

## II-156 - PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE FINAL DE INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE EMPREGANDO MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO COMBINADAS COM O PROCESSO FOTO-FENTON

**Karen Sayuri Ito Sakurai<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO, PR). Mestranda em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

**Ludmila Carvalho Neves<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental (UNICENTRO, PR). Mestre em Ciências Florestais. Doutoranda em Ciências Florestais (UNICENTRO, PR).

**Jeanette Beber de Souza<sup>(3)</sup>**

Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO, PR (Programas de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Engenharia Sanitária e Ambiental).

**Carlos Magno de Sousa Vidal<sup>(4)</sup>**

Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO, PR (Programas de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Engenharia Sanitária e Ambiental).

**Kely Viviane de Souza<sup>(5)</sup>**

Doutora em Química pela UFPR. Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO, PR (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Alameda das Hotências, 715, apto 5 - Cidade Jardim – São Carlos – SP – CEP:13566-533 – Brasil – TEL: (16) 9-8149-0208 - e-mail: [sayurisakurai\\_30@hotmail.com](mailto:sayurisakurai_30@hotmail.com)

### RESUMO

As indústrias de papel e celulose geram efluentes com elevado potencial poluidor destacando-se a carga orgânica e a cor, que não são eficientemente removidas nos tratamentos biológicos convencionais nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) dessas indústrias. O presente estudo teve como objetivo o pós-tratamento do efluente de uma indústria de papel e celulose utilizando membranas filtrantes de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) conjugadas ao processo oxidativo avançado (POA) do tipo foto-Fenton. Para tal, foram realizados ensaios de tratabilidade do efluente industrial em instalações de bancada de laboratório e analisaram-se as remoções de turbidez, DQO e cor. Com os resultados obtidos verificou-se que com a UF foi alcançada a melhor eficiência de remoção de cor e também de DQO, e, para os dois tratamentos (MF e UF) a remoção de turbidez foi semelhante, alcançando-se mais de 99% de eficiência nos dois casos. O processo foto-Fenton se mostrou como ótima alternativa ao tratamento complementar dos permeados das membranas de MF e UF, alcançando-se no tratamento MF+POA eficiências de remoção de turbidez, DQO e cor verdadeira respectivamente de 99,04%, 95,97% e 96,43% e no tratamento UF+POA eficiências de 99,90%, 82,58% e 99,49%, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluente de indústria de papel e celulose, microfiltração, ultrafiltração, processo oxidativo avançado, foto-Fenton.

### INTRODUÇÃO

As indústrias de papel e celulose (IPCs) constituem um segmento de grande importância tanto para a economia mundial quanto brasileira. No Brasil, esse segmento industrial está em crescente ascensão e suas exportações contribuem significativamente para o PIB nacional.

O desenvolvimento da indústria de papel e celulose tem uma história importante no Brasil, o País conquistou o mercado internacional pela sua tecnologia silvicultural bem desenvolvida, por suas dimensões territoriais e pelas características de clima e solo. Esse segmento industrial é um dos mais competitivos do País, o padrão de qualidade é equivalente a um dos melhores do mundo, o mercado é globalizado e fortemente ativo. A maioria

da produção de papel vem da celulose de fibras curtas, obtida de madeiras plantadas originadas das áreas de reflorestamento (eucaliptos ou pinus) (CETESB, 2008).

Segundo BRACELPA (2014) o Brasil contribui consideravelmente no mercado mundial de papel e celulose ocupando, em 2012, o 4º lugar como produtor mundial de celulose e o 9º lugar na produção mundial de papel, sendo o maior produtor de celulose de fibras curtas do mundo. O País possui quase 7 mil hectares de áreas de florestas plantadas, equivalendo a 0,8% de sua área total. A produção brasileira de papel cresce em média 5,4 % ao ano e de celulose 7,1% ao ano. Ainda, as IPCs empregam 128 mil trabalhadores diretos (79 mil nas indústrias de 51 mil nas florestas) e 640 mil empregos indiretos.

Em contrapartida aos consideráveis benefícios econômicos a indústria de papel e celulose é responsabilizada pela emissão de poluentes nos estados sólido, líquido e gasoso e, nesse sentido, vêm buscando, atualmente, além do crescimento em produtividade e competitividade, também o desenvolvimento nas questões ambientais, com destaque para os efluentes líquidos gerados nos processos produtivos, que, devido ao elevado volume e características altamente poluentes, se lançados sem o devido tratamento, pode prejudicar severamente a qualidade do corpo d'água receptor (SILVA, 2007).

