



II-046 - A COAGULAÇÃO ASSOCIADA À ULTRAFILTRAÇÃO POTENCIALIZA O FLUXO DE PERMEADO DE EFLUENTE PAPELEIRO?

Jeanette Beber de Souza⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Ludmila Carvalho Neves⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná (UNICENTRO). Mestre em Ciências Florestais pela UNICENTRO. Doutora em Ciências Florestais pela UNICENTRO.

Carlos Magno de Sousa Vidal⁽³⁾

Biólogo pela Universidade São Paulo (USP). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Endereço⁽¹⁾: Rodovia PR 153, Km 7, s/n - Riozinho, Irati – Paraná – CEP: 84500-000 – Brasil. Tel: +55 (42) 3421-3000 - e-mail: jeanettebeber@yahoo.com.br

RESUMO

Foi avaliado se o emprego da coagulação como alternativa de pré-tratamento de efluente de indústria de papel proporciona maior produtividade ao processo de ultrafiltração. Para coagulação/floculação/sedimentação utilizou-se 15 mg.L⁻¹ de coagulante natural a base de tanino, nessa fase o gradiente e o tempo de mistura rápida empregados foram 600 s⁻¹ e 10 s, respectivamente, já o gradiente e o tempo de mistura lenta foram 40 s⁻¹ e 15 min, respectivamente. A velocidade de sedimentação foi 0,6 cm.min⁻¹. O módulo de membrana empregado possui densidade de empacotamento de 300 m²/m³ e as fibras-ocas são constituídas de polietersulfona e possuem massa molar de corte (MMC) de 50kDa. Nessa fase as condições operacionais foram Reynolds de 2043, vazão de alimentação de 144 L/min, pressão de operação de 1 bar e limpeza por retrolavagem a cada 10 minutos (com pulso de duração de 30 segundos). A variável resposta monitorada foi o fluxo de permeado a cada 15 minutos durante 60 minutos de operação. O pré-tratamento avaliado proporcionou aumento de 86,3 % no fluxo de permeado.

PALAVRAS-CHAVE: Colmatação, indústria de papel, processo de separação por membranas.

INTRODUÇÃO

Existe uma tendência mundial para o desenvolvimento de tecnologias avançadas de tratamento de efluentes, os quais permitem elevações significativas na qualidade final dos efluentes, enquadrando-os aos padrões de lançamento e ainda, muitas vezes, sua reutilização no processo produtivo, minimizando o consumo de água potável. Dessa forma, os processos de separação por membranas (PSM), especialmente a ultrafiltração, são descritos na literatura como opções atrativas para tratamento de efluentes em indústrias de papel e celulose (GHOLAMI et al., 2016, GONDER et al., 2011).

Apesar das vantagens, um dos maiores inconvenientes dos PSM é o declínio de fluxo de permeado ao longo do tempo de operação, o qual pode ser afetado por diversos fatores relacionados à alimentação do sistema, o módulo de filtração, as condições operacionais empregadas e principalmente pelo fenômeno de colmatação dos poros das membranas.

Além da diminuição da produtividade da filtração quantificada pelo fluxo de permeado, a colmatação resulta em outros efeitos adversos para o sistema, tais como: aumento da pressão transmembrana (gerando uma maior demanda de energia), biodegradação dos materiais das membranas, diminuição dos intervalos entre as limpezas químicas e redução significativa do tempo de vida útil das membranas (SEIDEL e ELIMELECH, 2002 e KURNIAWAN et al. 2006).

Assim, diversas técnicas podem ser aplicadas em conjunto com os PSM visando mitigar a colmatção, dentre elas a etapa de um pré-tratamento para redução de partículas colmatantes, atenuando, desta forma, a carga de poluentes na fase subsequente.

O processo de coagulação/floculação/sedimentação se destaca entre as alternativa aplicáveis nas estações de tratamento de efluente por seu custo-benefício (Beltrán-Heredia *et al.*, 2010) e por proporcionar significativa remoção de poluentes quando inserida em variados pontos do fluxograma de tratamento (Aboulhassan *et al.*, 2016).

Diante desse cenário, o objetivo desse trabalho foi investigar se o pré-tratamento por coagulação/floculação/sedimentação com o coagulante tanino vegetal, intensifica o fluxo de permeado de efluente papelero em sistema de ultrafiltração (UF).

METODOLOGIA

O efluente empregado neste estudo foi cedido por uma fábrica de papel, localizada na região sul do Brasil. Na estação de tratamento efluente da referida fábrica está presente sequencialmente à etapa de clarificação primária, o sistema de lodos ativados convencional e a lagoa de polimento, sendo as amostras de efluente coletadas na saída da lagoa de polimento.

O processo de coagulação foi realizado utilizando-se o coagulante natural à base de tanino Acquapol S5T, que é um líquido castanho escuro com densidade de 1,07 a 1,17 g/cm³, pH em média de 2,3 e caráter catiônico. Os ensaios foram conduzidos em equipamento do tipo Jar-test.

