



**UTILIZAÇÃO DO PROCESSO COMBINADO
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/UF COMO PROCESSO
ALTERNATIVO AO TRATAMENTO CONVENCIONAL
UTILIZANDO COMO COAGULANTE A *Moringa oleifera* Lam**

Milene Carvalho Bongiovani¹

Karina Cardoso Valverde²

Rosângela Bergamasco³

RESUMO: A aplicação de membranas no tratamento de águas superficiais fornece muitas vantagens sobre o tratamento convencional. No entanto, o primeiro problema encontrado na aplicação de tecnologias com membranas é a incrustação das mesmas (fouling), sendo afetado principalmente pela matéria orgânica natural (MON). A utilização de pré-tratamentos como a coagulação/floculação integrados a processos com membranas tem sido utilizados para melhorar a remoção de MON e minimizar o fouling. Este artigo propõe utilizar a coagulação/floculação com posterior ultrafiltração utilizando como coagulante a *Moringa oleifera* Lam (*M. oleifera*), com a finalidade de avaliar a remoção de MON em comparação ao tratamento convencional de água. Para os ensaios, foi utilizada água bruta da Bacia do Rio Pirapó, com turbidez baixa (50 NTU). Os ensaios primeiramente foram realizados em jar-test para determinação da dosagem ótima do coagulante *M. oleifera* por meio da análise estatística. Posteriormente, com a dosagem ótima do

¹ Engenheira Química, Acadêmica de Pós-graduação em Engenharia Química (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, PR, Bolsista CAPES. milene.bongiovani@gmail.com

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

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



coagulante *M. oleifera* determinada na etapa anterior, foi realizada a coagulação/floculação com posterior filtração convencional e com a ultrafiltração (UF) com a finalidade de comparar a eficiência de remoção da MON por meio dos parâmetros cor, turbidez, compostos com absorção em UV_{254nm} (UV_{254nm}) e carbono orgânico dissolvido (COD) utilizando a análise estatística. Dentre os resultados obtidos, a dosagem ótima obtida da *M. oleifera* foi de 50 mg.L^{-1} . A aplicação do processo de coagulação/floculação como pré-tratamento antes da filtração com membranas mostrou não somente a redução do fouling da membrana, mas também uma melhora na remoção da MON que não poderiam ser removidas somente pela membrana (controle).

Palavras-chave: Coagulação/floculação. *Moringa oleifera* Lam. Ultrafiltração.

1 INTRODUÇÃO

Recentemente, membranas de ultrafiltração (UF) tornaram-se rapidamente uma alternativa eficiente ao tratamento convencional para produção de água potável, por conseguirem remover maior quantidade de MON (matéria orgânica natural). O primeiro problema encontrado na aplicação de tecnologias com membranas é a incrustação das mesmas (fouling), sendo afetado principalmente pela MON (Laine et al., 2003; Fabris et al, 2007; Peiris et al, 2010).

O fouling das membranas pela MON diminui a capacidade efetiva do processo e causa perdas irreversíveis no fluxo de permeado, resultando em um aumento no custo de produção da água potável e até mesmo a frequente substituição da membrana (Jung et al. 2006).

No entanto, o uso de pré-tratamento combinado ao sistema de UF é esperado diminuir a quantidade de fouling irreversível e aumentar o fluxo do permeado. Aplicar o processo de coagulação/floculação antes da filtração com membranas tem sido sugerida como meio de reduzir o fouling das membranas e melhorar a remoção de materiais orgânicos dissolvidos que não poderiam ser removidos somente pela membrana (Vickers et al. 1995; Mo e Huang, 2003; Xia et al., 2004; Barbot et al., 2008; Liu et al., 2011).

Os coagulantes mais empregados nas estações de tratamento de água (ETAs) são os inorgânicos, que são sais trivalentes de ferro e alumínio. Apesar do desempenho e



custo-eficácia comprovados dos coagulantes químicos, há ainda um certo grau de teor de alumínio residual após tratamento, que tem sido relacionado com a doença do Mal de Alzheimer (Budd et al., 2004; Rondeau et al., 2000). 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 *M. oleifera*.

A descoberta do uso das sementes de *M. oleifera* para a purificação de água, a um custo menor que do tratamento químico convencional, constitui uma alternativa de maior 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 altera o pH da água, apresenta boa remoção de cor e turbidez da água, e também ocorre uma grande remoção de bactérias, normalmente acima de 90% (Nkurunziza et al., 2009; Ghebremichael, 2005; Muyibi e Evison, 1995; Ndbigengesere et al., 1995).

