



X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento
Unidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Unidade Severino Sombra
Vassouras – RJ – Brasil

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE MICROFILTRAÇÃO QUANTO À REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL (MON) COM A FINALIDADE DE MINIMIZAR A FORMAÇÃO DOS TRIHALOMETANOS (*)

ABE*¹, S.A.L.; FURLAN², C.H.; BONGIOVANI³,
M.C.; NISHI⁴ L.; BERGAMASCO⁵, R.

¹Bolsista de Iniciação Científica do DEQ/UEM ²Bolsista de Iniciação Científica do DEQ/UEM

³Doutoranda do DEQ/UEM ⁴Pós-Doutoranda do DEQ/UEM ⁵Docente do DEQ/UEM

Departamento de Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá

Endereço – UEM, Avenida Colombo, 5790, bloco D-90 – Maringá, CEP. 87.020-900, PR,

email: rosangela@deq.uem.br

RESUMO - O cloro, utilizado na etapa de desinfecção da água, tem sido responsável por formar subprodutos, trihalometanos (THM), na presença de substâncias orgânicas na água. Por esta razão várias pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de encontrar alternativas de tratamento que causem menos prejuízos à saúde e minimizem formação destes compostos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do processo combinado coagulação/floculação + microfiltração (MF) + cloração utilizando o coagulante natural *Moringa oleifera* Lam em substituição ao tratamento convencional quanto à remoção de MON e minimização da formação dos trihalometanos. Para os ensaios, foi utilizada água bruta da Bacia do Rio Pirapó, com turbidez baixa (50 NTU). Na etapa de coagulação/floculação foi determinada a dosagem ótima de MO+NaCl. A etapa de desinfecção foi realizada com hipoclorito de sódio (1,5 mg/L) em tempos de contato de 30min a 8h. Os parâmetros analisados foram cor, turbidez, THMT, UV_{254nm} e cloro livre. Dentre os resultados obtidos, pode-se constatar que o processo de separação por membranas (MF) minimizou a formação de trihalometanos. Assim, pode-se dizer que o tratamento coagulação/floculação com MO + MF + cloração reduz a quantidade de MON na água, minimizando a formação de THM durante a cloração.

Palavras chave: *Moringa oleifera* Lam, coagulação/floculação/MF, PAC.

INTRODUÇÃO

A destruição ou inativação de grande maioria dos organismos patogênicos, capazes de causar doenças, ou de outros organismos indesejáveis é obtida através da desinfecção durante o tratamento de água. O agente químico mais comum utilizado no processo de

desinfecção de águas de abastecimento e residuárias é o cloro. Apesar dos benefícios oriundos na desinfecção, a utilização de cloro e outros compostos têm merecido atenção da comunidade científica, devido às suas reações com a matéria orgânica natural (MON) proveniente dos mananciais superficiais, as quais podem formar subprodutos de

(*) CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

desinfecção indesejáveis à saúde humana como os trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) e haloacetonitrilas (HAN), entre outros (Hong, 2007; Nikolaou *et al.*, 2002 e Zhao *et al.*, 2004).

Segundo Who (2005), clorofórmio ou triclorometano (CHCl_3), bromodiclorometano (CHCl_2Br), dibromoclorometano (CHClBr_2) e bromofórmio ou tribromoetano (CHBr_3) são os compostos do grupo de THM mais frequentes em águas de abastecimento.

Devido à alta toxicidade desses compostos e por possuírem alto potencial carcinogênico e mutagênico, os Estados Unidos da América (EUA) em 1984 estabeleceram o valor máximo permitido dos trihalometanos totais (THMT) em água de abastecimento público em $100 \mu\text{g.L}^{-1}$, porém, atualmente esse valor foi reduzido para $80 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Usepa, 1999; Gopal *et al.*, 2007 e Lee *et al.*, 2004).

Portanto são necessários estudos de tratamentos alternativos de água capazes de retirar/diminuir a quantidade de trihalometanos formados.

Há duas vertentes para reduzir a concentração de trihalometanos na água de consumo humano, uma delas procura evitar a formação dos THM através da remoção da MON (coagulação otimizada, floculação e a filtração por membranas) antes da desinfecção, e a outra consiste na remoção desses após a sua formação, sendo a adsorção o método mais empregado, porém a filtração por membranas também está sendo muito utilizada.

