

ESTUDO DA FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO VEGETAL COM O COAGULANTE NATURAL *Moringa oleifera* Lam PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Tássia Rhuna Tonial dos Santos, (Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - UEM)

E-mail: tassia_tonial@hotmail.com

Karina Cardoso Valverde, (Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - UEM)

E-mail: karinacordeirocardoso@hotmail.com

Letícia Nishi, (Pós Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - UEM)

E-mail: leticianishi@hotmail.com

Rosângela Bergamasco, (Docente do Departamento de Engenharia Química - UEM)

E-mail: rosangela@deq.uem.br

Marcelo Fernandes Vieira, (Docente do Departamento de Engenharia Química - UEM)

E-mail: mfvieira@deq.uem.br

Resumo: Desinfecção é uma etapa essencial no tratamento de água de abastecimento. No entanto, o cloro utilizado nesta etapa pode reagir com a matéria orgânica natural (MON) presente na água, formando os trihalometanos (THM), compostos altamente tóxicos e potencialmente carcinogênicos. Neste contexto, propõe-se avaliar a eficácia da coagulação/floculação utilizando solução salina de sementes do coagulante natural *Moringa oleifera* Lam (Mo) integral e desengordurado, seguido por um processo de adsorção utilizando o carvão ativado de coco de dendê. Para os ensaios realizados em *Jar Test*, utilizou-se água proveniente da bacia do rio Pirapó, Maringá, PR, com dosagens de 50 mg.L⁻¹, 30 mg.L⁻¹ e 50 mg.L⁻¹ para Mo *in natura*, Mo (hex) e Mo (et) respectivamente, seguido por uma coluna de adsorção contendo 150 g de carvão ativado. Em seguida, foi realizado o processo de cloração e avaliada a formação de THM. Amostras foram coletadas para avaliar a eficiência de remoção da cor aparente, turbidez, compostos com absorção de UV 254 nm, COD, cloro e THM. Observou-se que o processo de coagulação/floculação usando Mo (et), seguido por adsorção em carvão ativado foi capaz de reduzir significativamente os valores dos parâmetros físico-químicos avaliados, respeitando os limites estabelecidos pela Portaria n° 2914/2011 do Ministério da Saúde. Também foi possível obter uma redução significativa na formação de THM.

Palavras-chave: *Moringa oleifera* Lam, coagulação/floculação, adsorção em carvão, trihalometanos, tratamento de água.

STUDY ON THE FORMATION PROCESS TRIHALOMETHANES COAGULATION / FLOCCULATION / ADSORPTION ON ACTIVATED CARBON PLANT WITH NATURAL COAGULANT *Moringa oleifera* Lam FOR TREATMENT OF WATER SUPPLY

Abstract: Disinfection is an essential step in treating water supplies. However, the chlorine used in this step may react with natural matter organic (NOM) present in the water, forming trihalomethanes (THM), compounds highly toxic and potentially carcinogenic. In this context, the study proposes to assess the efficiency of coagulation/flocculation using natural coagulant *Moringa oleifera* Lam (Mo) followed by adsorption on activated carbon of coconut palm in order to reduce the organic matter and minimize the THM formation. Two coagulating solution were tested, the first salt obtained by extraction of the seeds from the second integral of defatted seeds. For tests performed in Jar Test was used water from the river basin Pirapó, Maringá, PR. Dosages of natural coagulants of 50 mg.L⁻¹, 30 mg.L⁻¹ and 50 mg.L⁻¹ for *Moringa in natura*, *Moringa* defatted with hexane Mo (hex) and *Moringa* defatted with ethanol Mo (et), respectively. In the adsorption step was used a column containing 150 g of activated charcoal. Then, it was carried out a chlorination step and assessed the formation of THM. Samples were collected to evaluate the removal efficiency of apparent color, turbidity, UV 254nm absorption compounds, DOC, chlorine and the formation of THM. It was observed that the coagulation/flocculation process using Mo (et) followed by adsorption on activated carbon was able to reduce significantly the values of the physicochemical parameters evaluated, respecting the limits established by Ordinance No.