Na fase de coagulação, o gradiente e o tempo de mistura rápida empregados foram 600 s⁻¹ e 10 s, respectivamente. Na floculação o gradiente e o tempo de mistura lenta empregados foram 40 s⁻¹ e 15 min, respectivamente. A velocidade de sedimentação foi 0,6 cm.min⁻¹. Por fim, a dosagem de coagulante empregada foi de 15 mg.L⁻¹. Tais condições experimentais foram previamente otimizadas, a variável resposta monitorada foi o parâmetro turbidez.

Em relação ao processo de ultrafiltração, a membrana utilizada nesse estudo é de geometria cilíndrica, do tipo fibra-oca, fixada em módulo de policloreto de vinila (PVC). O módulo possui densidade de empacotamento de 300 m²/m³ e as fibras-ocas são constituídas de polietersulfona e possuem massa molar de corte (MMC) de 50kDa.

Na Figura 1 é ilustrado esquematicamente como é realizada a ligação entre o módulo de membrana e o equipamento piloto. A alimentação (efluente bruto) do módulo é feita pela mangueira de cor verde, o permeado (efluente filtrado) passa pela mangueira de cor amarela situada na extremidade inferior do módulo, e o concentrado retorna ao tanque pela mangueira de cor vermelha. A operação é feita pela pressurização da carcaça dos módulos.

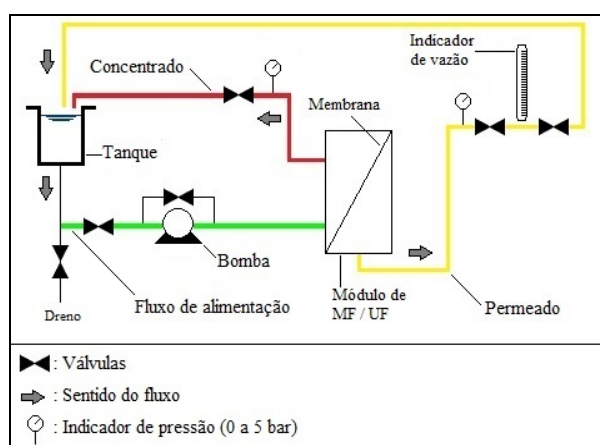


Figura 1. Esquema ilustrativo da unidade de bancada de UF.



No processo de ultrafiltração foram impostas as seguintes condições operacionais: Reynolds de 2043, vazão de alimentação de 144 L/min, pressão de operação de 1 bar e limpeza por retrolavagem a cada 10 minutos (com pulso de duração de 30 segundos). Tais condições experimentais também foram previamente otimizadas, a variável resposta monitorada foi o fluxo de permeado.

Os experimentos foram conduzidos por 60 minutos, e cada 15 minutos foi mensurado os fluxos de permeado. O fluxo de permeado (J) foi conforme a equação 1:

$$J = \frac{V}{A \cdot t} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

V = Volume de permeado recolhido (L);

A = Área filtrante da membrana (m^2);

t = tempo de amostragem (h).

Análise de Dados

Os experimentos foram conduzidos no delineamento hierarquizado com dois fatores, sendo um o processo de ultrafiltração sem o pré-tratamento e outro o processo de coagulação/floculação/sedimentação seguida de UF, como variável resposta avaliou-se o fluxo de permeado.

Todos os experimentos foram realizados em triplicata. As médias de fluxo dos tratamentos foram analisadas no *software* Statistica 10, procedendo-se a ANOVA (Análise de Variância) e o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de fluxo de permeado ao longo do tempo de operação para ambos os tratamentos investigados.

