



AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PROCESSO NO TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL POR MEIO DE DIAGRAMAS DE COAGULAÇÃO, UTILIZANDO A ASSOCIAÇÃO *Moringa oleifera* Lam e PAC

Karina Cardoso Valverde¹; Priscila Ferri Coldebella²; Letícia Nishi³; Milene Carvalho Bongiovani⁴; Livia de Oliveira Ruiz Moreti⁵; Rosângela Bergamasco⁶

RESUMO: Este trabalho propõe avaliar o processo de coagulação/floculação e sedimentação, por meio de diagramas de coagulação, utilizando a associação dos coagulantes *Moringa oleifera* Lam (MO) e PAC. Os ensaios foram realizados em *Jar Test*, com água bruta proveniente da bacia do Rio Pirapó, Maringá, PR, variando-se o pH de coagulação e as dosagens de coagulantes, a fim de verificar a eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade cor aparente e turbidez. 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, pois possibilitam o desenvolvimento de ensaios nas condições ótimas, em função das características da água bruta. Foram obtidas redução de até 40% na dosagem do PAC, sem comprometer a qualidade da água produzida. Assim, a utilização de MO pode desempenhar um papel-chave na diminuição da quantidade de coagulante químico utilizada no tratamento de água, além de ser mais compatível com as questões ambientais atuais.

PALAVRAS-CHAVE: água superficial; associação de coagulantes; diagramas de coagulação; *Moringa oleifera* Lam; PAC.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, vários coagulantes naturais, entre eles a *Moringa oleifera* Lam (MO), têm sido amplamente estudados como uma opção ao tratamento de água convencional, sendo considerados de grande valia em termos ecológicos e ambientais.

Amagloh e Benang (2009) afirmam que, quando o pó das sementes de MO é adicionado à água turva, as proteínas liberam cargas positivas atraindo as partículas carregadas negativamente presentes na água.

Em relação à associação de coagulantes, Abaliwano, Ghebremichael e Amy (2008) destacam que, o uso de MO pode conduzir a uma redução de 50% na utilização de produtos químicos. Assim, o uso deste biopolímero pode ser uma alternativa

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

² Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista CAPES. priscila.ferri@bol.com.br

³ Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Pós-doutorado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista Fundação Araucária/CAPES. leticianishi@hotmail.com

⁴ Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista CAPES. milene.bongiovani@gmail.com

⁵ Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Mestrado), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista CNPq. li.moreti@hotmail.com

⁶ Docente do Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Bolsista de Produtividade em Pesquisa CNPq. rosangela@deq.uem.br

ecologicamente mais compatível com a busca por qualidade de vida almejada pela sociedade.

Para Kim, Moon e Lee (2001), uma ferramenta capaz de predizer qual pH mais efetivo para que a coagulação ocorra e a dosagem de coagulante necessária, é bastante útil. Assim, o diagrama de coagulação é um instrumento bastante interessante para definir regiões ótimas de remoção dos parâmetros, uma vez que há possibilidade de conseguir economia no consumo de produtos químicos no tratamento de água.

Desta forma, este estudo propõe avaliar o processo de coagulação/floculação e sedimentação, por meio do uso de diagramas de coagulação, utilizando a associação dos coagulantes MO e policloreto de alumínio (PAC).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental, do Departamento de Engenharia Química (DEQ), da Universidade Estadual de Maringá (UEM), utilizando a água de estudo coletada na Sanepar, localizada na cidade de Maringá, Paraná, proveniente da bacia do Rio Pirapó.

Para a preparação da solução padrão do coagulante PAC, foi considerada uma concentração de 1% v/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.

Os ensaios de coagulação/floculação e sedimentação foram realizados em *Jar Test* Nova Ética Modelo 218/LDB06 de seis provas em recipientes com 400 mL de água bruta. As condições de operação ótimas foram determinadas experimentalmente em *Jar Test*, especificamente para a associação dos coagulantes MO e PAC, e são: 100 rpm (VMR), 1 min (TMR), 45 rpm (VML), 15 min (TML) e 15 min (TS).