2914/2011 of the Ministry of Health. It was also possible to obtain a significant reduction in the formation of THM.

Keywords: *Moringa oleifera* Lam, coagulation/flocculation, adsorption on activated carbon, trihalomethanes, water treatment.

1. INTRODUÇÃO

O projeto de Estações de Tratamento de Água (ETAs) convencionais para águas de abastecimento visa a otimização dos processos de remoção da turbidez e cor aparente, bem como a produção de uma água segura do ponto de vista microbiológico e químico.

Uma etapa importante no tratamento de água é a desinfecção, que tem como objetivo a destruição ou inativação de grande maioria dos organismos patogênicos, capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis. O agente químico mais comum utilizado no processo de desinfecção de águas de abastecimento e residuárias é o cloro. Apesar dos benefícios oriundos da desinfecção, o cloro e outros compostos oxidantes podem reagir com a matéria orgânica natural (MON) proveniente dos mananciais superficiais, formando subprodutos de desinfecção que podem ser prejudiciais à saúde humana como os trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) e haloacetnitrilas (HAN), entre outros (HONG, 2007; NIKOLAOU et al., 2002 e ZHAO et al., 2004).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (World Health Organization, 2005), os compostos do grupo de THM mais frequentes em águas de abastecimento são: clorofórmio ou triclorometano (CHCl_3), bromodiclorometano (CHCl_2Br), dibromoclorometano (CHClBr_2) e bromofórmio ou tribromoetano (CHBr_3).

Devido a 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 (TTHM) 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).

Em função da literatura científica a respeito destes subprodutos da desinfecção, torna-se extremamente importante o desenvolvimento de estudos visando identificar, qualificar e quantificar subprodutos resultantes da oxidação de substâncias húmicas, especialmente quando se usa o cloro, visto que este é utilizado prioritariamente nas ETAs como oxidante/desinfetante. Seu uso na pré, inter e pós cloração indica que, sob determinadas condições, o potencial para formação de subprodutos da desinfecção é preocupante, estando constantemente acima dos limites estabelecidos pelas normas internacionais (MARMO, 2005).

Há duas vertentes para reduzir a concentração de THMs na água de consumo humano, uma delas procura evitar a formação dos THM através da remoção da MON antes da desinfecção, e a outra consiste na remoção desses após a sua formação, sendo a adsorção o método mais empregado.

No presente estudo elegeu-se como melhor alternativa a remoção da MON antes da aplicação do cloro, considerando a facilidade de trabalhar com o mesmo desinfetante e os custos altos em remover os THMs depois de formados.

Nas ETAs os coagulantes mais empregados são os inorgânicos, que são sais trivalentes de ferro e alumínio. Recentemente, esses coagulantes químicos têm sido alvo de discussão, em função de haver evidências de que o Mal de Alzheimer pode estar associado ao alumínio residual presente na água destinada ao consumo humano. Além disto, o alumínio não é

biodegradável, podendo ocasionar problemas de disposição e tratamento do lodo gerado (BUDD et al., 2004; MORAES, 2004).

Sendo assim, em vários países, inúmeras plantas e seus derivados estão sendo utilizadas como coagulantes/floculantes naturais, e alguns biopolímeros vêm sendo investigados mais intensamente que outros, como é o caso da *Moringa oleifera* Lam (Mo).

A descoberta do uso das sementes de Mo 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 deste ser biodegradável, não alterar o pH da água, apresentar remoção de cor e turbidez eficientes e contribuir para a remoção de bactérias, normalmente com valores superiores a 90% (NKURUNZIZA et al., 2009; GHEBREMICHAEL, 2005; MUYIBI & EVISON, 1995; NDABIGENGESERE et al., 1995).