A melhor alternativa considerando a facilidade de trabalhar com o mesmo desinfetante e os custos altos em remover os THM depois de formados é a remoção da MON antes da aplicação do cloro. Considerado nesta análise que o tratamento de água dispõe das etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração que removem MON e, que o ponto de aplicação de cloro pode ser mudado para a etapa do processo onde a quantidade de MON foi reduzida.

Os coagulantes mais empregados nas estações de tratamento de água são os inorgânicos, que são sais trivalentes de ferro e alumínio. Os sais de alumínio incluem o sulfato de alumínio, aluminato de sódio, e

vários produtos preparados comercialmente, tais como cloridrato de alumínio e policloreto de alumínio (PAC). Apesar do desempenho e custo-eficácia comprovados destes coagulantes, há ainda certo grau de teor de alumínio residual após tratamento. Recentemente tem sido discutido, em função de haver evidências de que o Mal de Alzheimer pode estar associado ao alumínio presente na água destinada ao consumo humano. Além disto, o alumínio não é biodegradável, podendo ocasionar problemas de disposição e tratamento do lodo gerado (Rondeau *et al.*, 2000, Budd *et al.*, 2004).

Sendo assim, em vários países inúmeras plantas estão sendo utilizadas como coagulantes/floculantes naturais, onde alguns biopolímeros vêm sendo investigados mais intensamente que outros, como é o caso da *Moringa oleifera* Lam (Silva *et al.*, 2003).

A descoberta do uso das sementes de *Moringa oleifera* Lam para a purificação de água, a um custo menor que do tratamento químico convencional, constitui uma alternativa de mais alta importância. Uma pequena dosagem de biopolímeros pode reduzir bastante o consumo de coagulantes químicos, apresentando como vantagem a menor geração de lodo, além de este ser biodegradável, não altera o pH da água, apresenta boa remoção de cor e turbidez, e também ocorre uma grande remoção de bactérias, normalmente acima de 90% (Nkurunziza *et al.*, 2009; Ghebremichael, 2004; Muyibi & Evison, 1995; Ndabigengesere *et al.*, 1995).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo foram utilizadas amostras de água superficial bruta proveniente do rio Pirapó, de baixa turbidez, captada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) de Maringá-PR.

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados em aparelho de “jar test”, Nova Ética - Modelo 218 LDB, de seis provas, com regulador digital de rotação das hastes misturadoras, adição simultânea de reagentes e coletor de amostras.

Os ensaios em “jar test” foram realizados para determinar a dosagem ideal de

coagulante necessária para provocar a clarificação da água bruta.

A solução do coagulante PAC foi preparada a 1% utilizando a dosagem ótima de 9,5 mg/L, fornecida pela SANEPAR.

A variação das concentrações do coagulante *Moringa oleifera* Lam foi de 10 a 60 mg/L a 1% m/v (10.000 mg/L). A velocidade de mistura rápida (100 rpm), o tempo de coagulação (3 minutos), a velocidade de mistura lenta (10 rpm), o tempo de floculação (15 minutos) e o tempo de sedimentação (1 hora) foram mantidos durante os ensaios.

Foram realizados para comparação dos resultados a Análise de Variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias, teste Tukey, com 95% de confiança, sendo significativo um p-valor < 0,05, para verificar as diferenças significativas das eficácias de remoção dos parâmetros avaliados, através do programa estatístico Statistica versão 6.0. As letras (a, b, c, etc) identificam diferentes grupos estatísticos, ou seja, as maiores letras representam os melhores tratamentos.

Posteriormente a água passou por processo de microfiltração, aplicando-se uma pressão de 1 bar por um período de uma hora e foram coletadas amostras do permeado para posteriores análises de cor, turbidez, UV_{254nm} COD e THMT.

A água filtrada passou então por um processo de desinfecção com hipoclorito de

sódio na concentração de 1,5 mg/L que é a utilizada pela SANEPAR em tempos de contato de 30 min, 1, 2, 4 e 8h. Para cessar a reação de cloro residual com a matéria orgânica em cada tempo de contato, foram adicionados às amostras o sequestrante de cloro residual livre (tiosulfato de sódio P.A. (Na₂S₂O₃)).

As análises de THMT foram feitas por meio de cromatografia gasosa de acordo com o Método 6200-B, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização da água bruta encontra-se apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização da água bruta.