As IPCs são responsabilizadas por utilizarem enorme quantidade de água em seus processos produtivos, podendo chegar a 100 m³/ton de polpa produzida (SOUZA, 2008), e gerarem efluentes com altos teores de demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos, temperatura, cor, além de poluentes como compostos organoclorados, lignina, metais pesados, resinas, entre outros (CETESB, 2008). Tudo isso leva a uma grande preocupação com a poluição dos corpos hídricos provocadas pelo lançamento desses efluentes, quando indevidamente tratados.

Segundo GLUTEK et al. (1995) as membranas consistem em barreiras seletivas nas quais diversos elementos são separados por tamanho ou por diferença de composição química, através dos poros, limitando a passagem de um componente e permitindo a passagem de outro, podendo esses elementos serem transportados pela diferença de pressão, de temperatura ou de concentração.

A filtração com membranas está sendo adaptada desde a década de 1980 e devido ao aprimoramento dos estudos realizados na área do melhoramento das membranas e dos módulos de filtração essa tecnologia vem se tornando cada vez mais atraente e está sendo largamente utilizada em vários tipos de indústrias, incluindo as indústrias de papel e celulose, devido, entre outros fatores, à elevada capacidade de retenção de poluentes, acarretando em elevada qualidade do efluente final produzido, o que pode possibilitar o chamado “fechamento do circuito de água”, aliado ao baixo requisito de área, facilidade de automação e operação e serem sistemas modulares e flexíveis à alteração de escala.

Além disso, com o contínuo incremento da produção de membranas filtrantes, inclusive nacional, seu uso já é técnica considerada economicamente viável. Segundo OLIVEIRA (2007) o processo de separação com membranas permite a recirculação de água de processo, utilizam pouca energia, pois, na separação não há regeneração dos elementos ou qualquer mudança de fase, além de ter uma ampla especificidade na separação, seja pelo tamanho de sua molécula ou pelo comportamento físico-químico dos elementos envolvidos, sendo assim considerado um processo de produção mais limpa.

Entretanto, apesar dos vários aspectos positivos, essa tecnologia quando aplicada ao tratamento de efluentes possuem algumas desvantagens, como a necessidade de pré-tratamentos do efluente, a necessidade de tratamento do concentrado e a queda do fluxo do permeado com o tempo provocado pela incrustação das membranas, o que pode requerer a troca das membranas a cada 5 anos (RIBEIRO, 2012).

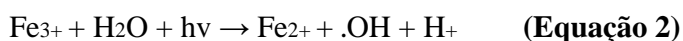
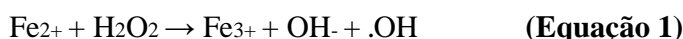
A incrustação das membranas resulta em uma contínua redução do fluxo até um ponto em que o fluxo de permeado se torna independente do gradiente de pressão (FIELD et al., 1995; HOWELL, 1995 apud AMARAL et al., 2013).

Essa incrustação é considerada um fator limitante do processo e no caso do tratamento de efluentes de indústrias de papel e celulose é algo praticamente inevitável (AMARAL et al., 2013).

A retrolavagem é um método de filtração reversa utilizada para minimizar e controlar os efeitos adversos da incrustação e é realizada pelo fluxo inverso do permeado através da alteração da direção da pressão (SILVA, 2000).

Outra alternativa para o tratamento de águas residuárias são os Processos Oxidativos Avançados (POA's), mais usualmente empregados como complementares às técnicas mais usuais de tratamento. Os POA's, Fenton e foto-Fenton, segundo LUCAS *et al.*, (2012), são conhecidos pela sua capacidade de mineralizar grande variedade de compostos orgânicos e pela sua eficácia no tratamento de efluentes com elevado teor de polifenóis como o das IPC's. O foto-Fenton é considerado o mais promissor entre os POA's para o tratamento de compostos orgânicos recalcitrantes em soluções aquosas, pois utilizam os raios UV, que podem ser obtidos pela radiação artificial ou também pela radiação solar, reduzindo, nesse último caso, os custos de processamento e tornando o processo mais acessível.