Assim, esse estudo propõe verificar a eficiência do processo combinado coagulação/floculação (C/F) utilizando o coagulante natural Mo *in natura* (com óleo) e as sementes após a extração do óleo realizada por diferentes métodos de extração com posterior adsorção em carvão ativado e cloração, avaliando a remoção da MON, bem como a minimização da formação de THMs.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de água superficial bruta proveniente do rio Pirapó, captada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) de Maringá-PR. Essa água foi submetida ao processo de coagulação/floculação, com adição da solução padrão salina do coagulante natural de sementes de Mo nas seguintes preparações:

- *in natura*, ou seja, semente sem passar por nenhum processo de extração do óleo (Mo *in natura*);
- sementes após a extração do óleo realizada por dois métodos de extração: com hexano (Mo hex) e com etanol (Mo et).

Após o processo de coagulação/floculação, a água foi submetida aos processos de adsorção em carvão ativado e cloração.

2.1 Preparo dos coagulantes

Foram utilizadas sementes maduras de Mo, provenientes da Universidade Federal de Sergipe (UFS) removidas da vagem seca e descascadas manualmente.

2.1.1 Mo *in natura*

Pesou-se 1 grama de sementes previamente descascadas, estas foram trituradas com 100 mL de solução salina (NaCl 1M) em liquidificador. Posteriormente, a solução foi agitada durante 30 minutos e filtrada à vácuo, obtendo uma solução 1% de sementes de Mo (MADRONA et al., 2010).

2.1.2 Extração do óleo da semente de Mo por etanol – Mo (et)

Sementes de Mo foram descascadas e trituradas até obter um pó fino em liquidificador. O pó foi misturado com etanol (5% m/v) e mantido em agitação durante 30 minutos. Essa amostra foi submetida ao processo de centrifugação e, posteriormente, foi seca a temperatura ambiente durante um período de 24 horas. 1,0 g desse material foi misturado a 100 mL da solução salina (NaCl 1M) utilizando um agitador magnético durante 30 minutos e, posteriormente, a

solução foi filtrada à vácuo em membranas de 0,45 µm de porosidade (KALIBBALA et al., 2009).

2.1.3 Extração do óleo da semente de Mo por hexano pelo método de Soxhlet - Mo(hex)

10 g de sementes de Mo foram trituradas e secas em estufa. O pó foi transferido para um cartucho de extração e levado a um extrator contínuo soxhlet durante 8 horas. A trituração serviu para facilitar o processo de extração, pois garantiu uma maior superfície de contato com o solvente.

Após a obtenção do pó de Mo desengordurada por extração com hexano, a preparação da solução salina de Mo (hex) seguiu o procedimento descrito no item 2.1.2.

2.2 Etapa de coagulação/ floculação e adsorção

Realizaram-se os ensaios de coagulação/floculação em *Jar test* com dosagens de 50 mg.L⁻¹, 30 mg.L⁻¹ e 50 mg.L⁻¹ para Mo *in natura*, Mo (hex) e Mo (et), respectivamente, e em diferentes condições de operação otimizadas por MADRONA et al (2012) e KALIBBALA et al, (2009) (Tabela1).

Tabela 1: Condições de operação do *Jar Test* com Mo *in natura*, Mo (hex) e Mo (et)

Condições de operação	Mo <i>in natura</i>	Mo (hex)	Mo (et)
Gradiente de mistura rápida (s ⁻¹)	690	1172	1172
Tempo de mistura rápida (min)	3,0	1,0	1,0
Gradiente de mistura lenta (s ⁻¹)	23	113	113
Tempo de mistura lenta (min)	15	30	30
Tempo de sedimentação (min)	60	60	60

Posteriormente, a água passou por um processo de adsorção, utilizando uma coluna contendo 150 g de carvão ativado de coco de dendê. Por fim, realizou-se o processo de desinfecção com cloro na concentração inicial de 1,5 mg/L que é a utilizada pela estação de saneamento local (SANEPAR). Assim, avaliou-se a formação de THM totais e o cloro residual livre em diferentes tempos de contato nesta água.

Em todas as etapas avaliaram-se os seguintes parâmetros: cor aparente, turbidez, compostos com absorção em UV_{254nm} (UV_{254nm}), carbono orgânico dissolvido (COD), trihalometanos totais (THMT) e cloro livre residual (na etapa de desinfecção).