Parâmetros	Valores
Turbidez (NTU)	51,5
Cor (uH ¹)	290
pH	7,7
UV _{254nm} (cm ⁻¹)	0,180
COD (mg/L)	4,455

(1) unidade Hanzen = (mgPt-Co/L)

As remoções dos parâmetros cor, turbidez e UV_{254nm} na determinação da dosagem ótima do coagulante MO+NaCl estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Determinação da dosagem ótima de MO+NaCl.

Remoção dos Parâmetros	[MO+NaCl] (mg/L)					
	10	20	30	40	50	60
Turbidez (%)	64,2 (a)	75,4 (b)	80,2 (c)	83,3 (d)	86,3 (e)	84,6 (de)
Cor (%)	61,7 (a)	63,6 (a)	69,6 (b)	72,8 (c)	88,7 (e)	76,1 (d)
UV_{254nm} (%)	51,9 (a)	56,8 (ab)	52,1 (a)	56,3 (a)	67,2 (c)	62,2 (bc)

As letras (a, b, c, d e e) na tabela identificam diferentes grupos estatísticos (Teste Tukey, p<0,05)

De acordo com a análise estatística, a interação entre as variáveis é clara com p-valor<0,05. Dentre as diferentes dosagens avaliadas, não há diferença estatística em dosagens 50-60 mg/L para cor, turbidez e UV_{254nm}, sendo que optou-se por utilizar a menor dosagem de 50 mg/L, com o intuito de reduzir custos.

Com a aplicação das dosagens ótimas de 9,5 mg/L de PAC e 50 mg/L de MO + NaCl na etapa de coagulação/floculação com posterior MF, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Residual dos parâmetros cor, turbidez, UV_{254nm} e COD do permeado em comparação com o filtrado da filtração convencional.

Parâmetros	Controle		PAC		MO+NaCl	
	Filtro	MF	Filtro	MF	Filtro	MF
Cor (uH)	193,5	1,5	2,5	0,0	24	0,0
Turbidez (NTU)	29,8	0,32	0,38	0,35	2,40	0,38
UV _{254nm} (cm ⁻¹)	0,204	0,034	0,019	0,018	0,048	0,032
COD (mg/L)	4,34	1,78	2,10	1,484	3,52	1,930

Com isso, observa-se altas eficiências de remoção com a utilização da MF, sendo > 99% para os parâmetros cor e turbidez, > 85% para UV_{254nm} e > 55% para COD utilizando ambos os coagulantes e o controle. Os entupimentos para a membrana foram de 21% para o controle, 12% para o PAC e 24% para a MO+NaCl. Esse alto valor observado utilizando a MO+NaCl é devido oleaginosa que contém alta quantidade de matéria orgânica.

Nas Figuras 2, 3 e 4 estão apresentados os fluxos para o controle (água bruta sem coagulação/floculação) e para ambos os coagulantes testados. Nas Figuras 5 e 6 estão apresentados os resultados da coagulação/floculação/filtração do controle, PAC e MO+NaCl, em função da eficiência de formação de THMT e o cloro residual presente na água tratada, respectivamente.

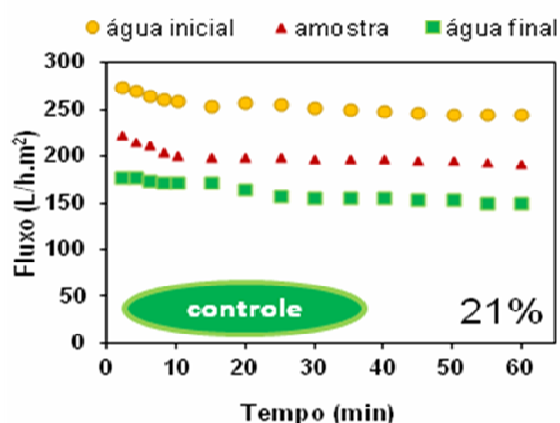


Figura 2 – Fluxos de permeado para o controle.