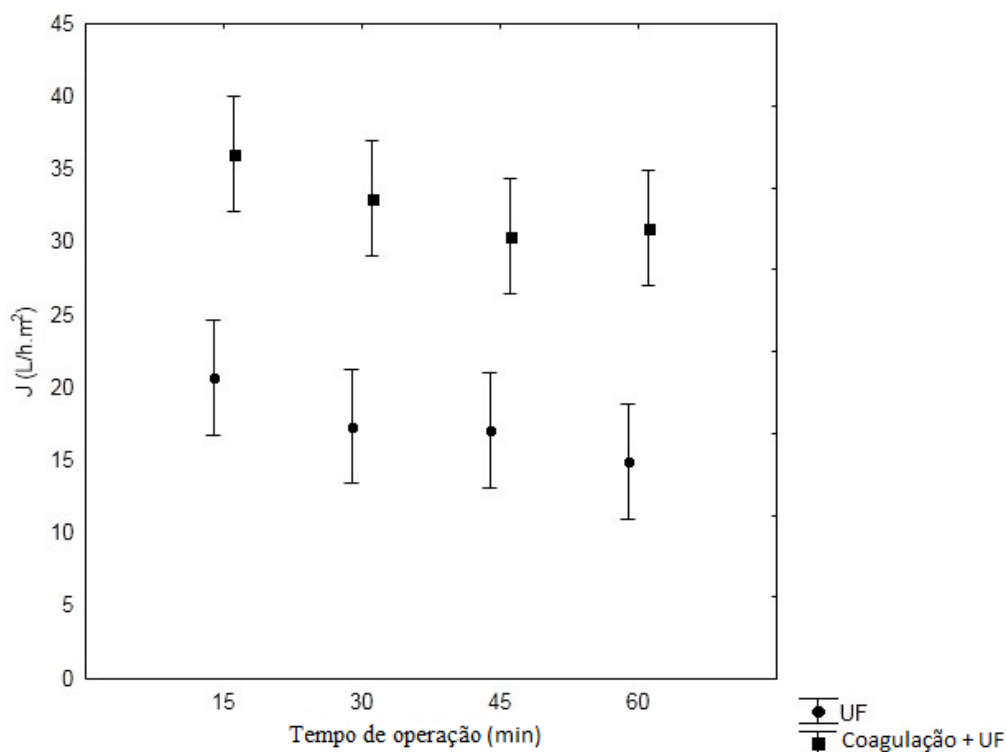


Figura 2. Perfis dos fluxos de permeado do tratamento do efluente por UF e por coagulação seguida de UF.

Diante das curvas expostas na Figura 2 percebe-se a tendência de contínuo decaimento de fluxo de permeado ao longo do tempo, isso ocorre devido ao acúmulo de partículas maiores que os poros sobre a superfície da membrana, tendo como consequência redução da área útil de filtração (CHANG et al., 2016).

Tal observação permite constatar a problemática ambiental envolvendo os efluentes papaleiros, visto que mesmo após o tratamento terciário, inclusive uma das etapas do tratamento composta por pré-tratamento, o efluente ainda contém poluentes com considerável poder de colmatação e de polarização de concentração, os quais não são plenamente controlados pela técnica de limpeza retrolavagem.

Apesar disso, notou-se que do tempo inicial de operação até o momento final houve diferença significativa nos valores de fluxo de permeado entre os tratamentos testados, a média de fluxo na operação somente com UF foi 17,5 L.m².h⁻¹ enquanto que no tratamento de UF seguida de coagulação foi 32,6 L.m².h⁻¹.

Os resultados observados permitem afirmar que a inserção da etapa de coagulação com tanino vegetal antes do processo de UF favoreceu as condições hidrodinâmicas dentro do módulo de membrana, minimizando a intensidade da colmatação dos poros, levando ao aumento de 86,3 % na produtividade do tratamento no mesmo intervalo de tempo.

Sayuri et al. (2016) e Kossar et al., (2013) também investigaram a combinação de UF com tecnologias capazes de desestabilizar partículas coloidais e dissolvidas presentes na matriz de efluentes papaleiros, como a coagulação/floculação/sedimentação e/ou os processos oxidativos avançados, os autores relataram o aumento da capacidade de produção do sistema de ultrafiltração bem como elevação na qualidade do permeado em relação aos parâmetros cor, teor de sólidos e demanda química de oxigênio (DQO).

CONCLUSÃO

O processo de coagulação com tanino, associado ao processo de ultrafiltração aprimora significativamente a produção de efluente tratado em sistema de ultrafiltração.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aboulhassan, M. A., Souabi, S., Yaacoubi, A., Baudu, M. Coagulation efficacy of a tannin coagulant agent compared to metal salts for paint manufacturing wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, v.57, p. 19199-19205, 2016.
2. Beltrán-Heredia, J., Sánchez-Martín, J., Gómez-Muñoz, M. C. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimisation studies. *Chemical Engineering Journal*, v. 162, p. 1019-1025, 2010.
3. CHANG, H.; LIANG, H.; QU, F.; SHAO, S.; YU, H.; LIU, B.; GAO, W.; LI, G. Role of backwash water composition in alleviating ultrafiltration membrane fouling by sodium alginate and the effectiveness of salt backwashing. *Journal Of Membrane Science*, v. 499, p.429-441, 2016.
4. GHOLAMI, M.; SOURAKI, A. B.; PENDASHTEH, A.; MARZOUNIL M. B. Efficiency evaluation of the membrane/AOPs for paper mill wastewater treatment. *Environmental Technology*, v. 38, n. 9, p.1127-1138, 2016.
5. GÖNDER, Z. B.; ARAYICI, S.; BARLAS, H. Advanced treatment of pulp and paper mill wastewater by nanofiltration process: Effects of operating conditions on membrane fouling. *Separation And Purification Technology*, v. 76, n. 3, p.292-302, 2011.
6. KOSSAR, M. J.; AMARAL, K. J.; ERBE, M. C. L. Proposal for water reuse in the Kraft pulp and paper industry. *Water Practice & Technology*, v. 8, n. 3-4, p.359-374, Dez,2013.
7. KURNIAWAN T.; A.; GILBERT Y.S. CHAN, LO, W.; BABEL, S.; Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, v.118, p.83-98, 2006.
8. SAKURAI, K. S.; NEVES, L. C.; SOUZA, J. B.; VIDAL, C. M. S.; SOUZA, V. K. Pós-tratamento de efluente de indústria de papel e celulose empregando membranas de microfiltração e ultrafiltração combinadas com o processo foto-fenton. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 112, p.937-945, Dez, 2016
9. SEIDEL, A.; ELIMELECH, M.; Coupling between chemical and physical interactions in natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes: implications for fouling control. *Journal of Membrane Science*, v.203, p.245-255, 2002.