A temperatura da água foi mantida na faixa de $25,0 \pm 3,0^\circ\text{C}$ (Valverde et al., 2013).

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 e turbidez 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) 0,1 N e 1 N.

As dosagens máximas, consideradas ótimas, adicionadas nos ensaios foram adaptadas, baseado em dados de turbidez inicial (Makki et al., 2010; Joshua; 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 (PAC / 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 ⁻¹) | PAC | 0,00 | 1,25 | 2,50 | 3,75 | 5,00 | 6,25 | 7,50 | 8,75 | 10,00 | 11,25 | 12,50 |
| | 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_{254nm} (espectrofotômetro DR 5000 Hach), turbidez (turbidímetro 2100P Hach), sólidos dissolvidos totais (SDT) (APHA, 2005) e pH (pHmetro Thermo-Scientific VSTAR92 Orion Versastar).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a caracterização da água bruta.

Tabela 2: Caracterização da água bruta

| Parâmetro de qualidade | Cor aparente | Turbidez | UV _{254nm} | SDT | pH |
|------------------------|--------------|----------|------------------------|---------------------------|-------|
| Água bruta | 426 uH | 74,9 NTU | 0,294 cm ⁻¹ | 159,67 mg.L ⁻¹ | 7,940 |

Nas Figuras 1 (A) e (B) constam os diagramas de coagulação avaliando a eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade cor aparente e turbidez.

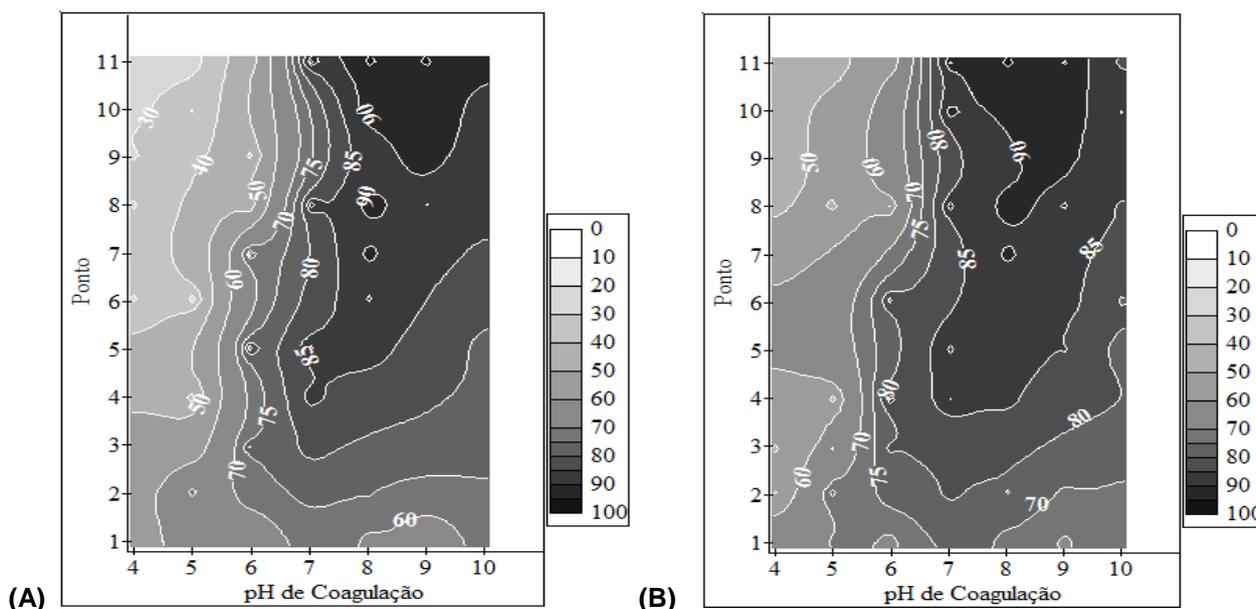


Figura 1: Diagramas de coagulação para a associação dos coagulantes MO e PAC contendo curvas de remoção de: (A) cor aparente; (B) turbidez

De acordo com os diagramas apresentados, verificou-se um comportamento similar nas curvas de remoção de cor aparente e turbidez, o que era esperado, já que estes parâmetros estão relacionados com a concentração de sólidos presentes na água bruta.

