

II-148 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO ALTERNATIVO DE EFLUENTE DE ESTAMPARIA COM SEMENTES DE MORINGA OLEIFERA

Renata Medici Frayne Cuba ⁽¹⁾

Bacharel em Química pelo Instituto de Química de São Carlos (IQSC) da Universidade de São Paulo (USP) - . Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) da Universidade Federal de Goiás (UFG)

Matheus Eliatan da Silva Ribeiro

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Goiás (UFG)

Vanessa de Sousa e Silva Balbino

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Goiás (UFG)

Endereço⁽¹⁾: R. Avenida Universitária, Quadra 86, Lote Área, 1488 - Setor Leste Universitário, Goiânia - GO, 74605-220 - Brasil - Tel: (62) 32096541 - e-mail:renatafrayne@hotmail.com

RESUMO

A indústria têxtil é considerada um dos ramos industriais que mais consomem produtos químicos em sua cadeia produtiva, gerando efluentes cujos parâmetros ultrapassam os limites previstos pela Resolução CONAMA nº 430/2011, fazendo necessário o tratamento prévio para o lançamento do efluente em corpos hídricos. A etapa de estamparia é uma das últimas na produção de artigos têxteis tendo a lavagem das telas utilizadas para a estampagem de tecidos como a principal fonte geradora de efluente. Apesar de a demanda de volume de água ser menor quando comparada à demanda de outros processos como tinturaria e lavagem dos tecidos, o efluente gerado possui elevado teor de Demanda Química de Oxigênio (DQO), sólidos totais, intensa coloração e turbidez. Devido a tais características, esse estudo avaliou o tratamento por coagulação/floculação com uso da semente de *Moringa oleifera* triturada como agente coagulante. Foram realizados ensaios de *Jar test* nos quais se variou as condições de pH, a concentração e granulometria da semente *Moringa oleifera*. Os resultados obtidos demonstraram que o pH de 6, a concentração de 1350 mg/L e $0,150 \text{ mm} \leq \text{granulometria} < 0,300 \text{ mm}$ de semente como condições ideais para remoção de cor e turbidez acima de 99% e DQO de 86%.

PALAVRAS-CHAVE: Semente moringa oleifera, coagulação e floculação, efluente têxtil.

INTRODUÇÃO

A indústria têxtil pertence a um setor industrial que se destaca devido seu grande parque instalado no país e elevada produção que representa significativos benefícios econômicos, porém também é um setor com elevada demanda de recursos, principalmente hídricos, e geração de grande volume de efluentes líquidos que, quando não recebem tratamento adequado, podem causar problemas adversos ao ambiente (KUNZ, 2002).

Os efluentes das indústrias do ramo têxtil possuem caracterização diversa devido à variedade dos seus processos, sendo a etapa de estamparia uma das principais fontes geradoras devido à lavagem das telas utilizadas para a estampagem de tecidos. De acordo com LU *et al.*, (2008) e MEZA, (2010) esses efluentes possuem elevadas concentrações de demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais e intensas coloração e turbidez cujos valores ultrapassam os limites previstos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 para lançamento de efluentes.

Processos de tratamento físico-químicos como por exemplo coagulação, floculação e sedimentação (CFS) tem mostrado considerável eficiência no tratamento de efluentes têxteis (CRUZ, 2004), sendo o sulfato de alumínio o composto químico mais utilizado como coagulante. No entanto, devido às evidências de que tais compostos afetam tanto o ambiente quanto à saúde humana (MATEUS *et al.*, 2017) muitos trabalhos têm focado na substituição desses coagulantes convencionais inorgânicos por outros alternativos considerados economicamente viáveis e ambientalmente corretos, como por exemplo, os derivados de fontes naturais como plantas, algas e fungos (HAMEED *et al.*, 2016)

Entre os coagulantes orgânicos a semente de *Moringa oleifera*, uma espécie arbórea de origem indiana e com fácil propagação nos países dos trópicos, tem apresentado resultados satisfatórios no tratamento de águas residuárias e superficiais devido à presença de proteínas que atuam como polieletrólitos catiônicos podendo sedimentar partículas orgânicas e inorgânicas de uma solução por meio da desestabilização do sistema coloidal. (MATEUS *et al.*, 2017). Além disso, a aplicação da semente no meio líquido dificilmente altera o pH e a condutividade do meio o que reduz os custos de tratamento (NDABIGENGESERE *et al.*, 1995).

