



## **AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA BRUTA POR MEIO DE DIAGRAMAS DE COAGULAÇÃO, EMPREGANDO A ASSOCIAÇÃO *Moringa oleifera* Lam E CLORETO FÉRRICO**

**Karina Cardoso Valverde<sup>1</sup>**

**Onélia Aparecida Andreo dos Santos<sup>2</sup>**

**Rosângela Bergamasco<sup>3</sup>**

**RESUMO:** Este trabalho propõe avaliar o processo de coagulação/floculação e sedimentação, por meio de diagramas de coagulação, utilizando a associação dos coagulantes natural: *Moringa oleifera* Lam (MO) em pó e químico: cloreto férrico. Os ensaios foram realizados em *Jar Test*, com água bruta proveniente da bacia do Rio Pirapó, Maringá, PR, variando-se o pH de coagulação no intervalo de 4 a 10; e as dosagens de coagulantes natural e químico, a fim de verificar a eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade cor aparente, turbidez e compostos com absorção em UV<sub>254nm</sub>. Após os ensaios, amostras de água tratada foram coletadas para avaliar a eficiência do processo. Constatou-se que os diagramas de coagulação são ferramentas importantes,

---

<sup>1</sup> Engenheira Química, Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR, Bolsista CAPES. ka.cc@bol.com.br

<sup>2</sup> Docente do Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR, Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. onelia@deq.uem.br

<sup>3</sup> Docente do Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR, Bolsista de Produtividade em Pesquisa CNPq. rosangela@deq.uem.br



pois possibilitam o desenvolvimento de ensaios nas condições ótimas, em função das características da água bruta. Foram obtidas redução de até 50% na dosagem do cloreto férrico, sem comprometer a qualidade da água produzida. Assim, a utilização de MO pode desempenhar um papel-chave na diminuição da quantidade requerida de coagulante químico utilizada no tratamento de água, além de ser mais compatível com as questões ambientais atuais. Além disso, a associação dos coagulantes apresentam um efeito sinérgico superior à utilização do pó de sementes de MO como único coagulante.

**Palavras-chave:** Diagramas de coagulação. *Moringa oleifera* Lam. Cloreto férrico.

## 1 INTRODUÇÃO

Mesmo que uma água bruta visualmente não apresente indicações de contaminação, não se pode assegurar sua qualidade física, química e microbiológica, sendo necessário um tratamento adequado para a obtenção de água potável. Dentre os tratamentos de água, a adição de coagulantes tem sido utilizada com sucesso.

Em relação aos coagulantes químicos, o cloreto férrico é representado pela fórmula molecular  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e produz bons flocos no intervalo de pH entre 5 e 11 (SPINELLI, 2001).

A *Moringa oleifera* Lamarck (Lam) destaca-se como um coagulante natural. Essa planta apresenta a vantagem de adaptar-se em locais com pluviometria baixa e climas quentes e não ter exigências quanto ao tipo de solo (GIDDE *et al.*, 2012).

As sementes de *Moringa oleifera* Lam (MO) apresentam o melhor potencial de coagulação/floculação (NWAIWU *et al.*, 2012) do que as demais partes da planta, tais como folhas e vagens. Poumaye *et al.* (2012) avaliaram que esse biopolímero pode ser usado na clarificação da água com eficiência elevada.

Apesar de haver muitos estudos no sentido de isolar e caracterizar o princípio ativo coagulante encontrado nas sementes da MO, supõe-se que essas são utilizadas na clarificação de água devido à presença de uma proteína coagulante catiônica solúvel

capaz de reduzir a turbidez da água tratada (PRITCHARD *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2011; GIDDE *et al.*, 2012).

Até o momento, nenhuma evidência foi encontrada de que as sementes possam causar efeitos secundários nos seres humanos, especialmente com as baixas doses necessárias para o tratamento da água (LEA, 2010; SANTOS *et al.*, 2011).