As análises de THMT realizaram-se por meio de cromatografia gasosa em coluna capilar (CG), com sistema de separação por purge and trap, e detecção e quantificação por espectrometria de massa (EM), de acordo com o Método 6200-B, STANDARD METHODS (CLESCERI et al, 1998).

Mediu-se a cor em espectrofotômetro HACH DR 2010; a turbidez mediu-se em Turbidímetro portátil HACH – modelo 2100P; o UV_{254nm} mediu-se em espectrofotômetro da HACH – modelo DR5000 e o COD foi determinado em equipamento para análise de carbono orgânico total TOC-LCPH da Shimadzu (APHA, 1995).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização da água bruta utilizada no presente estudo está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização da água bruta

Parâmetros	Valores
Turbidez (NTU)	49

Cor aparente (uH ¹)	153
UV-254nm	0,22
COD (mg/L)	4,45
THMT (µg/L)	4,45

(1) unidade Hazen = (mg Pt-Co/L)

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos parâmetros cor aparente, turbidez e UV_{254nm} analisados quando utilizado os coagulantes Mo *in natura*, Mo (et) e Mo (hex) no processo combinado de coagulação/floculação e adsorção em carvão vegetal (C/F/Ad).

Tabela 3: Análise dos Parâmetros Turbidez, Cor aparente e UV_{254nm} no processo combinado de coagulação/floculação com Mo e adsorção em carvão

Processo de tratamento	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uH ¹)	UV-254nm
C/F/Ad - Mo (hex)	0,7	0	0,0067
C/F/Ad - Mo (et)	0,5	0	0,0062
C/F/Ad - Mo <i>in natura</i>	0,3	0	0,0038

(1) unidade Hazen = (mg Pt-Co/L)

Em relação ao parâmetro turbidez, o processo combinado utilizando a Mo *in natura*, apresentou melhor eficiência de remoção, com turbidez final de 0,3 NTU atendendo aos limites da Portaria nº 2914/2011 (<0,5 NTU), assim como a Mo (et) que apresentou turbidez final de 0,5 NTU. O processo com o coagulante Mo (hex) apresentou uma remoção de turbidez de 98,6%, porém não atendeu o limite da legislação para esse parâmetro. Uma possível explicação pode ser que durante o processo de extração do óleo, utilizando o solvente hexano, além do óleo pode-se ter retirado outras substâncias tais como algumas proteínas que podem atuar na capacidade coagulante da Mo, diminuindo assim a sua eficiência na remoção de turbidez da água.

Em relação à cor podemos observar que todas as formas de preparo da semente de Mo (integral e desengordurada), seguido do processo de adsorção em carvão, removeram praticamente 100% desse parâmetro, atendendo a Portaria 2914/2011 (<15uH).

Quanto ao UV_{254nm}, o processo combinado com Mo *in natura* apresentou a maior eficiência de remoção, 98,3%. Os processos combinados com Mo (et) e Mo (hex) apresentaram remoções semelhantes, 97,2% e 97%, respectivamente.