Apesar de a *Moringa oleifera* apresentar rendimentos eficazes de remoção de cor e turbidez, sua aplicação deve ser estudada para cada caso, visto que parâmetros como: concentrações ótimas (STRÖHER *et al.*, 2012), pH do efluente (PRITCHARD *et al.*, 2010) e granulometria da semente (CARMO, 2014), bem como o tipo de efluente podem resultar em diferentes eficiências de tratamento.

Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo analisar a utilização da semente de *Moringa oleifera* com diferente granulometria como coagulante para tratamento físico-químico nas etapas de coagulação, floculação e sedimentação no tratamento de efluentes têxteis provenientes da etapa de estamparia.

MATERIAIS E MÉTODOS

COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente utilizado neste estudo foi proveniente do processo de lavagem dos materiais utilizados na etapa de estamparia. O volume gerado na operação ficou retido em uma estrutura de concreto, simulando um tanque de equalização, até atingir 0,5 m³. Em seguida, o efluente foi homogeneizado manualmente e coletados 100 L que foram acondicionados em bombonas de polietileno.

A caracterização do efluente foi realizada medindo-se os parâmetros: pH, cor (uC), turbidez (NTU), alcalinidade (mg CaCO₃L⁻¹), DQO (mgL⁻¹), sólidos totais (mgL⁻¹), sólidos totais voláteis (mgL⁻¹), sólidos totais fixos (mgL⁻¹) e temperatura (°C) de acordo com procedimentos recomendados pelo *Standard Methods* (APHA; AWWA; WEF, 2005). Essa caracterização foi realizada concomitantemente com os ensaios de tratabilidade com o intuito de eliminar a interferência de um possível efeito da degradação biológica do efluente durante o seu armazenamento na interpretação dos resultados de eficiência de tratamento.

PREPARO DA SEMENTE

As sementes de *Moringa oleifera* foram adquiridas de uma distribuidora de sementes localizada em São Paulo e tiveram seu tegumento retirado antes da etapa de moagem que foi realizada com um moedor elétrico tipo mixer e, em seguida o material resultante foi peneirado e separado em 5 lotes com diferentes granulometria: I- granulometria ≤ 600 mm, II - $0,425 \text{ mm} \leq \text{granulometria} < 0,600$ mm; III - $0,300 \text{ mm} \leq \text{granulometria} < 0,425$ mm; IV - $0,150 \text{ mm} \leq \text{granulometria} < 0,300$ mm e V - $\geq 0,600$ mm;

ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DA CONDIÇÃO DE TRATAMENTO

Para definir a melhor condição de tratamento foram determinadas: a dosagem ótima de coagulante, o melhor pH de tratamento e a melhor granulometria das partículas de semente. Todos os ensaios foram realizados em equipamento *Jar test* da linha Poli Control modelo Floc Control II, contendo 6 jarros com capacidade de 2 L cada e a seguinte configuração: 270 rpm na mistura rápida por 2 minutos, 25 rpm na mistura lenta por 20 minutos e 40 minutos de sedimentação (definidos através de testes preliminares não apresentados).

Para a determinação da dosagem de semente foram estabelecidas as concentrações de 1150, 1200, 1250, 1300, 1350 e 1400 mgL⁻¹, o pH foi o do efluente bruto (próximo de 6,0) e faixa granulométrica $\leq 0,600$ mm. A avaliação do tratamento foi feita em função dos parâmetros de cor e turbidez obtidos.

Com o melhor resultado da dosagem ótima de sementes, foram realizados os ensaios para determinação do pH ideal de CFS que consistiu em ajustar o pH do efluente em 5, 6, 7, 8, 9 e 10 utilizando soluções de ácido

sulfúrico 0,02N ou de hidróxido de sódio 6N. Foram utilizados grânulos de semente com tamanho $\leq 0,600$ mm com a mesma concentração ótima obtida no ensaio de dosagem do coagulante.

Para a determinação da granulometria ótima foram realizados ensaios com os Lotes I a V de sementes mantando-se o pH e concentração de semente ótimos obtidos nos ensaios anteriores. Tanto para a determinação de pH quanto granulometria ótimos as avaliações foram realizadas por meio da análise dos parâmetros: cor, turbidez, alcalinidade, pH, DQO, temperatura e sólidos totais.