De acordo com PÉREZ *et al.*, (2002) na reação Fenton os radicais hidroxila  $\text{OH}^\cdot$  são produzidos pela interação do  $\text{H}_2\text{O}_2$  com os íons ferrosos em meio ácido como mostra a Equação 1. A taxa de degradação dos poluentes orgânicos por processo Fenton pode ser aumentada quando há a presença de uma fonte de irradiação, chamado de processo foto-Fenton. Esse efeito positivo é devido à foto-redução do Fe (III) a Fe (II), produzindo novos radicais hidroxilas e regenerando o Fe (II), que ainda podem reagir com mais moléculas de  $\text{H}_2\text{O}_2$  como na Equação 2.



Um fator muito importante na eficiência desses dois processos é o pH do meio, em que valores de pH acima de 3,0 faz com que haja a precipitação do Fe(III) em hidróxido insolúvel e abaixo de 2,5 pode ocorrer o sequestro dos radicais hidroxila pelas altas concentrações de  $\text{H}^+$  (MELO *et al.*, 2009).

Apesar da eficácia em utilizar a radiação UV, o processo foto-Fenton no tratamento de efluentes, além de depender do pH, também depende das concentrações iniciais de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e Fe(II) e da temperatura (XU *et al.*, 2007).

Em busca de melhor qualidade do efluente final de uma indústria de papel e celulose, o presente trabalho teve como objetivo o pós-tratamento desse efluente utilizando membranas filtrantes de microfiltração e ultrafiltração conjugadas ao processo oxidativo avançado do tipo foto-Fenton.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados ensaios de tratabilidade de efluente de uma indústria de papel e celulose empregando membranas de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) e, na sequência, o processo oxidativo avançado (POA) foto-Fenton, no Laboratório de Saneamento Ambiental e Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Ambiental (DENAM) da UNICENTO, PR.

O efluente empregado na pesquisa foi cedido por uma indústria de papel e celulose de grande porte do Estado do Paraná, que, por motivos de sigilo empresarial, não será nominada. Ressalta-se, entretanto, que essa indústria emprega processo biológico de tratamento e sua ETE é composta, em sequência, por: calha parshall, grade, caixa de areia, decantador primário, caixa de mistura de nutrientes, reator biológico aerado de crescimento aderido, tanque de aeração e decantador secundário.

O efluente foi coletado na saída do decantador secundário da ETE, sendo este denominado a partir de agora como efluente bruto.

Os experimentos foram realizados em temperatura ambiente e a caracterização inicial do efluente consistiu das seguintes análises físico-químicas: cor verdadeira, cor aparente, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos totais, pH, DQO e acompanhamento espectrofotométrico na região UV-VIS na faixa de comprimento de onda de 200 a 750 nm, que seguiram os procedimentos recomendados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

Os ensaios de tratabilidade foram realizados na unidade piloto de MF e UF com equipamento de bancada, em escala laboratorial, adquirido da PAM Membranas Seletivas Ltda. O equipamento utiliza o princípio de filtração tangencial e o sentido de filtração é de fora para dentro das fibras.

As membranas de MF e UF constituem-se no formato de fibras ocas e suas principais características estão apresentadas na tabela 1.

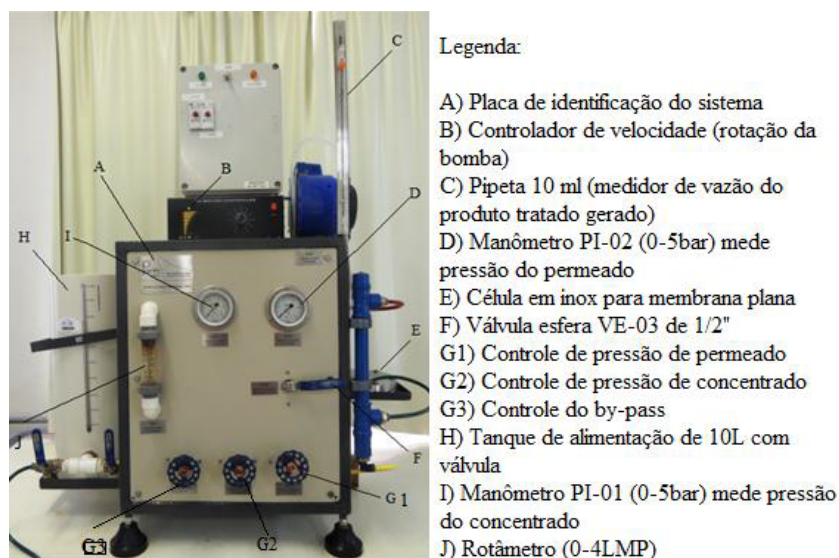
**Tabela 1: Características dos módulos de MF e UF utilizados nos testes.**