Dessa forma, pode-se afirmar que o tratamento da água com a MO não apresenta risco à saúde (VALVERDE *et al.*, 2013), já que além de atuar como agente clarificante de águas turvas e coloridas, também possuem inúmeros usos na alimentação humana (CARDOSO *et al.*, 2008). Segundo Lea (2010) e Nwaiwu *et al.* (2012), a MO não é tóxica.

De acordo com Vijayaraghavan, Sivakumar e Vimal Kumar (2011), há escassez de estudos abrangentes que comparem a eficiência da utilização da associação dos coagulantes natural e químico.

Abaliwano *et al.* (2008) afirmam que, o uso de MO poderia conduzir a uma redução de 50% na utilização de produtos químicos inorgânicos. Desta forma, uma pequena dosagem desse coagulante natural, que é um produto renovável e biodegradável, pode reduzir o consumo de coagulantes químicos, tais como o cloreto férrico.

Uma forma bastante interessante a fim de definir a dosagem ótima de coagulante e o pH adequado para o processo de coagulação/floculação e sedimentação fundamenta-se na realização de ensaios realizados em *Jar Test*, que ocasionem a construção de diagramas de coagulação.

A utilização de ferramentas matemáticas capazes de definir as melhores condições a partir de um conjunto de variáveis é de extrema importância para obtenção das condições otimizadas do processo (VALVERDE *et al.*, 2013).

Assim, este estudo propõe avaliar o processo de coagulação/floculação e sedimentação, por meio de diagramas de coagulação, utilizando a associação dos coagulantes MO e cloreto férrico.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS



Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Estadual de Maringá, utilizando a água bruta proveniente da bacia do rio Pirapó, Maringá, PR, Brasil, coletada na Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade (Sanepar).

Para a preparação da solução padrão do coagulante cloreto férrico, foi considerada uma concentração de 1% m/v. Para a obtenção do coagulante em pó de MO, 5 g de sementes foram descascadas, trituradas em liquidificador (NL-41 Mondial) e secas em estufa com circulação e renovação de ar (Digital Timer SX CR/42) a 40°C até peso constante (AMAGLOH e BENANG, 2009).

Os ensaios de clarificação da água foram realizados em *Jar Test* Nova Ética Modelo 218/LDB06 de seis provas em recipientes com 400 mL de água bruta, mantidas na temperatura de  $25,0 \pm 3,0^{\circ}\text{C}$ .

As condições de operação ótimas foram determinadas experimentalmente em *Jar Test*, especificamente para a associação dos coagulantes MO e cloreto férrico, e são: 100 rpm durante 3 min para propiciar a mistura rápida, 30 rpm durante 15 min para propiciar a mistura lenta e 15 min de sedimentação.

Após o processo, a amostra de água tratada foi retirada de cada um dos recipientes, contando com o auxílio de uma pipeta graduada de 20 mL.

Os diagramas de coagulação foram obtidos por meio da realização de ensaios de coagulação/floculação e sedimentação, avaliando-se a eficiência de remoção de cor aparente, turbidez e compostos com absorção em  $\text{UV}_{254\text{nm}}$  em função da variação do pH de coagulação e da dosagem dos coagulantes na associação. Estes foram construídos no programa 3DField 3.5.3.0.

O pH utilizado nos ensaios foi ajustado na faixa compreendida entre 4 e 10, com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N e 1N; e ácido clorídrico (HCl) 0,1N e 1N.

As dosagens máximas, consideradas ótimas, adicionadas nos ensaios foram adaptadas, baseado em dados de turbidez inicial (BAGHVAND *et al.*, 2010; JOSHUA e VASU, 2013). As dosagens dos coagulantes utilizadas estão apresentadas na Tabela 1.