Os resultados obtidos para dosagem de coagulante, condição de pH e faixa granulométrica foram tabulados no programa Surfer, que realizou análises estatísticas para gerar gráficos policromáticos com as tendências de tratamento considerando a remoção de cor e turbidez.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO UTILIZADO NAS TRÊS ETAPAS ESTUDADAS

Os resultados das análises físico-químicas realizadas no efluente bruto previamente aos ensaios de coagulação/floculação demonstraram que o mesmo não teve alterações significativas durante o período de estocagem. Os resultados médios com seus respectivos coeficientes de variação foram pH 6,1 ($\pm 0,03$), cor 7313,3 ($\pm 0,06$) uC, turbidez 12033,3 ($\pm 0,03$) NTU, alcalinidade 320 ($\pm 0,09$) mg CaCO_3/L , DQO 13331,6 ($\pm 0,02$) mgL^{-1} , sólidos totais 3473,0 ($\pm 0,05$) mgL^{-1} , sólidos totais voláteis 2877,6 ($\pm 0,05$) mgL^{-1} , sólidos totais fixos 595,4 ($\pm 0,03$) mgL^{-1} e temperatura 23,4 ($\pm 0,03$) $^{\circ}\text{C}$.

DETERMINAÇÃO DA DOSAGEM ÓTIMA DE COAGULANTE

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de determinação da dosagem de coagulante e na Figura 1 o gráfico estatístico relacionando a variação da dosagem com a eficiência de remoção de cor e turbidez, respectivamente.

Tabela 1: Determinação da dosagem de coagulante.

Parâmetros	Concentrações (mgL^{-1})					
	1150	1200	1250	1300	1350	1400
Remoção de Cor (%)	80,1	78,4	82,6	83,8	86,9	85,6
Remoção de Turbidez (%)	93,7	95,7	97,4	94,1	97,7	97,5
pH	6,4	6,3	6,3	6,3	6,2	6,3

Ao analisar os resultados apresentados na Tabela 1, pode-se verificar que os ensaios realizados com dosagens de coagulante de 1350 mgL^{-1} e 1400 mgL^{-1} foram os que apresentaram os melhores resultados de remoção de cor e turbidez, podendo ser considerados estatisticamente iguais conforme apresentado na Figura 1.

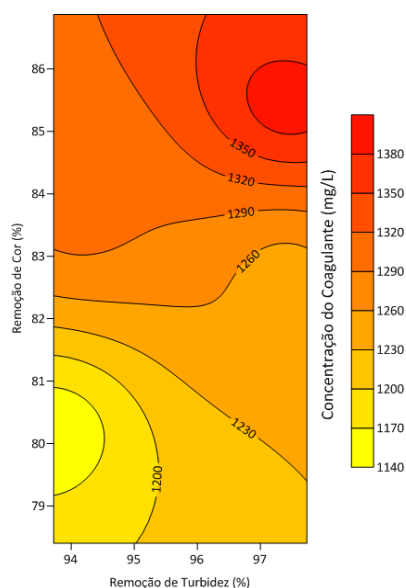


Figura 1: Resultados de tratamento para determinação da dosagem ótima de coagulante.

Desta forma, definiu-se a concentração de 1350 mgL^{-1} como mais adequada considerando os princípios ambientais pela menor utilização de reagentes. Resultado semelhante foi obtido por Ströher *et al.*, (2012) ao tratar um efluente proveniente de indústria têxtil com o pó da semente da *Moringa oleifera* e concentração variando de 1400 a 2600 mgL^{-1} . Seu melhor resultado foi para a concentração de 1400 mgL^{-1} , com remoção de cor e turbidez em 80% e 91%, respectivamente.

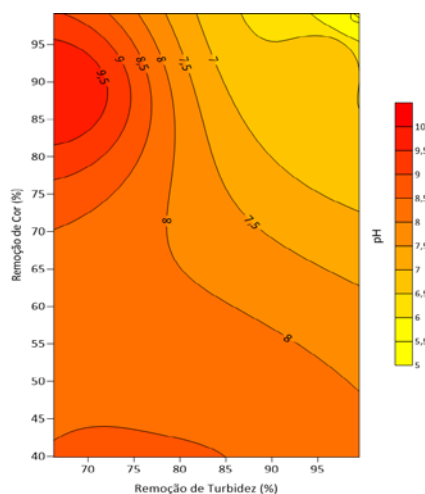
DETERMINAÇÃO DA MELHOR CONDIÇÃO DE pH PARA O TRATAMENTO

Os resultados para determinação do pH do tratamento são apresentados na Tabela 2 e Figura 2. Vale salientar que a caracterização do efluente bruto nessa etapa apresentou pH numericamente igual a 6 e, portanto, para o pH 6 não houve ajuste.