Assim, esse estudo propõe utilizar a coagulação/floculação com posterior ultrafiltração utilizando como coagulante a *M. oleifera*, com a finalidade de avaliar a remoção de MON em comparação ao tratamento convencional de água.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização destes ensaios, foram utilizadas águas superficiais da bacia do Rio Pirapó, Maringá, PR, com características de baixa cor/turbidez, já que estas são de difícil tratamento e pelo fato de ter informações limitadas na literatura (Ates et al., 2009).

Para preparação do coagulante *M. oleifera*, foram utilizadas sementes maduras provenientes da Universidade Federal de Sergipe (UFS), manualmente removidas da vagem seca e descascadas. Foram pesados 1 grama de sementes descascadas que foram trituradas juntamente a 100 mL de solução salina (NaCl 1M) em liquidificador. Posteriormente a solução foi agitada durante 30 min e filtrada à vácuo, obtendo uma solução 1% de sementes de *M. oleifera* (concentração de *M. oleifera* na solução = 10000 mg/L) (Madrona et al., 2010).



A determinação da dosagem ótima do coagulante *M. oleifera* foi realizada em aparelho de “jar test”, Nova Ética - Modelo 218 LDB com variação das concentrações do coagulante *M. oleifera* de 10 a 60 mg/L (Yin, 2010) e pH constante. As seguintes condições de operação foram utilizadas: VMR (100 rpm), TMR (3 min), VML (10 rpm), TML (15 min) e TS (1 h) (Madrona et al, 2010). Foi avaliado a remoção de matéria orgânica por meio dos parâmetros cor, turbidez e UV_{254nm} de acordo com o Standard Methods (APHA, 1995).

A filtração convencional consistiu na filtração rápida descendente de água coagulada em um filtro de camada dupla (areia e antracito), aplicando-se um fluxo de 240 L/m².h por um período de uma 40 min. O filtro foi preenchido com uma massa m igual a 297 g de areia e 246 g de antracito.

Na etapa de filtração com membranas foram utilizados módulos de membrana de ultrafiltração de poli(éter sulfona) com característica hidrofílica e peso molecular de corte de 50 kDa, sendo estas na forma de fibras-ocas, a partir de polímeros de engenharia, produzidas pela empresa PAM-Membranas Seletivas (COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro-RJ). A pressão de operação utilizada foi de 1 bar.

Na Figura 1 estão apresentados os aparatos experimentais utilizados na etapa da filtração convencional e UF.

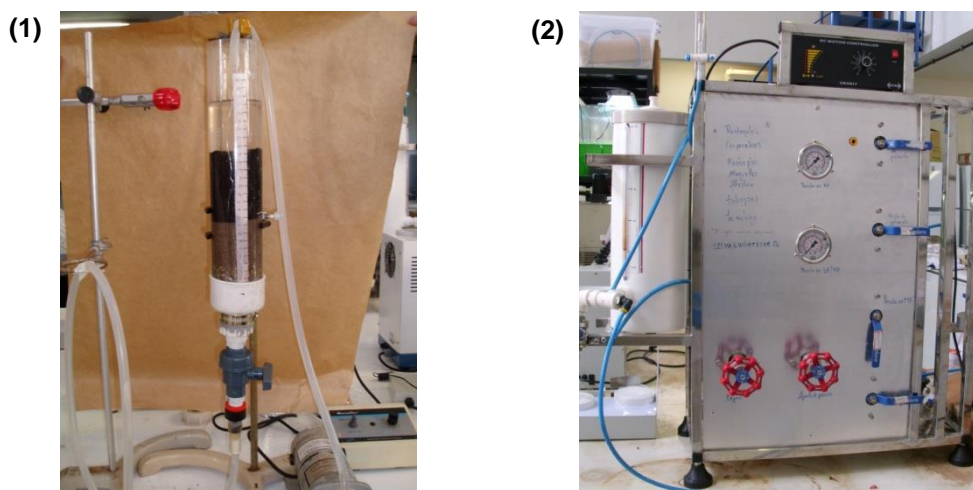


Figura 1 – Aparatos experimentais utilizados na etapa da (1) filtração convencional e (2) UF.