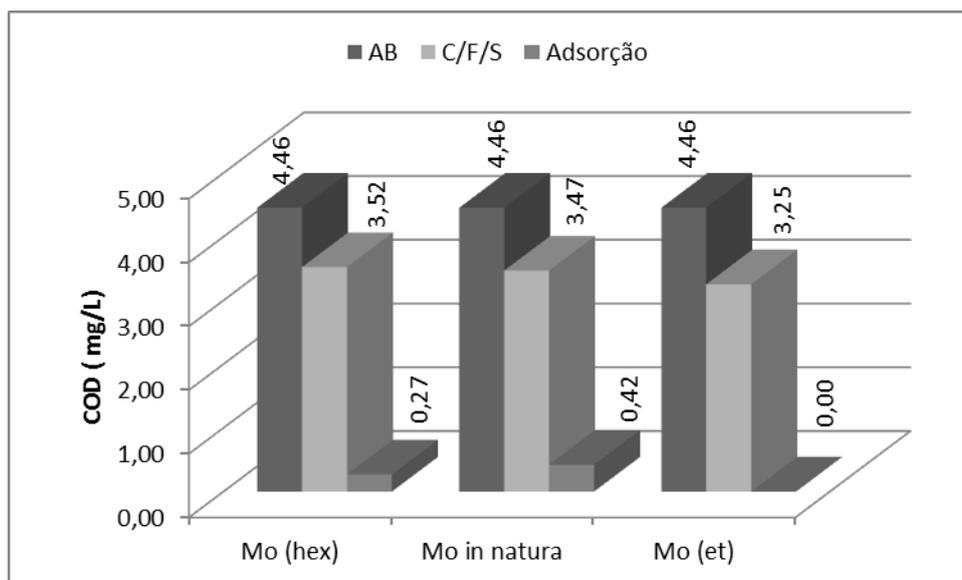


Figura 1: Análise do parâmetro COD em água bruta (AB), água após o processo de coagulação/floculação/sedimentação (C/F/S) e após o processo de adsorção em carvão.

Em relação aos resultados de COD, podemos observar que apenas com pré-tratamento da coagulação/floculação não foi possível obter reduções significativas (3,52 mg/L, 3,47 mg/L e 3,25 mg/L), indicando a necessidade de de um tratamento complementar.

Após a adsorção em carvão foi possível obter baixos valores residuais de COD quando utilizados os coagulantes Mo (hex) e Mo *in natura* (0,27 mg/L e 0,42 mg/) mas apenas o coagulante Mo (et) pode remover 100% da matéria orgânica. Essa maior remoção pode ser explicada pelo método de extração com etanol, que possivelmente possibilitou uma maior retirada de matéria orgânica antes do processo, contribuindo dessa forma para uma maior eficiência de remoção do parâmetro de qualidade.

Na Figura 2 são apresentados os valores de cloro livre residual da água tratada pelo processo combinado coagulação/floculação/adsorção em carvão com Mo(hex), Mo(et) e Mo *in natura*.

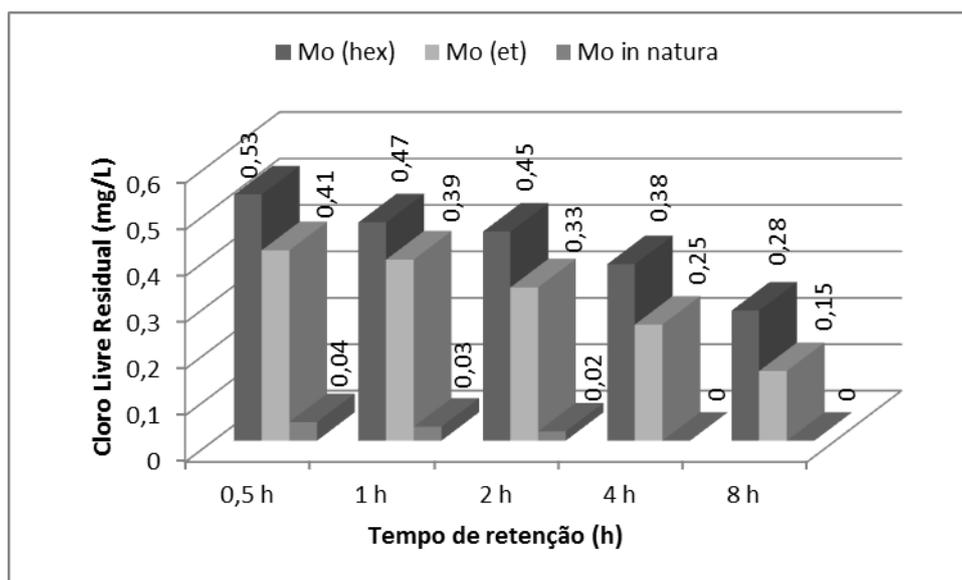


Figura 2: Análise do parâmetro cloro residual livre após a pós-cloração da água tratada em diferentes tempos de retenção.

Segundo a Portaria MS nº 2914/2011, é obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).