Tabela 1. Dosagem dos coagulantes na associação

Ponto		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
% Coagulante (Cloreto / MO)		0 / 100%	10 / 90%	20 / 80%	30 / 70%	40 / 60%	50 / 50%	60 / 40%	70 / 30%	80 / 20%	90 / 10%	100 / 0%
Dosagem (mg.L <sup>-1</sup> )	Cloreto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	MO	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

A caracterização da água bruta foi realizada por meio dos parâmetros: cor aparente e compostos com absorção em UV<sub>254nm</sub> (espectrofotômetro DR 5000 Hach), turbidez (turbidímetro 2100P Hach), sólidos dissolvidos totais (SDT) (APHA, 1995) e pH (pHmetro Thermo-Scientific VSTAR92 Orion Versastar).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização da água bruta utilizada nos ensaios de coagulação/floculação e sedimentação.

Tabela 2. Caracterização da água bruta

Parâmetro de qualidade	Cor aparente	Turbidez	UV <sub>254nm</sub>	SDT	pH
Água bruta	426 uH	74,9 NTU	0,294 cm <sup>-1</sup>	159,7 mg.L <sup>-1</sup>	7,940

Nas Figuras 1 (A), (B) e (C) constam os diagramas de coagulação avaliando a eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade cor aparente, turbidez e compostos com absorção em UV<sub>254nm</sub>.