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, através do programa estatístico SISVAR versão 5.3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização da água bruta em termos dos parâmetros relacionados à MON está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização da água superficial

| Parâmetros | Valores |
|---|---------|
| Turbidez (NTU ¹) | 57,5 |
| Cor aparente (uH ²) | 309 |
| pH | 7,5 |
| UV _{254nm} (cm ⁻¹) | 0,222 |

(1) Unidade Hazen: (mg Pt-Co L⁻¹)

(2) NTU: unidades nefelométricas de turbidez

3.1 Determinação da dosagem ótima do coagulante *M. oleifera*

Os residuais e as remoções dos parâmetros cor, turbidez e UV_{254nm} destes ensaios estão apresentados na Figura 2.

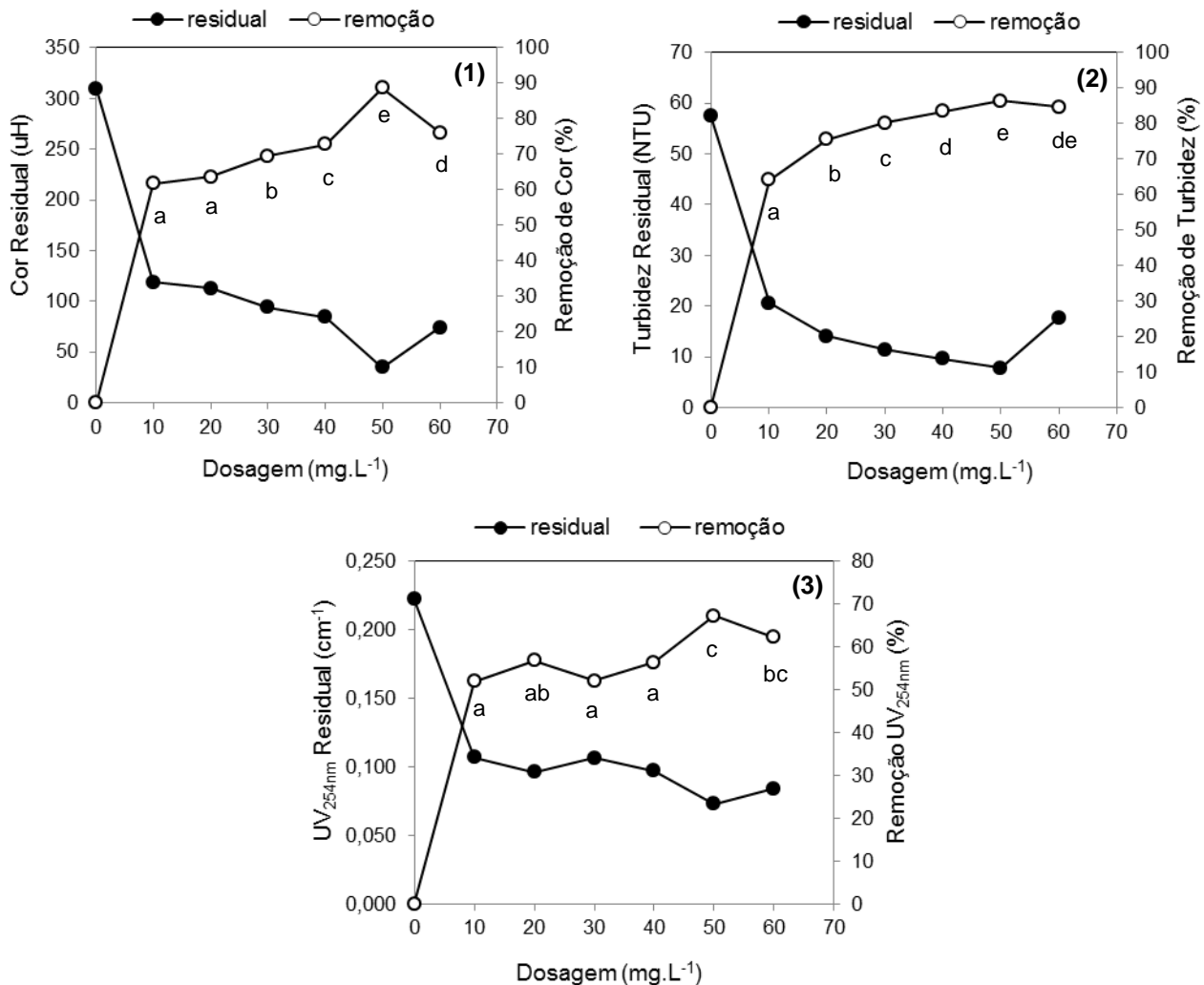


Figura 2. Análise dos parâmetros (1) cor, (2) turbidez e (3) UV_{254nm} na etapa de coagulação/floculação utilizando como coagulante a *M. oleifera*. As letras (a, b, c e d) na tabela identificam diferentes grupos estatísticos (Teste Tukey, p<0,05)