Através do gráfico observou-se que a Mo *in natura* não se manteve dentro dos parâmetros mínimos de 0,2 mg/L. Isso está relacionado com uma maior quantidade de matéria orgânica presente, a qual reage com o cloro e há maior oxidação da MON. Em relação aos coagulantes Mo (hex) e Mo (et) ambos se mantiveram dentro dos limites da legislação apresentando valores entre 0,2 mg/L e 2 mg/L de cloro residual livre.

Na Figura 3 são apresentadas as concentrações de THMT na água bruta (AB), após o processo de coagulação/floculação/sedimentação (C/F/S) e após a cloração em diferentes tempos de retenção.

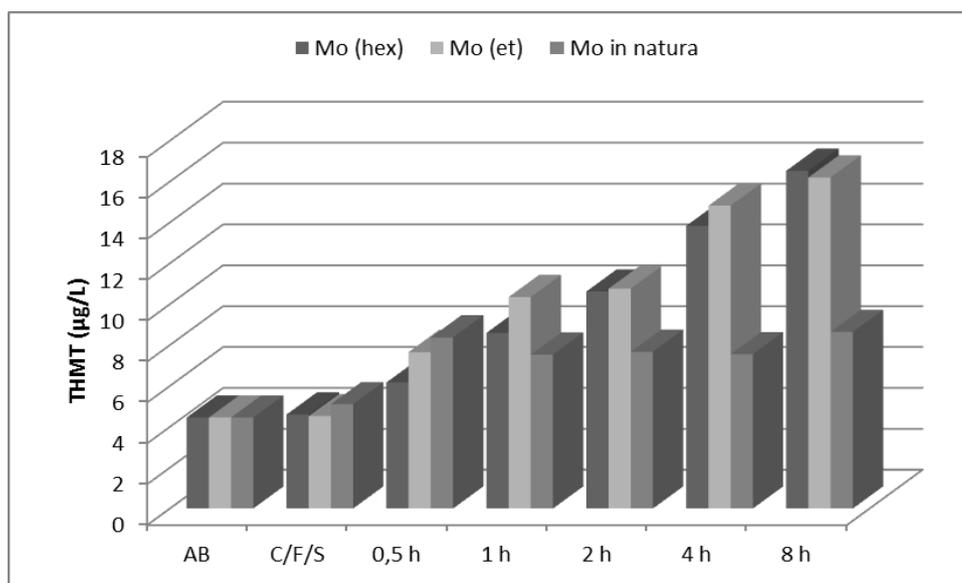


Figura 3: Análise do parâmetro THMT

Para melhor visualização, os resultados de THMT estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Análise do parâmetro de THMT

	Mo hexano (µg/L)	Mo etanol (µg/L)	Mo in natura (µg/L)
AB	4,45	4,45	4,45
C/F/S	4,6	4,52	5,1
0,5 h	6,17	7,66	8,37
1 h	8,59	10,35	7,53
2 h	10,62	10,76	7,67
4 h	13,83	14,82	7,55
8 h	16,52	16,20	8,64

Com base nos dados da tabela 4 constatou-se que a água que passou pelo processo combinado de C/F com Mo *in natura*, seguido de adsorção em carvão, apresentou a partir de 30 minutos uma concentração constante de THMT (valores entre 7 mg/L e 8 mg/L). Ao contrário da água

que passou pelos processos combinados com Mo (hex) e Mo (et), em que a concentração de THMT aumentou nos diferentes tempos de retenção.

Isso pode ser explicado, considerando que a Mo *in natura* pode apresentar uma maior quantidade de matéria orgânica, que tende a reagir com o cloro, consumindo-o nos primeiros tempos de retenção, como pode ser observado na Figura 2, formando THM e mantendo a concentração desses constantes durante o intervalo de tempo determinado, pois não há mais cloro para a formação de subprodutos. Em relação a Mo (hex) e Mo (et), por apresentarem uma quantidade menor de matéria orgânica, reagem mais lentamente com o cloro aumentando a concentração de THM com o decorrer do tempo.