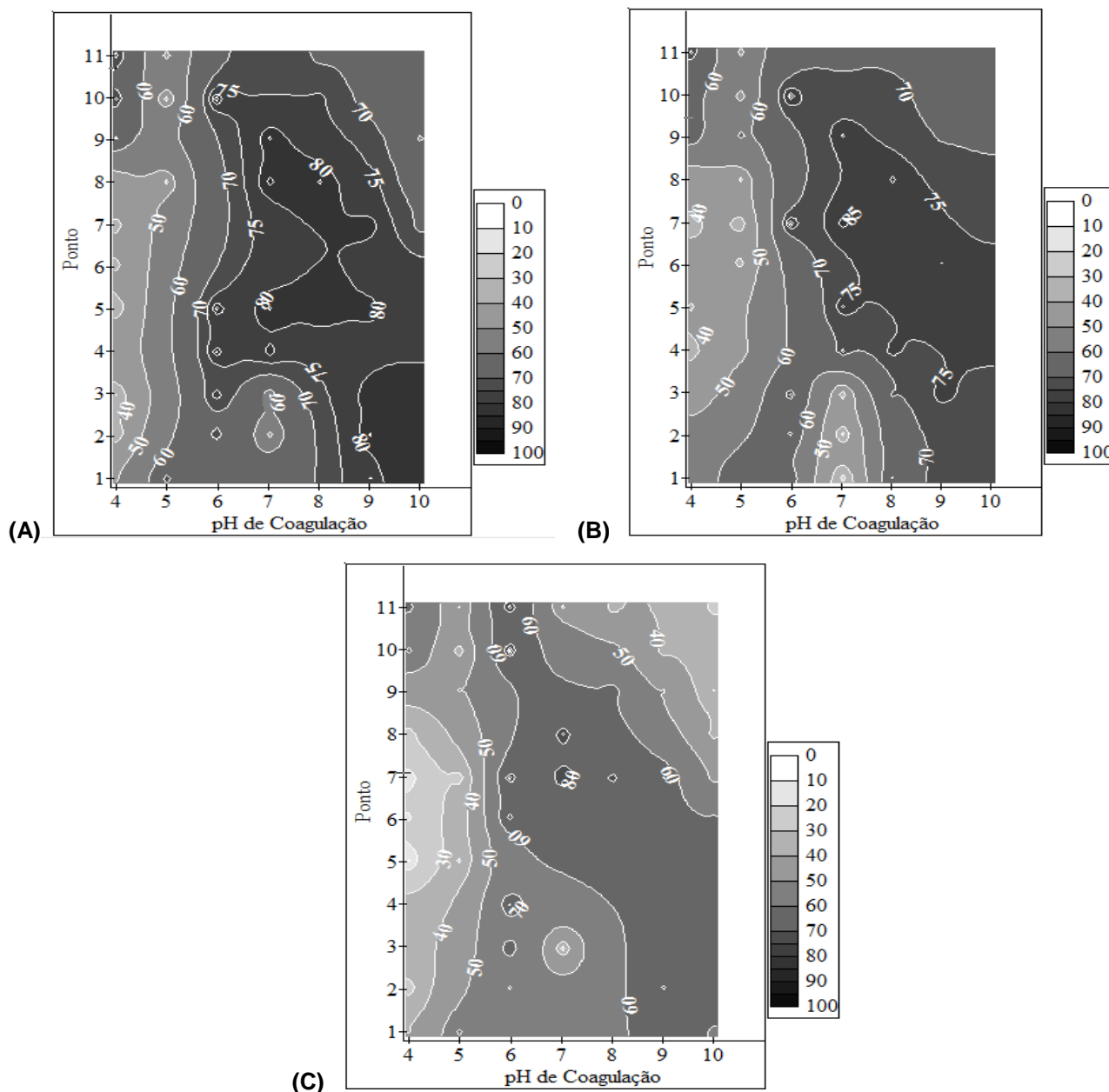


Figura 1. Diagramas de coagulação para a associação dos coagulantes MO e cloreto férrico contendo curvas de remoção de: (A) cor aparente; (B) turbidez; (C) compostos com absorção em UV<sub>254nm</sub>

De um modo geral, baseado nos três diagramas de coagulação, percebeu-se que a faixa de pH compreendida entre 4 e 5 apresenta remoções inferiores aos demais pHs de coagulação. O intervalo de pH entre 6 e 10 apresentou remoções mais eficientes, o que já



era esperado, já que Spinelli (2001) afirma que, o cloreto férrico tende a produzir bons flocos no intervalo de pH entre 5 e 11.

A avaliação dos três parâmetros de qualidade nos pH de coagulação 6 e 7, por meio de análise estatística (delineamento inteiramente casualizado), demonstram que não há diferença significativa nas eficiências de remoção obtidas quando se utiliza a dosagem de 4 mg/L<sup>-1</sup> cloreto férrico/30 mg.L<sup>-1</sup> MO (ponto 5) até 9 mg/L<sup>-1</sup> cloreto férrico/5 mg.L<sup>-1</sup> MO (ponto 10).

Desse modo, é possível obter uma redução de até 50% no consumo do cloreto férrico com o aumento da dosagem de MO, sem afetar a eficiência do processo, o que corrobora a afirmação de Abaliwano *et al.* (2008) que destacam que, o uso de MO poderia conduzir a uma redução de 50% na utilização de agentes químicos inorgânicos.

Para o pH de coagulação 8, pode-se afirmar que a dosagem de 3 mg/L<sup>-1</sup> cloreto férrico/35 mg.L<sup>-1</sup> MO (ponto 4) até 7 mg/L<sup>-1</sup> cloreto férrico/15 mg.L<sup>-1</sup> MO (ponto 8) são consideradas estatisticamente iguais, o que resulta na diminuição de até 40% na utilização do coagulante químico.

Todavia, quando se avalia o residual, observa-se médias em torno de 60 uH para cor aparente, 16,00 NTU para turbidez e 0,080 cm<sup>-1</sup> para compostos com absorção em UV<sub>254nm</sub>, sendo esses considerados altos, em comparação aos apresentados Portaria nº. 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Então a associação dos coagulantes utilizada no processo de coagulação/ floculação e sedimentação não produz água potável. Sendo assim, é importante acrescentar a etapa de filtração para melhorar a qualidade da água tratada.

No intervalo de pH entre 9 e 10, não houve variações expressivas nas eficiências de remoção dos parâmetros de qualidade até o ponto 7, que utiliza 6 mg/L<sup>-1</sup> cloreto férrico/20 mg.L<sup>-1</sup> MO.

## 4 CONCLUSÕES



O diagrama de coagulação é uma ferramenta bastante interessante a fim de determinar as condições ótimas de trabalho, em função das características da água de estudo.