De acordo com a análise estatística, a interação entre as variáveis é clara, não só a partir da análise dos gráficos, mas também devido ao relatório da ANOVA, que nos fornece um p valor inferior a 0,05 em cada caso. Não houve diferença estatística em dosagens de 50-60 mg.L⁻¹ para os parâmetros turbidez e UV_{254nm} e 50 mg.L⁻¹ para o parâmetro cor, sendo escolhido 50 mg.L⁻¹ a dosagem ótima.

Muitos estudos com a *M. oleifera* como coagulante primário tem demonstrado elevada eficiência de remoção (Madrona et al., 2010; Sánchez-Martín, Beltrán-Heredia e Peres, 2012). Mangale Sapana et al. (2012) também obtiveram uma dosagem ótima de 50



mg/L de *M. oleifera* em pó utilizando uma água de baixa turbidez (< 50 NTU) obtendo turbidez final abaixo de 5 NTU.

Vários estudos têm mostrado que a utilização de solução salina como solvente é mais eficiente do que, por exemplo, com o solvente água destilada na preparação do coagulante *M. oleifera*. Okuda et al. (1999) mostrou que, a capacidade de coagulação das sementes de *M. oleifera* foi de até 7,4 vezes maior quando a preparação do coagulante foi realizada com solução salina, em comparação com água destilada. A razão para isso é considerado que a proteína coagulante é mais solúvel em água com elevada concentração de íons (Okuda et al., 2001). Esta melhora na eficiência por extração salina, foi descrita por um mecanismo de salting-out, que aumentou a força iônica e a solubilidade dos componentes ativos (Okuda et al., 2001; Ndabigengesere e Narasiah, 1998).

3.2 Aplicação da dosagem ótima do coagulante *M. oleifera* nas etapas de filtração convencional e UF

Com a dosagem ótima do coagulante *M. oleifera* determinada na etapa anterior (50 mg.L⁻¹), foi realizada a coagulação/floculação com posterior filtração convencional e com UF com a finalidade de comparar a eficiência de remoção da MON. As remoções dos parâmetros cor, turbidez, UV_{254nm} e COD destes ensaios estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados da filtração convencional e UF utilizando como coagulante a *M. oleifera*

| Tratamento | Amostra | Cor (%) | Turbidez (%) | UV _{254nm} (%) | COD (%) | Fouling (%) |
|------------------------|--------------------|----------|--------------|-------------------------|----------|-------------|
| Filtração convencional | Controle* | 37,4 (a) | 48,2 (a) | 8,11 (a) | 2,60 (a) | - |
| | <i>M. oleifera</i> | 92,2 (b) | 95,8 (b) | 78,2 (b) | 20,9 (b) | - |
| UF | Controle* | 100 (A) | 99,5 (A) | 86,3 (A) | 64,2 (A) | 24,6 (a) |
| | <i>M. oleifera</i> | 100 (A) | 99,6 (A) | 88,5 (B) | 74,6 (B) | 9,2 (b) |

*água bruta sem pré-tratamento (coagulação/floculação)



Letras minúsculas para filtração convencional e letras maiúsculas para UF na Tabela identificam diferentes grupos estatísticos (Teste Tukey, $p < 0,05$)

A análise estatística revela que a utilização da coagulação/floculação como pré-tratamento tanto da filtração convencional como da UF aumentou a remoção de MON, principalmente quando os parâmetros UV_{254nm} e COD foram avaliados. Apesar das eficiências de remoção de MON no processo de UF com e sem pré-tratamento serem semelhantes, o fouling formado sem o pré-tratamento (controle – 24,6%) foi muito maior quando comparado com a utilização da coagulação/floculação como pré-tratamento com *M. oleifera* (9,2%), ou seja, a coagulação/floculação foi capaz de remover a fração hidrofóbica que é a principal responsável pela formação do fouling (Fan et al., 2001). Além disso, houve uma melhora do fluxo do permeado quando a coagulação/floculação foi utilizada (Figura 2).