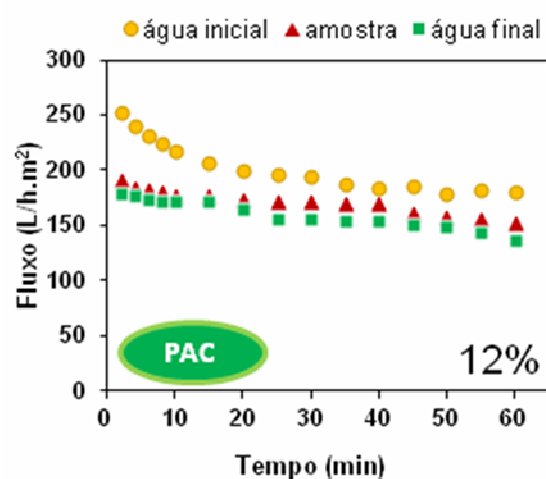


Figura 3 – Fluxos de permeado para o PAC.

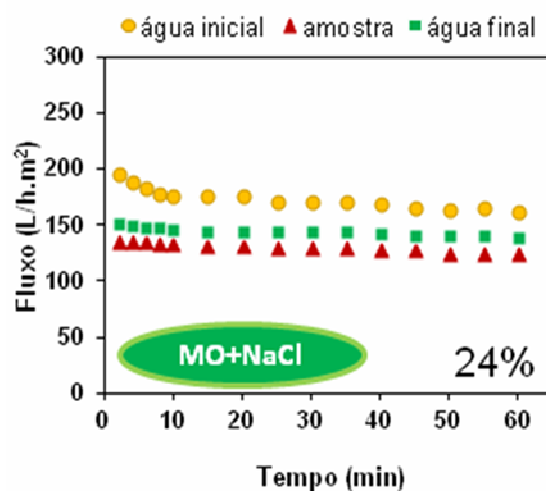


Figura 4 – Fluxos de permeado para a MO+NaCl.

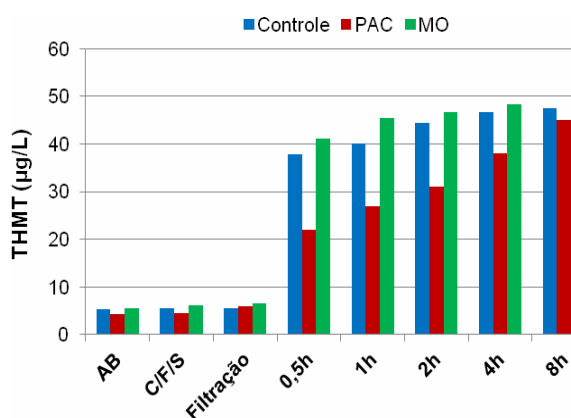


Figura 5 – Parâmetro THMT para controle, PAC e MO+NaCl.

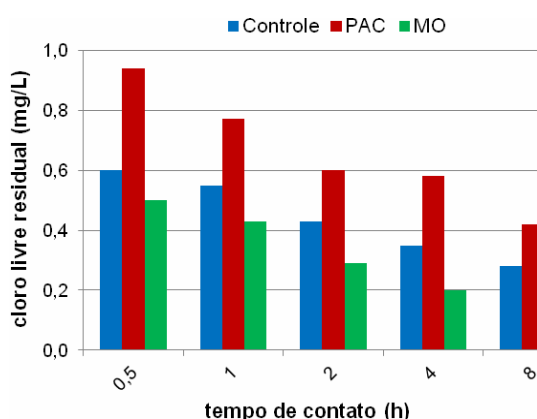


Figura 6 – Parâmetro cloro livre residual para controle, PAC e MO+NaCl.

Após o processo de cloração, foi avaliada a formação de THMT e o cloro residual presente na água tratada, que está apresentado na Figura 1.

Após 8h de tempo de contato, cloro residual para ambos os coagulantes estava de acordo com a Portaria nº 2914/2011 ($0,2 < \text{Cl}^- < 0,5 \text{ mg/L}$) do Ministério da Saúde. No entanto, pode ser observado que a quantidade de THMT foi maior com o uso da MO+NaCl ($51 \mu\text{g/L}$) quando comparado com o coagulante PAC ($36 \mu\text{g/L}$), sendo que ambos apresentaram-se de acordo com a Portaria nº 2914/2011 ($100 \mu\text{g/L}$). Quando comparado a filtração convencional ($62 \mu\text{g/L}$ para o PAC e $79 \mu\text{g/L}$ para a MO+NaCl), a MF se mostrou eficiente na minimização da formação de THMT.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, com o aumento do tempo de contato com o

cloro, houve uma maior formação de THMT, principalmente com a utilização do coagulante MO+NaCl, por apresentar uma maior quantidade de MON (Kalibbala *et al.*, 2009), no entanto, ambos os coagulantes apresentaram-se de acordo com a Portaria nº 2914/2011. A utilização de processos com membranas minimizou a formação de THMT quando comparado à filtração convencional.