Tabela 2: Resultados de análises físico-químicas obtidos no ensaio para determinação do pH de CFS

Parâmetros	pH					
	5	6	7	8	9	10
Remoção de Cor (%)	99,0	99,1	93,7	46,0	39,9	88,8
Remoção de Turbidez (%)	99,5	99,5	96,2	78,6	77,1	66,3
pH	5,2	6,1	7,0	7,5	8,7	9,7
Alcalinidade ($\text{mg CaCO}_3\text{L}^{-1}$)	152	260	328	372	436	584
DQO (mgL^{-1})	2421,2	1821,6	2170,6	4692,6	5168,2	6843,6
Sólidos Totais (mgL^{-1})	802,6	703,7	881,0	1554,9	1824,1	2279,2
Sólidos Totais Voláteis (mgL^{-1})	555,5	550,5	631,6	1262,6	1488,5	1902,6
Sólidos Totais Fixos (mgL^{-1})	247,1	153,2	249,4	292,3	335,6	376,6
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	24,4	24,5	24,6	24,7	24,5	24,0

Figura 2: Resultados da remoção de cor e turbidez em função do pH de CFS



Ao analisar a Figura 2, nota-se que as maiores remoções de cor e turbidez, simultaneamente, tendem a ocorrer em uma faixa de pH inferior a 6,5, porém, levando em consideração todos os parâmetros analisados na Tabela 2 a melhor faixa de pH para o tratamento com *Moringa oleifera* foi com pH igual a 6, com remoção em 86% para DQO, 80% para os sólidos totais e acima de 99% para cor. Pritchard *et al.* (2010) encontraram o pH de 6,5 como o ótimo em variação de 4 a 9, porém sua maior redução de turbidez foi inferior a 80%. E Baptista *et al.* (2017) que determinaram o pH para a semente de *Moringa oleifera* na faixa neutra, de valor igual a 6,67.

Quanto a avaliação da possível interferência das sementes de *Moringa oleifera* no pH do efluente tratado, independente da concentração aplicada ou pH ajustado, não houve alteração significativa, assim como verificado por Ndabigengesere *et al.* (1995) no tratamento de água com essa semente em comparação ao comportamento de acidificação do meio se utilizado sulfato de alumínio.

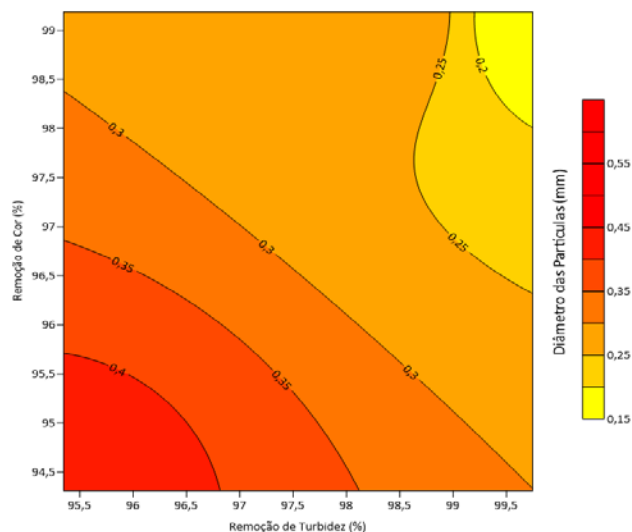
DETERMINAÇÃO DA MELHOR FAIXA GRANULOMÉTRICA PARA O TRATAMENTO

Para o estudo da influência da granulometria no tratamento do efluente, utilizou-se em todos os jarros a concentração de 1350 mgL^{-1} do coagulante e o pH de 6, que foram os que obtiveram os melhores resultados na CFS. Os resultados referentes a esse ensaio estão expostos na Tabela 3 e o gráfico de remoção para cor e turbidez na Figura 3.

Tabela 3: Resultados de análises físico-químicas obtidos no ensaio para determinação da granulometria da semente

Parâmetros	Granulometria (mm)				
	< 0,600	0,425 ≤ grão < 0,600	0,300 ≤ grão < 0,425	0,150 ≤ grão < 0,300	≥ 0,600
Remoção de Cor (%)	99,1	94,3	99,2	99,2	95,0
Remoção de Turbidez (%)	99,5	95,4	98,4	99,7	94,7
pH	6,1	6,2	6,2	6,1	6,2
Alcalinidade (mg CaCO_3/L)	260	344	320	300	340
DQO (mg/L)	1821,6	11550,0	2492,8	5086,2	14200,8
Sólidos Totais (mg/L)	703,7	3210,4	849,8	716,8	3518,5
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	550,5	2718,4	623,6	423,0	2968,4
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	153,2	492,0	226,2	293,8	550,1
Temperatura (°C)	24,5	24,1	24,0	24,2	24,0

Figura 3: Resultados da remoção de cor e turbidez em função do tamanho das partículas



Neste ensaio, constatou-se, com exceção da concentração de DQO, que quanto menores as frações do pó da semente, maior o ganho na eficiência de tratamento, o que poderia ser explicado se levado em consideração que o mecanismo de coagulação com a semente de moringa ocorre, segundo Ndabigengesere *et al.* (1995), por meio de adsorção e neutralização de cargas. Desta forma, com menores granulometrias maior a superfície de contato e distribuição das proteínas coagulantes no meio líquido, favorecendo o processo de interação das cargas. Já o melhor resultado de remoção de DQO foi constatado para o lote de partículas < 600 μm , ou seja, lote que englobou todos os tamanhos de material após a maceração.