Contudo, mesmo com o aumento de THMT com a Mo (hex) e Mo (et) e a formação de THMT com a Mo *in natura*, após o processo de desinfecção em um tempo de contato de 8 horas, os três coagulantes utilizados apresentaram concentração de THMT dentro dos limites da Portaria nº 2914/2011 (100 µg/L) e também dentro de legislações internacionais mais rígidas, como a da Itália (30 µg/L).

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o processo de coagulação/floculação utilizando os coagulantes Mo *in natura* e Mo (et) com posterior adsorção em carvão reduziu significativamente os parâmetros físico-químicos analisados, produzindo água potável atendendo os limites da Portaria nº 2914/2011. Destacando-se o processo combinado com a Mo (et) que produziu água com os parâmetros turbidez, cor aparente, cloro residual livre e THM dentro dos limites da legislação.

Assim, a Mo pode se apresentar como um coagulante alternativo eficiente após a extração do óleo com o solvente etanol. Essa extração apresenta vantagens sobre o solvente hexano em relação aos resultados obtidos e, também, pelo etanol ser um solvente de boa segurança operacional, baixa toxicidade e ter fonte biorenovável, características essas não presentes no solvente hexano.

A extração do óleo das sementes de Mo pode apresentar como vantagem a redução da carga orgânica a partir das sementes com a finalidade de usar o extrato como coagulante, e para a produção de óleo comestível como um subproduto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FINEP pelo apoio financeiro; à Universidade Federal de Sergipe (UFS), pela doação das sementes de Mo; e a SANEPAR, pelas amostras de água bruta fornecidas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), *Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater*. 19th ed., Washington, 1995.

BUDD, G. C., HESS, A. F., SHORNEY-DARBY, H., NEEMANN, J. J., SPENCER, C. M., BELLAMY, J. D., HARGETTE, P. H., *Coagulation applications for new treatment goals*, Journal of American Water Works Association, v. 96, n.2, pp. 102-113, 2004.

CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. United States: American Public Health Association, 20 th ed., 1998.

HONG, H. C., LIANG, Y., HAN, B. P., MAZUMDER, A., WONG, M. H., “*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, 2007.

GHEBREMICHAEL, K. A., GUNARATNA, K. R., HENRIKSSON, H., BRUMER, H., DALHAMMAR, G., *A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed*, *Water Research*, v. 39, pp. 2338-2344, 2005.

KALIBBALA, H. M.; WAHLBERG, O.; HAWUMBA, T. J., *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, 2009.

MADRONA, G. S.; BRANCO, I. G.; SEOLIN, V. J.; ALVES FILHO, B. de A.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; BERGAMASCO, R., *Evaluation of extracts of Moringa oleifera Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment*. *Acta Scientiarum Technology*, v. 34, n. 3, pp. 289-293. doi:10.4025/actascitechnol.v34i3.9605, 2012.

MADRONA, G.S.; SERPELLONI, G.B.; VIEIRA, A.M.S.; NISHI, L.; CARDOSO, K.C.; BERGAMASCO, R., *Study of the Effect os saline Solution on the Extraction of the Moringa oleifera Seed's Active Component for Water Treatment*, *Water Air and Soil Pollution*, v. 211, p. 409-415, 2010.

MARMO, R. M., *Formação e remoção de trihalometanos em águas de abastecimento tratadas, na pré-oxidação, com cloro livre*. Dissertação (M.Sc.), Faculdade de Engenharia Civil (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil, 2005.

MUYIBI, S., A.; EIVISON, L. M., *Moringa oleifera Seeds for Softening Hardwater*, *Water Research*, v. 29, n. 4, p. 1099-1105, 1995.

NDABIGENGESERE, A., NARASIAH, K. S., TALBOT, B. G., *Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using Moringa oleifera*, *Water Research.*, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.

NKURUNZIZA, T.; NDUWAYEZU, J.B., BANADDA, E.N.; NHAPI, I., *The effect of turbidity levels and Moringa oleifera concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment*, *Water Science and Technology*, v. 58, n.8, pp. 1551-1558, 2009.

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.