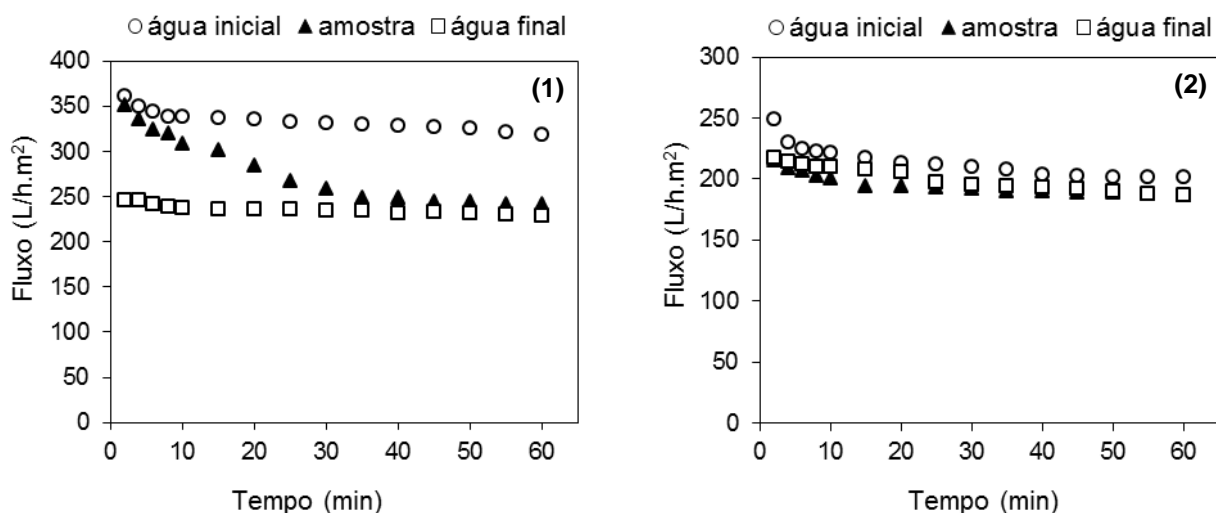


Figura 2 – Fluxo de permeado para água destilada inicial e final e da amostra através da membrana de UF utilizando o (1) controle (água bruta) e (2) o coagulante *M. oleifera*

Franco, Silva e Paterniani (2012), avaliando a filtração com e sem pré-tratamento (coagulação/floculação utilizando a *M. oleifera* como coagulante), observaram que a filtração com o pré-tratamento teve maior eficiência de remoção (89% - turbidez e 86% - cor) se comparadas com a filtração sem o recebimento do mesmo (62% - cor e turbidez).



Esse pequeno fouling da membrana de UF pode ser devido a hidrofobicidade da mesma. Por ser hidrofílica, ou seja, apresentar cargas negativas em sua superfície, consegue ter maior remoção de MON e menor fouling devido à formação de uma torta. Ou seja, de acordo com estudos realizados por Xia et al. (2004), a aplicação da coagulação/floculação pode levar à formação de torta que não só aumenta a capacidade de retenção da membrana, mas também evita que as partículas que causam a obstrução atinjam os poros da membrana.

4 CONCLUSÕES

Dentre os resultados obtidos, a análise estatística indica que as diferentes dosagens para o coagulante *M. oleifera* são estatisticamente diferentes com dosagem ótima de 50 mg/L.

Análise estatística revela que a utilização da coagulação/floculação como pré-tratamento tanto da filtração convencional como da UF aumentou a remoção de MON, principalmente quando os parâmetros UV_{254nm} e COD foram avaliados. Apesar das eficiências de remoção de MON no processo de UF com e sem pré-tratamento serem semelhantes, o fouling formado sem o pré-tratamento (controle – 24,6%) foi muito maior quando comparado com a utilização da coagulação/floculação como pré-tratamento com *M. oleifera* (9,2%), ou seja, a coagulação/floculação foi capaz de remover a fração hidrofóbica que é a principal responsável pela formação do fouling.

É possível dizer que o sistema combinado de coagulação/floculação/UF facilita a eliminação de MON da água. Ao mesmo tempo, o entupimento da membrana é evitado uma vez que a torta formada sobre a membrana pode ser facilmente dispersa através de retrolavagem.