PROPRIEDADES	MICROFILTRAÇÃO	ULTRAFILTRAÇÃO
Material das membranas	Poli (éter imida)	Poli (éter sulfona)
Comprimento da fibra (cm)	26	26
Diâmetro de fibra (mm)	25	25
Tamanho médio dos poros	0,4 $\mu$ m	50 kDa
Área de filtração (m <sup>2</sup> )	0,090	0,090

A filtração teve duração de 120 minutos em cada uma das membranas, com as seguintes condições operacionais escolhidas através dos estudos de Neves (2014): número de Reynolds de 2043, pressão de 0,75 bar, vazão de alimentação de 2,4 L/min e frequência de retrolavagem a cada 10 minutos, com pulso de duração de 30 segundos.

Após as filtrações nas duas membranas, foram verificadas as eficiências de remoção dos parâmetros: cor, DQO e turbidez. Nessa mesma etapa foram analisados os perfis de fluxo de permeado durante 120 minutos de operação com cada membrana (MF e UF). O fluxo foi obtido a partir da vazão do permeado empregando-se cronômetro e pipeta com capacidade de 10 mL e convertendo-se para unidade de fluxo L.h<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup> dividindo-se a vazão do permeado pela área da membrana.

Na Figura 1 é apresentada a fotografia da unidade piloto de MF e UF utilizada nos experimentos.



**Figura 1: Fotografia da unidade piloto de MF e UF utilizada nos experimentos.**

Fonte: Neves (2014)

Em etapa posterior da pesquisa, os permeados das membranas de MF e UF foram submetidos ao processo foto-Fenton com 180 minutos de irradiação em luz UV. O reator fotoquímico utilizado foi confeccionado em borossilicato, com 300 mL de capacidade, equipado com refrigeração por meio de água e sistema de agitação magnética com irradiação proporcionada por uma lâmpada de vapor de mercúrio de 125 Watts, inserida na solução com auxílio de um bulbo de vidro Pyrex. Para o processo foto-Fenton abaixou-se o pH do efluente para valores entre 2 e 3, empregou-se H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 200 mg/L e Fe (II) 15 mg/L. O peróxido de hidrogênio foi monitorado durante todo o processo e à medida em que era consumido era feita sua reposição.



Na Figura 2 é apresentada a fotografia do reator utilizado no processo foto-Fenton nos experimentos.