NOMENCLATURA

APHA	American Public Health Association
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
MF	Microfiltração
MO	<i>Moringa oleifera</i> Lam
MON	Matéria Orgânica Natural
NTU	Nephelometric Turbidity Units
PAC	Policloreto de Alumínio
pH	Potencial hidrogeniônico
THM	Trihalometanos
THMT	Trihalometanos Totais
uH	Unidade Hanzen (mgPt-Co/L)
UV ₂₅₄	Compostos orgânicos com absorvância em 254 m

REFERÊNCIAS

- AWWA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); THE AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION); (WEF) (THE WATER ENVIRONMENT FEDERATION). (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater, ed. 22.
- BUDD, G. C., HESS, A. F., SHORNEY-DARBY, H., *et al.* (2004). Coagulation applications for new treatment goals, Journal of American Water Works Association, v. 96, n. 2, pp. 102–113.
- GHEBREMICHAEL, K.A. (2004). Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment. Trita-Lwr-Phd 1013. KTH Land and Water Resources Engineering KTH Vetenskap och. Konst Ph.D. Thesis, University of Stockholm, Sweden.
- GOPAL, K., TRIPATHY, S. S., BERSILLON, J., DUBEY, S. P. (2007). Chlorination byproducts, their toxicodynamics and removal from drinking water, Journal of Hazardous Materials, v. 140, pp. 1–6.

- HONG, H. C., LIANG, Y., HAN, B. P., MAZUMDER, A., WONG, M. H. (2007). "Modeling of trihalomethane (THM) formation via chlorination of the water from Dongjiang River (source water for Hong Kong's drinking water)", *Science of the Total Environment*, v. 385, pp. 48–54.
- KALIBBALA, H. M.; WAHLBERG, O.; HAWUMBA, T. J. (2009). "The impact of *Moringa oleifera* as a coagulant aid on the removal of trihalomethane (THM) precursors and iron from drinking water", *Water Science and Technology*, v. 9, n. 6, pp. 707–714.
- LEE, S. C., GUO, H., LAM, S. M. J., LAU, S. L. A. (2004) "Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kong", *Environmental Research*, v. 94, pp. 48-55.
- MUYIBI, S., A.; EVISON, L. M. (1995). "Moringa Oleifera Seeds for Softening Hardwater", *Water Research*, v. 29, n. 4, pp. 1099-1105.
- NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S., TALBOT, B. G. (1995). "Active agents and mechanism of coagulation of turbid Waters using *Moringa oleifera*". *Water Research* 29 (2), 703-710.
- NKURUNZIZA, T., NDUWAYEZU, J. B., BANADDA, E. N., NHAPI, I. (2009). "The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment". *Water Science and Technology* 59 (8), 1551-1558.
- NIKOLAOU, A. D., LEKKAS, T. D., GOLFINOPOULOS, S. K., KOSTOPOULOU, M. N. (2002). "Application of different analytical methods for determination of volatile chlorination by-products in drinking water", *Talanta*, v. 56, pp. 717-726.
- RONDEAU, V.; COMMENGES, D.; JACQMINGADDA, H.; DARTGUES, J. F. (2000). Relation between aluminum concentrations in drinking water and Alzheimer's diseases: An 8-year Follow-up Study, *American Journal of Epidemiology*, v. 152, n. 1, pp. 59-66.
- SILVA, F. J. A.; SOUZA, L. M. M.; MAGALHÃES, S. N. (2003) Uso potencial de biopolímeros de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil indigo. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, SC.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency (1999). *Alternative Disinfectants and Oxidants. Guidance Manual*.
- World Health Organization (WHO) (2005). *Trihalomethanes in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/W SH/05.08/64.
- ZHAO, R., LAO, W., XU, X. (2004). "Headspace liquid-phase microextraction of trihalomethanes in drinking water and their gas chromatographic determination", *Talanta*, v. 62, pp. 751-755.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Maringá (UEM), ao Departamento de Engenharia Química (DEQ/UEM), ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) de Maringá-PR.