaios, ocorreu sempre a agitação antes da utilização da pipeta/proveta de forma a homogeneizar os componentes. Observou-se que, durante a realização de vários ensaios, o volume no balão apresentava sedimentação e material particulado, gerando a separação de componentes.

Diante dos usos dos extratos de Moringa nos variados ensaios (PS e PS+CS), visualizou-se volume maior de material no fundo das jarras (corpo de fundo ou lodo) quando foi utilizado o extrato com a semente completa (PS+CS).

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Diante dos vários trabalhos realizados a nível nacional e internacional, obtendo resultados expressivos na redução de variados parâmetros (físicos, químicos e bacteriológicos), é visível a potencialidade da utilização do extrato da semente da árvore Moringa oleífera ou acácia branca como coagulante natural no processo de tratamento de água nas ETAs.

Para o trabalho desenvolvido em Guaratinguetá/SP, que consistiu na avaliação apenas dos parâmetros físico (Cor e Turbidez) e químico (pH) mediante a aparelhagem laboratorial existente, foi constatada a elevada remoção das partículas suspensas e dissolvidas em percentuais consideráveis, conforme os gráficos apresentados no campo resultados. A fim de maior complementação do estudo, faz-se necessária a realização dos ensaios para os parâmetros químico (Ferro e Manganês), bacteriológico (Escherichia Coli etc) e propriedades organolépticas (sabor e odor) a fim de atestar a utilização do produto natural.

As águas oriundas dos processos industriais, especificamente o têxtil, poderia utilizar esse produto natural como coagulante no tratamento do efluente colorido gerado na redução da turbidez e principalmente cor em substituição a alguma etapa no processo industrial (eletrocoagulação e fotoeletrocatalise).

Uma vez sendo viável a utilização da semente da árvore Moringa oleífera no tratamento de água, alguns desafios para a obtenção da matéria prima (extrato) para uso em escala real precisam ser considerados, tais como: 1- avaliação da área necessária (km² e ha) para o plantio da árvore, de forma que produza a quantidade necessária de sementes de acordo com a vazão e as características da água bruta a ser tratada; 2- a produção industrializada ou mecanizada do extrato com as sementes da árvore para posterior uso como coagulante natural, sem a perda das propriedades naturais da semente.

Como benefício da utilização deste produto natural como coagulante em escala real, o resíduo gerado no processo de tratamento de água (lodo de ETA) poderia ser usado como adubo natural em plantações variadas ou na recomposição de solo em áreas sujeitas a processo erosivo no próprio município, reduzindo custos com transporte e destinação a aterros específicos em recebimento de lodo de ETA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, L. L., NONATO, E. S., SOUZA, A. A. A. O uso da moringa oleífera como coagulante natural da água: análise das variáveis turbidez e pH. 2º Simpósio Nordeste de Química. 2016. Disponível em: < <http://www.abq.org.br/sinequi/2016/trabalhos/100/8706-22240.html> > Acessado em: 17 de outubro de 2021.
2. CAMACHO, F. P., SOUSA, V. S., BERGAMASCO, R., TEIXEIRA, M. R. *The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. Chemical Engineering Journal.* v.313, n.1, 2017. p. 226-237. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031> > > Acessado em: 25 de outubro de 2021.



3. CASTRO, H., PAULINO, G. Moringa, a árvore mágica que pode acabar com a fome no mundo. Vale do Rio Omo, Etiópia. 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#:~:text=Nativa%20das%20encostas%20do%20Himalaia,nativa%20do%20leste%20da%20África> > Acessado em: 08 de Abril de 2022.
4. CHOY, S. Y., PRASAD, K. M. N., WU, T. Y., RAGHUNANDAN, M. E., RAMANAN, R. N. *Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. Journal of Environmental Sciences.* v. 26, n. 11, 2014. p. 2178-2189. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024> > Acessado em: 21 de outubro de 2021.
5. FERMINO, L. S., RIBEIRO, R. M. Tratamento de águas com coagulante convencional e coagulante alternativo. I Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Tecnológica e Inovação. 2016. Disponível em: < https://www.unicesumar.edu.br/mostra-2016/wp-content/uploads/sites/154/2017/01/lilian_souza_fermino.pdf > Acessado em: 17 de junho de 2022.
6. FRANCO, C. S., BATISTA, M. D. A. *et al.* Coagulação com semente de moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. 2017, v.22 n.4. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017145729> > Acessado em: 21 de outubro de 2021
7. LIMA JÚNIOR, R. N., ABREU, F. O. M. S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. *Revista Virtual de Química.* 2018, v. 10, n. 3. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20180052> > Acessado em: 21 de outubro de 2021.
8. MUNIZ, G. L., DUARTE, F. V., OLIVEIRA, S. B. Uso de sementes de Moringa oleifera na remoção da turbidez de água para abastecimento. *Revista Ambiente & Água.* v.10, n.2, p.454-463, 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1439> > Acessado em: 21 de outubro de 2021.
9. NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S. *Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds. Water Research,* v. 32, n. 3, p. 781-791. 1998. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00295-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00295-9) > Acessado em: 20 de outubro de 2021.
10. PATERNIANI, J. E. S., MANTOVANI, M. C., SANT'ANNA, M. R. Uso de sementes de Moringa oleifera para tratamento de águas superficiais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* v.13, n.6, p.765-771. 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000600015> > Acessado em: 19 de outubro de 2021.
11. SIQUEIRA, A. P. S., SILVA, C. N., REZENDE, L. C. S. H. *et al.* Análise da Performance dos Coagulantes Naturais Moringa Oleífera e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água. Disponível em: < <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/eng/ananlise%20da%20performance.pdf> > Acessado em: 17 de outubro de 2021.
12. WIKIPEDIA. Moringa Oleifera. Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Moringa_oleifera > Acessado em: 08 de abril de 2022.
13. YIN, C.-Y. *Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. Process Biochemistry.* v.45, n.9, 2010. p. 1437-1444. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030> > Acessado em: 18 de outubro de 2021.