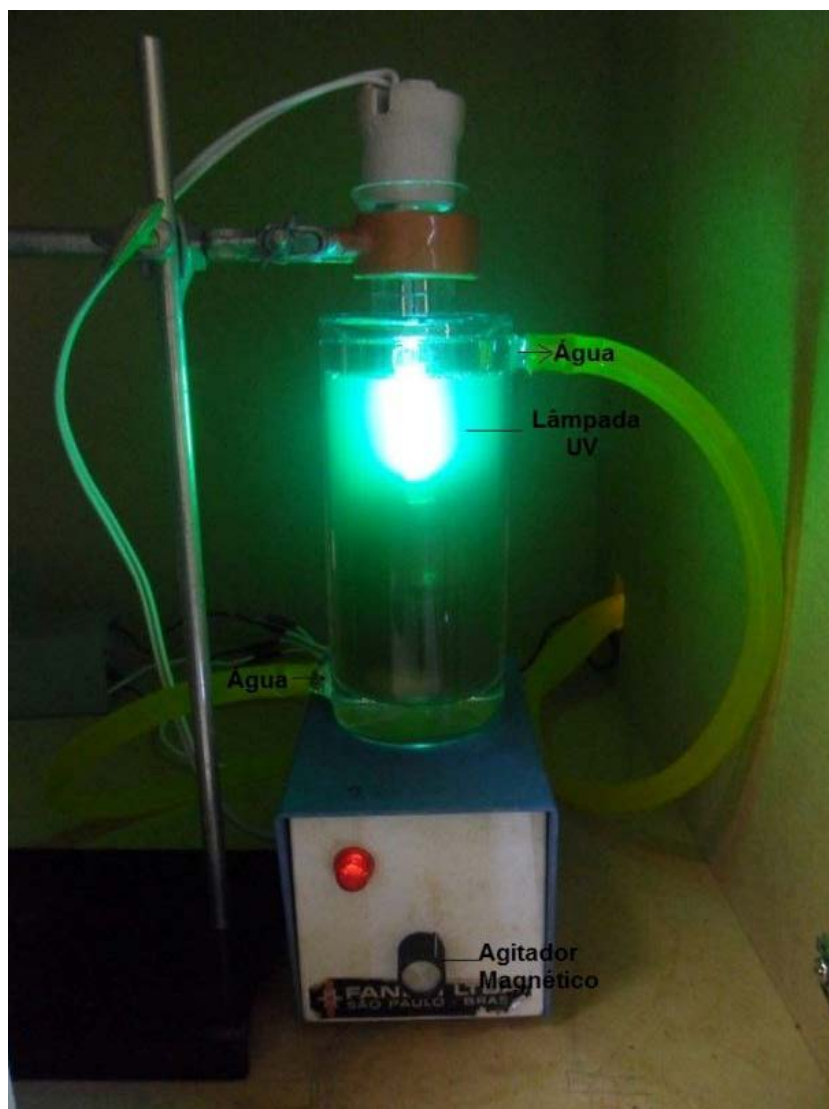


Figura 2: Fotografia do reator foto-Fenton utilizado nos experimentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização físico-química do efluente final da ETE da IPC utilizado na pesquisa são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização físico-química do efluente final da ETE da IPC.

Parâmetros	Valores obtidos
DQO	620 mg/L
Turbidez	288 uT
Cor Verdadeira	392 uC
Cor Aparente	4290 uC
ST	21272 mg/L
SST	223 mg/L
Temperatura	20 °C
pH	7,64

Observa-se que mesmo passando pelo tratamento na ETE da IPC o efluente final ainda apresenta elevados valores de todos os parâmetros analisados.

Na tabela 3 são apresentados os resultados obtidos após 120 minutos de operação nas membranas de MF e UF.

**Tabela 3 – Remoções de turbidez, DQO e cor após as unidades de MF e UF.**

Parâmetro	Efluente Bruto	Permeado da MF	Remoção (%)	Permeado da UF	Remoção (%)
<b>Turbidez</b>	288 uT	0,37 uT	99,87%	1,46 uT	99,49%
<b>DQO</b>	620 mg/L	115 mg/L	81,45%	80 mg/L	87,09%
<b>Cor Verd.</b>	392 uC	215 uC	45,15%	141 uC	64,03%

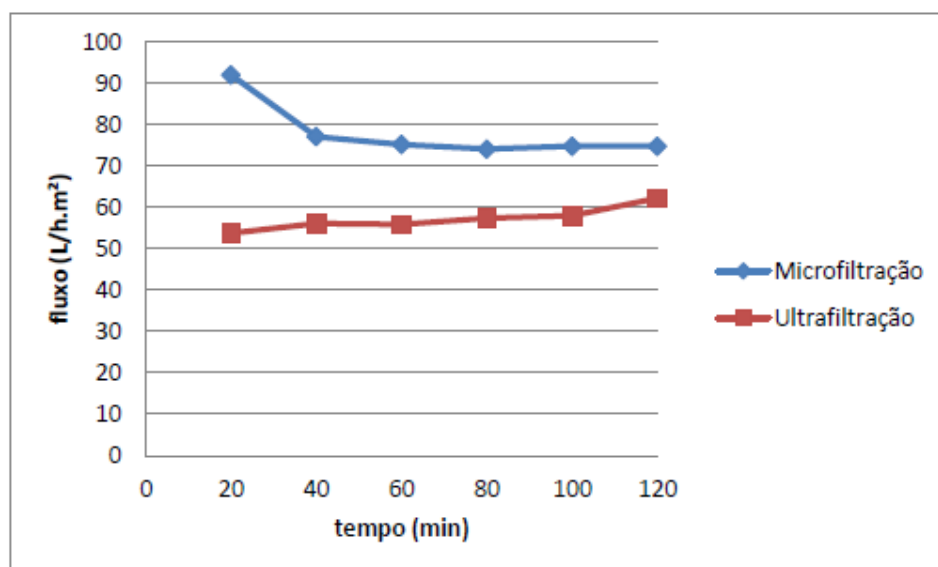
Para as duas membranas as eficiências de remoção de turbidez foram muito elevadas (mais de 99%) uma vez que as características das faixas de tamanhos médios dos poros das membranas utilizadas possibilitaram a retenção efetiva do material em suspensão presente no efluente, que constituem a turbidez.