Pode-se concluir que a associação dos coagulantes MO e cloreto férrico apresentam um efeito sinérgico superior à utilização do pó integral de sementes de MO como único coagulante. A utilização da MO contribui significativamente para a redução da quantidade de coagulantes químicos aplicado ao processo e é mais compatível com as questões ambientais atuais.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo suporte financeiro; a Universidade Federal de Sergipe (UFS), pela doação das sementes de MO; e a SANEPAR, pelas amostras de água bruta fornecidas.

## REFERÊNCIAS

ABALIWANO, J. K.; GHEBREMICHAEL, K. A.; AMY, G. L. Application of the purified *Moringa oleifera* coagulant for surface water treatment. **WaterMill Working Paper Series**, n. 5, p. 1-19, 2008.

AMAGLOH, F. K.; BENANG, A. Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 1, p. 119-123, feb. 2009.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination for water and wastewater**. 19<sup>th</sup> ed. Washington, 1995.

BAGHVAND, A.; ZAND, A. D.; MEHRDADI, N.; KARBASSI, A. Optimizing coagulation process for low to high turbidity waters using aluminum and iron salts. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 6, n. 5, p. 442-448, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n°. 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial**, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39.



CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 3, n. 2, p. 193-198, 2008. doi:10.4025/actascitechnol.v30i2.5493.

GIDDE, M. R.; BHALERAO, A. R.; MALUSARE, C. N. Comparative study of different forms of *Moringa oleifera* extracts for turbidity removal. **International Journal of Engineering Research and Development**, v. 2, n.1, p. 14-21, jul. 2012.

JOSHUA, R.; VASU, V. Characteristics of stored rain water and its treatment technology using *Moringa* seeds. **International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research**, India, v. 2, n. 1, p. 154-175, jan. 2013.

LEA, M. Bioremediation of turbid surface water using seed extract from *Moringa oleifera* Lam. (drumstick) tree. Current Protocols in Microbiology, **Wiley Interscience**, p. 1-14, feb. 2010. doi:10.1002/9780471729259.mc01g02s16.

NWAIWU, N. E; ZALKIFUL, M. A.; RAUFU I. A. Seeking an alternative antibacterial and coagulation agent for household water treatment. **Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation**, Indonésia, v. 1, n. 1, p. 1-9, jan. 2012.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water – An alternative sustainable solution for developing countries. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 35, n. 13-14, p. 798-805, jul. 2010. doi:10.1016/j.pce.2010.07.014.

POUMAYE, N.; MABINGUI, J.; LUTGEN, P.; BIGAN, M. Contribution to the clarification of surface water from the *Moringa oleifera*: Case M'Poko river to Bangui, Central African Republic. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 2346-2352, dec. 2012. doi: 10.1016/j.cherd.2012.05.017.

SANTOS, W. R. dos; MATOS, D. B. de; OLIVEIRA, B. M.; SANTANA, T. M.; SANTANA, M. M. de; SILVA, G. F. da. Estudo do tratamento e clarificação de água com torta de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 293-297, 2011.

SPINELLI, Viviane Aparecida. **Quitosana: Polieletrólito Natural para o Tratamento de Água Potável**. 2001. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2001.

VALVERDE, K. C.; MORAES, L. C. K.; BONGIOVANI, M. C.; CAMACHO, F. P. BERGAMASCO, R. Coagulation diagram using the *Moringa oleifera* Lam and the



*Periódico Eletrônico*

# Fórum Ambiental

*da Alta Paulista*

ISSN 1980-0827  
Volume 9, Número 11, 2013

Saúde, Saneamento e  
Meio Ambiente



aluminium sulphate, aiming the removal of color and turbidity of water. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 5, n. 3, p. 485-489, jul./sep. 2013.  
doi:10.4025/actascitechnol.v35i3.12268.

VIJAYARAGHAVAN, G; SIVAKUMAR, T; VIMAL KUMAR, A. Application of plant based coagulants for waste water treatment. **International Journal of Advanced Engineering Research and Studies**, v. 1, n. 1, p. 88-92, oct./dec. 2011.