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 superficial fornecidas.



REFERÊNCIAS

- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination for water and wastewater**. 19th ed. Washington, 1995.
- ATES, N., YILMAZ, L., KITIS, M., YETIS, U. Removal of disinfection by-product precursors by UF and NF membranes in low-SUVA waters, **Journal of Membrane Science**, v. 328, p. 104-112, 2009.
- BARBOT, E., MOUSTIER, S., BOTTERO, J.Y., MOULIN, P. Coagulation and ultrafiltration: Understanding of the key parameters of the hybrid process, **Journal of Membrane Science**, v. 325, p. 520-527, 2008.
- 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, p. 102-113, 2004
- FABRIS, R., LEE, E.K., CHOW, C.W.K., CHEN, V., DRIKAS, M. Pretreatments to reduce fouling of low pressure microfiltration (MF) membranes. **Journal of Membrane Science**, v. 289, n. 1-2, p. 231-240, 2007.
- FAN, L., HARRIS, J.L., RODDICK, F.A., BOOKER, N.A. Influence of the characteristics of natural organic matter on the fouling of microfiltration membranes. **Water Research**, v. 35, n. 18, p. 4455–4463, 2001.
- FRANCO, M.; SILVA, G. K.; PATERNIANI, J. E. S. Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 32, n. 05, pp. 989 – 997, 2012.
- LAINE, L. M., CAMPOS, C., BAUDIN, I., JANEX, M. L. Understanding membrane fouling: a review of over a decade of research. **Water Science and Technology**, v. 3, n. 5-6, p. 155–164, 2003.
- 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, n. 11, p. 2338-2344, 2005.
- JUNG, C-W; SON, H-J; KANG, L-S. Effects of membrane material and pre-treatment coagulation on membrane fouling: fouling mechanism and NOM removal, **Desalination**, v. 197, p. 154-164, 2006.
- LIU, T., CHEN, Z., YU, W., SHEN, J., GREGORY, J. Effect of two-stage coagulant addition on coagulation-ultrafiltration process for treatment of humic-rich water. **Water Research**, v. 45, p. 4260-4268.
- MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; SALCEDO, A. M.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa*



oleifera seeds active component for water treatment. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 211, n. 1-4, p. 409-415, 2010.

MANGALE SAPANA, M.; CHONDE, S. G.; RAUT, P. D. Use of *Moringa oleifera* (drumstick) seed as natural absorbent and an antimicrobial agent for ground water treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, v. 1, n. 3, p. 31-40, 2012.

MO, L., HUANG, X. Fouling characteristics and cleaning strategies in a coagulation–microfiltration combination process for water purification. **Desalination**, v. 159, p. 1–9.

MUYIBI, S., A.; EVISON, 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., 1995, “Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*, **Water Research**, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.

NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v. 32, n. 3, p. 781-791, 1998.

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.

OKUDA, T., BAES, A.U., NITSHIJIMA, W., OKADA, M. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed”, *Water Research*, v. 33, p. 3373–3378, 1999.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution, **Water Research**, v. 35, n 2, p. 405-410.

PEIRIS, R.H., HALLE´, C., BUDMAN, H., MORESOLI, C., PELDSZUS, S., HUCK, P.M., LEGGE, R.L. Identifying fouling events in a membrane-based drinking water treatment process using principal component analysis of fluorescence excitation emission matrices. **Water Research**, v. 44, n. 1, p. 185-194, 2010.

RONDEAU, V.; COMMENGES, D.; JACQMINGADDA, H.; DARTGUES, J. F. 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, 2000.

SANCHÉZ-MARTÍN, J., BELTRÁN-HEREDIA, J., PERES, J. A. Improvement of the flocculation process in water treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 29, p. 495-501, 2012.

VICKERS, J.C., THOMPSON, M.A., KELKAR, U.G. The use of membrane filtration with coagulation processes for improved NOM removal. **Desalination**, v. 102, p. 57–61, 1995.



Periódico Eletrônico

Fórum Ambiental

da Alta Paulista

ISSN 1980-0827
Volume 9, Número 11, 2013

Saúde, Saneamento e
Meio Ambiente



XIA, S., NAN, J., LIU, R., LI, G. Study of drinking water treatment by ultrafiltration of surface water and its application to China. **Desalination**, v. 170, pp. 41-47, 2004.

YIN, C. Y. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, pp. 1437–1444, 2010.