Levando-se em consideração uma visão geral de remoção dos parâmetros analisados e o pH 6,0 que se encontra próximo dos valores de pH de águas naturais, nota-se que os resultados para as frações de diâmetros entre 0,150 e 0,300 mm estão bem similares aos resultados sem considerar o fracionamento dos grãos (0,150 mm \leq granulometria < 0,600 mm), desta forma, será considerado neste trabalho como preferível metodologia de tratamento, efluentes de estamparia em pH 6 e concentrações de 1350 mg/L do pó da semente de Moringa oleífera peneirado em diâmetro de até 0,600 mm sem fracionamento do mesmo.

CONCLUSÕES

Com o presente estudo, foi possível afirmar que a *Moringa oleífera* é eficiente no tratamento de efluentes de estamparia considerando as seguintes configurações: concentração de 1350 mgL⁻¹, pH 6 e toda fração passante na granulometria de 0,600mm. O tratamento apresentou remoções de 99,1%, 99,5%, 86,2% e 79,0% para cor, turbidez, DQO e sólidos totais, respectivamente.

O tamanho da semente interfere na eficiência de tratabilidade, sendo que ao se utilizar granulometrias passantes na peneira 0,600mm, obtêm-se resultados mais satisfatórios considerando cor, turbidez e DQO;

A *Moringa oleífera* não interfere no pH do efluente, sendo favorável ao tratamento, por não precisar realizar a correção do pH posteriormente;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Public Health Association – APHA; American Water Works Association – AWWA; Water Environment Federation - WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st Ed. Washington, DC, 2005.
2. BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleífera* lam and its application in superficial water treatment. *Separation and Purification. Technology*, v. 180, p. 114-124, 2017.

3. CARMO, S. N. D. Extração seletiva de Mn (II) utilizando sementes de Moringa oleifera como bioadsorvente. Uberlândia. 2014. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, 46 p.
4. CRUZ, J. G. H. Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
5. HAMEED, Y. T.; IDRIS, A.; HUSSAIN, S. A.; ABDULLAH, N. *A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: Chemical composition, performance assessment compared to Polyaluminum chloride, and application in a pilot plant. Journal of Environmental Management*, v.184, p.494-503, 2016
6. KUNZ, A.; ZAMORA, P. P.; MORAES, S. G.; DURAN, N. *Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. Revista Química Nova*, São Paulo, v. 25, p. 78-82, 2002.
7. LU, X.; LIN, L.; BO, Y.; JIHUA, C. *Reuse of printing and dyeing wastewater in processes assessed by pilot-scale test using combined biological process and sub filter technology. Journal Of Cleaner Production, Zhejinag Province*, v.17, n.2, p.111-114. 2009.
8. MATEUS, G. ; FORMENTINI-SCHMITT, D. ; NISHI, L. ; FAGUNDES-KLEN, M. ; GOMES, R. ; BERGAMASCO, R. *Coagulation/Flocculation with Moringa oleifera and Membrane Filtration for Dairy. Wastewater Treatment Water, Air, & Soil Pollution*, , v.228, n.9, p.1-13, 2017
9. MEZA, C. M. M. Produção mais limpa e otimização do tratamento de efluentes líquidos de estamparias em Brusque e Guabiruba. Florianópolis. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Santa Catarina, 137 p.
10. NDABIGENGESERE A.; NARASIAH K.S.; TALBOT B.G. *Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera. Wat. Res.*, v.29, p.703-710, 1995.
11. PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A.S.; O'NEILL, J.G. *A study of the parameters affecting the effectiveness of Moringa oleifera in drinking water purification. Physics and Chemistry of the Earth, Oxford*, v. 35, n. 13-14, p.791-797, 2010.
12. STRÖHER, A. P.; JUNIOR, O. M. C.; MENEZES, M. L.; BERGAMASCO, R.; PEREIRA, N. C. *Aplicação de moringa oleifera lam no tratamento de efluente proveniente da lavagem de jeans. E-Xacta*, v. 5, p. 61–66, 2012.