A remoção de DQO para ambas, MF e UF, diferiu ligeiramente, obtendo-se remoções de aproximadamente 81 e 87% para MF e UF, respectivamente. As membranas agem como barreiras seletivas, impedindo a passagem de partículas com tamanhos maiores que o tamanho médio de seus poros ao permeado, garantindo assim também elevada eficiência de remoção de DQO, embora concentrações residuais ainda tenham permanecido no efluente, haja vista se tratar de um tipo de efluente com grande parcela de matéria orgânica na fase dissolvida.

ALMEIDA (2002) avaliou o emprego de membranas no tratamento do efluente alcalino do branqueamento da polpa de celulose. Nesse estudo realizaram-se testes com diferentes tipos de membranas e a flotação foi empregada como pré-tratamento para a retirada das fibras, tendo sido possível alcançar remoção de turbidez entre 59-89% utilizando a membrana de UF com Massa Molecular de Corte (MMC) igual a 5.000 Da e de 92% para UF com MMC igual a 10.000 Da, além de remoção de DQO de 83% para a UF com MMC entre 5.000 e 12.000 Da, observando-se que os processos testados propiciaram melhoria global nas características do efluente.

No presente estudo, em relação à cor verdadeira, que é principalmente provocada por material em estado dissolvido e coloidal nas formas orgânica e inorgânica, a MF removeu aproximadamente 45% enquanto que a UF 64%, demonstrando que a UF foi mais efetiva que a MF para a retenção da fase dissolvida e coloidal do efluente, o que, no caso das indústrias de papel e celulose, é algo importante, uma vez que a lignina que é um dos principais constituintes responsáveis pela coloração elevada do efluente apresenta-se na fase dissolvida.

Na figura 3 é apresentado o comportamento do fluxo de permeado da MF e da UF, ao longo de 120 minutos de operação na unidade piloto experimental.



**Figura 3: Fluxo dos permeados da MF e UF.**

A partir dos dados apresentados na Figura 3 é possível observar que o fluxo de permeado não se manteve constante e tendeu a diminuir para a MF. Essa redução está ligada à deposição de materiais sólidos presentes no efluente na superfície da membrana, levando à formação de torta de filtro que acarreta na incrustação progressiva das membranas.

Já na UF o fluxo tendeu a aumentar, revelando que a retrolavagem foi eficiente na manutenção do fluxo, possibilitando a eliminação das substâncias incrustantes da superfície da membrana o que é bastante favorável ao tratamento, pois quando o fluxo diminui é necessário adicionar-se mais energia ao sistema de compressão, acarretando em maiores custos globais do processo.

De acordo com AMARAL (2013) o aumento do fluxo observado pode ser explicado devido à temperatura elevada do efluente, uma vez que o aumento da temperatura resulta na diminuição da viscosidade, o que facilita a passagem do efluente pelos poros da membrana e, consequentemente, aumenta o fluxo do permeado.

VIDAL e CAMPOS (2003) estudaram o pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio utilizando a filtração tangencial com esgoto sanitário e verificaram, ao longo do tempo de operação, um aumento da temperatura do efluente, pois, no bombeamento do efluente ocorre atrito do fluxo dentro da membrana, produzindo calor e também resultando em aumento da permeabilidade.

Observou-se que os valores de fluxo de permeado para a MF foram superiores aos da UF, uma vez que as membranas de MF possuem poros maiores que as da UF.

O fenômeno da incrustação das membranas é motivo de grande interesse de ordem prática e deve ser melhor avaliado em trabalhos de pesquisa posteriores.

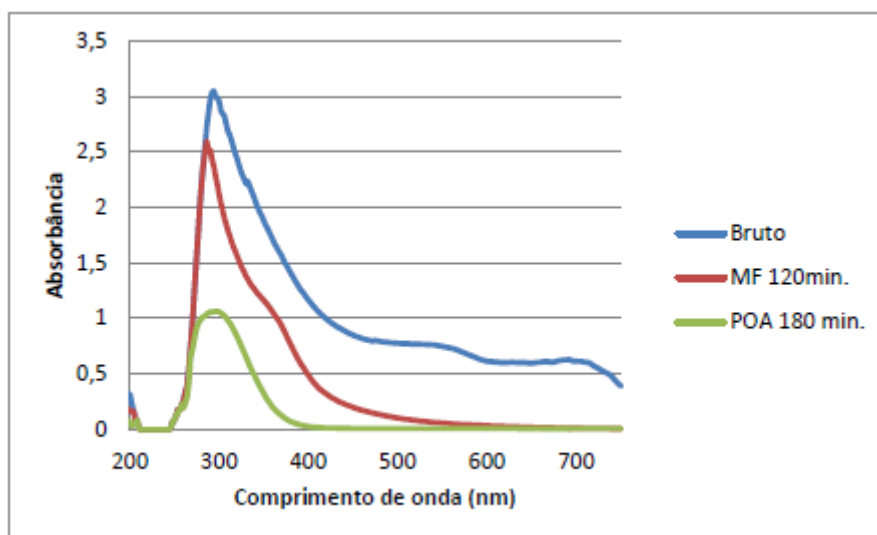
Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos após 180 minutos de operação no reator foto-Fenton com as amostras dos permeados da MF e UF.