A MO (ponto 1) apresenta melhores eficiências de remoção do que o PAC (ponto 11) na faixa de pH compreendida entre 4 e 6. Já no intervalo de pH entre 7 e 10, o PAC apresenta melhores resultados. Isso pode ser explicado pelo fato de que este coagulante químico é geralmente eficaz em uma faixa de pH entre 6 e 9, podendo atuar também em pH 10 (Constantino; Yamamura, 2009).

Avaliando-se os resultados obtidos por meio dos diagramas de coagulação para a associação dos coagulantes (a partir do ponto 2), verifica-se que as menores eficiências de remoções foram conseguidas para a faixa de pH entre 4 e 6. De uma forma geral, para pH de coagulação entre 7 e 9, remoções superiores a 80% foram verificadas a partir do ponto 4 (3,75 mg.L⁻¹ PAC / 35 mg.L⁻¹ MO). Assim, pode-se afirmar que o PAC atua melhor em pH básico.

Em relação ao pH 7, eficiências de remoção superiores a 80% foram obtidas para cor aparente e turbidez a partir do ponto 3 (2,50 mg.L⁻¹ PAC / 40 mg.L⁻¹ MO). Por meio de análise estatística (teste Tukey), a adição de 7,50 mg.L⁻¹ PAC / 20 mg.L⁻¹ MO (ponto 7) teriam a mesma eficiência do que a utilização de 12,50 mg.L⁻¹ PAC (ponto 11). Neste

caso, o uso de MO poderia conduzir a uma redução de 40% na utilização de PAC, sem comprometer a qualidade da água produzida.

Eficiências de remoção superiores a 85% são obtidas em pH 8 a partir do ponto 5 (5,00 mg.L⁻¹ PAC / 30 mg.L⁻¹ MO). Não há diferença estatisticamente significativa entre a adição de 8,75 mg.L⁻¹ PAC / 15 mg.L⁻¹ MO (ponto 8) ao processo ou 12,50 mg.L⁻¹ PAC (ponto 11), ocasionando então uma redução de 30% no emprego do coagulante químico, quando se utiliza a associação dos coagulantes.

Em pH 9 e 10, de um modo geral, conforme a dosagem da solução padrão de PAC aumentava, melhores foram os resultados obtidos. Entretanto, a utilização de MO pode desempenhar um papel-chave na redução da quantidade de coagulante químico.

4. CONCLUSÃO

A partir deste estudo, pode-se observar que a construção dos diagramas de coagulação como uma ferramenta para a determinação das condições de trabalho nos processos de coagulação/floculação e sedimentação é de grande valia, pois possibilita o desenvolvimento de ensaios nas regiões ótimas, em função das características da água bruta.

A utilização de um coagulante natural eficaz, renovável e biodegradável, como a *Moringa oleifera* Lam, contribui significativamente para a diminuição da quantidade de PAC aplicado ao tratamento de água e é mais compatível com as questões ambientais atuais.

Contudo, o processo de coagulação/floculação e sedimentação não produz água potável. Assim, é interessante acrescentar a etapa de filtração e desinfecção para melhorar a qualidade da água tratada.

5. 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**. 19th ed. Washington, 1995.

CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. C. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. In: SIMPGEU – Simpósio de Pós-graduação em Engenharia Urbana, ago. 2009, Maringá.

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.

KIM, S. H.; MOON, B. H.; LEE, H. I. Effects of pH and dosage on pollutant removal and flocstructure during coagulation. **Microchemical Journal**, v. 68, n. 2, p. 197-203, mar. 2001. doi:10.1016/S0026-265X(00)00146-6.

MAKKI, H. F.; AL-ALAWY, A. F.; ADBUL-RAZAQ, N. N.; MOHAMMED, M. A. Using aluminum refuse as a coagulant in the coagulation and flocculation processes. **Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering**, v. 11, n. 3, p. 15-22, sep. 2010.

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