**Tabela 4: Permeados das membranas de MF e UF após tratamento com o POA foto-Fenton.**

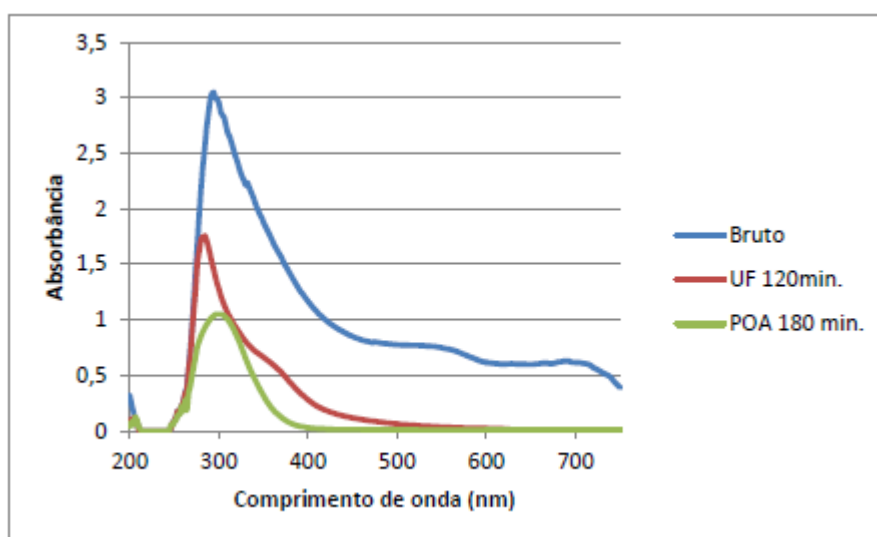
Parâmetros	Efluente bruto	Tratamento MF+POA	Remoção (%)	Tratamento UF+POA	Remoção (%)
<b>Turbidez</b>	288 uT	2,75 uT	99,04%	0,29 uT	99,90%
<b>DQO</b>	620 mg/L	25 mg/L	95,97%	108 mg/L	82,58%
<b>Cor Verd</b>	392 uC	14 uC	96,43%	2 uC	99,49%
<b>pH</b>	7,64	2,43	-	2,44	-

Com a associação do processo foto-fenton às membranas obteve-se expressiva melhora nas remoções de DQO e cor do efluente estudado. Em relação à cor, o processo foto-Fenton com o permeado da UF foi mais eficiente do que com o permeado da MF, alcançando-se quase que a descoloração total do efluente. Empregando-se somente as membranas a remoção da cor não foi tão eficiente quando comparado à combinação dos dois processos, assim, indica-se que o processo foto-Fenton possa ser utilizado como um polimento do efluente final dos PSM's.

Nas Figuras 4 e 5 estão representados os perfis espectrofotométricos do PSM's e POA para MF e UF, respectivamente.



**Figura 4: Acompanhamento espectrofotométrico UV/VIS do PSM e POA foto-Fenton para a MF.**



**Figura 5: Acompanhamento espectrofotométrico UV/VIS do PSM e POA foto-Fenton para a UF.**

Comparando só o PSM na UF obteve-se uma maior redução do perfil espectrofotométrico no intervalo do comprimento de onda entre 200 e 750 nm no tempo final de 120 minutos em comparação com a MF, mostrando que a UF foi mais eficiente tanto na remoção da cor quanto na remoção de material orgânico. As Figuras 4 e 5 mostraram ainda que, tanto na MF quanto na UF, a redução espectral foi ainda superior quando os PSM's foram associados ao POA. A redução da linha espectral na região do visível compreendida entre 350 e 750 nm, em ambos os casos, revelaram uma diminuição praticamente completa da cor, o que pode ser comprovado pelos valores apresentados na Tabela 3. Já o decréscimo da linha espectral na região do UV



abaixo de 350 nm indicou uma redução ainda mais pronunciada da matéria orgânica quando os processos foram associados.

## CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados obtidos tanto a MF quanto a UF proporcionaram resultados muito promissores para a remoção dos parâmetros avaliados nesse estudo, com destaque para a membrana de UF que proporcionou um incremento ainda maior nas remoções de turbidez, cor e matéria orgânica do efluente estudado.

O processo foto-Fenton pode ser empregado como um processo complementar visando melhorar o desempenho dos PSM e, posteriormente, permitir obtenção de efluente com qualidade compatível com padrões de emissão bastante restritivos ou ainda para diferentes finalidades de reúso.

Na melhor condição operacional, a MF propiciou remoções de turbidez, DQO e cor de 99,87%, 81,45% e 45,15% e a UF de 99,49%, 87,09% e 64,03%, respectivamente. Já para os tratamentos combinados obteve-se para MF+POA remoção de 99,04%, 95,97% e 96,43% (turbidez, DQO e cor, respectivamente) e para UF+POA de 99,90%, 82,58% e 99,49% (turbidez, DQO e cor, respectivamente).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, K.M. Tratamento do efluente alcalino do branqueamento da polpa de celulose pelo processo de separação por membranas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
2. AMARAL, M.C.S.; ANDRADE, L.H.; LANGE, L.C.; BORES, C.P. Avaliação do emprego de microfiltração para remoção de fibras do efluente de branqueamento de polpa celulósica. Engenharia Sanitária e Ambiental. V.18; No.1, Rio de Janeiro jan./mar. 2013.
3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19<sup>ed</sup>. Washington: American Public Health Association, 1998.
4. BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel, Relatório anual 2012/2013. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2012.pdf>>
5. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Guia técnico ambiental da indústria de papel e celulose – série P + L. 2008.
6. GLUTEK, B.D.; COTE, P.L.; DEUTSCHMANN, A. Membrane Technology. Zenon Environmental Inc., internal report, 1985.
7. LUCAS, M.S.; PERES, J.A.; AMOR, C.; PRIETO-RODRÍGUES, L.; MALDONADO, M.I.; MALARO, S. Tertiary treatment of pulp mill wastewater by solar photo-Fenton. Journal of Hazardous Materials 225-226. 2012. 173-181p.
8. MELO, S.A.; TROVÓ, A.G.; BAUTITZ, I.R.; NOGUEIRA, R.F.P. Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. *Química Nova*, 32, 188-197, 2009.
9. NEVES, L.C.; Aplicação de microfiltração e ultrafiltração como pós-tratamento de efluente de lodo ativado de uma indústria de papel e celulose. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Centro Oeste, 2014.
10. OLIVEIRA, D.R.; Pré-tratamento do processo de osmose inversa utilizando microfiltração e investigação de técnicas de limpeza e recuperação de membranas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
11. PÉREZ, M.; TORRADES, F.; GARCIA-HORTAL, J.A.; DOMÈNECH, X.; PERAL, J. Removal of organic contaminants in paper pulp treatment effluents under Fenton and photo-Fenton conditions. *Applied Catalysis B: Environmental* 36. 2002. 63-74p.
12. RABELO, M.D. Avaliação da aplicação combinada dos processos foto-fenton e biológico no tratamento de efluentes de indústria de celulose kraft branqueada. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 2005.
13. RIBEIRO, T.F.S.; Avaliação da ozonização e O<sub>3</sub>/UV seguido de membranas para o reúso de efluentes da indústria do petróleo. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
14. SILVA, C.M.; REEVE, D.W.; HUSAIN, H.; RABIE, H.R.; WOODHOUSE, K.A. Model for flux prediction in high-shear microfiltration systems. *Journal of Membrane Science* 73. 2000. 87-98p.

15. SOUSA, C.A.; Tratamento termofílico aeróbio de efluentes de máquina de papel utilizando biorreator a membranas. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 2008.
16. VIDAL, C.M.S.; CAMPOS, J.R. Pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido alimentado com esgoto sanitário utilizando sistema de microfiltração tangencial. In: 22<sup>o</sup> Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, Santa Catarina, 2003.
17. XU, M.; WANG, Q.; HAO, Y. Removal of organic carbon from wastepaper pulp effluent by lab-scale solar photo-Fenton process. Journal of Hazardous Materials 148. 2007. 103-109p.