

# **Série Tecnologia Ambiental**

**Tratamento de Efluentes Empregando Membranas  
Filtrantes – Remoção de Sulfatos**

**PROVISÓRIA**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Dilma Vana Rousseff**

Presidente

**Michel Miguel Elias Temer Lulia**

Vice-Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**Clelio Campolina Diniz**

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação

**Alvaro Toubes Prata**

Secretário-Executivo

**Kayo Julio Cesar Pereira**

Coordenação-Geral das Unidades de Pesquisa

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Fernando Antonio Freitas Lins**

Diretor

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Minerais

**Claudio Luiz Schneider**

Coordenador de Processos Minerais

**Cosme Antônio de Moraes Regly**

Coordenador de Administração

**Francisco Wilson Hollanda Vidal**

Coordenador de Apoio Tecnológico às Micro e Pequenas Empresas

**Jackson de Figueiredo Neto**

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação

**Ronaldo Luiz Correa dos Santos**

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

# **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-8261-027-5

**STA - 75**

## **Tratamento de Efluentes Empregando Membranas Filtrantes – Remoção de Sulfatos**

**Ivan Ondino de Carvalho Masson**

Eng. Químico, D. Sc. em Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos, Pesquisador– CETEM/MCTI.

**Flávio de Almeida Lemos**

Eng. Químico, D. Sc. em Ciências dos Materiais, Pesquisador/Bolsista PCI – CETEM/MCTI.

**CETEM/MCTI**

2014

## **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**Luis Gonzaga Santos Sobral**

Editor

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Subeditora

### **CONSELHO EDITORIAL**

Mariza Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos A. da Costa (UERJ), Fátima Maria Z. Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (PETROBRÁS), Luis Enrique Sánches (EPUSP) e Virginia S. Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

**Valéria Cristina de Souza**

Coordenação Editorial

**Valéria Cristina de Souza**

Editoreção Eletrônica

**Andreza Milheiro**

Revisão

---

Masson, Ivan Ondino de Carvalho

Tratamento de efluentes empregando membranas filtrantes-remoção de sulfatos / Ivan Ondino de C. Masson, Flávio de Almeida Lemos. —Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

29p. (Série Tecnologia Ambiental, 75)

1. Tratamento de efluentes. 2. Membranas filtrantes. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Masson, Ivan Ondino de Carvalho. III. Lemos, Flávio de Almeida. IV. Título. V Série.

---

CDD – 622.7

## **SUMÁRIO**

<b>RESUMO</b>	<b>7</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>8</b>
<b>1   INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2   REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>11</b>
<b>3   SELEÇÃO DE MEMBRANAS COMERCIAIS DE NANOFILTRAÇÃO PARA REMOÇÃO DE SULFATOS</b>	<b>19</b>
<b>4   CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>25</b>
<b>5   CONCLUSÕES</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>26</b>



## **RESUMO**

A implantação de legislações ambientais mais restritivas assim como a crescente escassez dos recursos hídricos, vem impulsionando as indústrias de mineração a desenvolver tecnologias de descontaminação para a reciclagem dos efluentes gerados.

O tratamento de efluente empregando a técnica de precipitação química, geralmente produz soluções com elevada salinidade que dificulta o reuso no processo industrial. Além disso, a precipitação química gera um volume elevado de resíduo que na maioria dos casos necessita ser estocado em bacias de contenção em função de sua toxicidade.

Os avanços ocorridos nos últimos anos no desenvolvimento de membranas filtrantes (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa), tornam essa tecnologia uma alternativa viável no tratamento de efluentes industriais, quando comparada como aos métodos convencionais.

O presente trabalho apresenta um estudo do emprego de membranas de nanofiltração no tratamento de um efluente industrial de uma usina de produção de zinco eletrolítico. Os permeados obtidos nos testes empregando membranas de nanofiltração comerciais mostram rejeições de sulfatos de magnésio e cálcio superiores a 98%, além remoção de íons de metais pesados.

O efluente tratado pode ser reutilizado em qualquer ponto da unidade industrial visto que a sua composição é semelhante a da água de alimentação do processo

### **Palavras-chave**

Osmose reversa, nanofiltração, efluentes industriais, sulfatos.

## **ABSTRACT**

The implementation of more stringent environmental regulations and the increasing scarcity of water resources, has been pushing mining industries to develop decontamination technologies aiming at recycling of effluents.

The wastewater treatment using the chemical precipitation technique, generally produces solutions with high salt content which makes it difficult to be reused on the industrial process. Furthermore, chemical precipitation generates a high volume of waste that in most cases need to be stored in containment basins regarding toxicity levels.

The progress made in recent years in the development of filtering membranes technologies (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis), make this technology a viable alternative for the treatment of industrial effluents, as compared to conventional methods.

This paper presents a nanofiltration membranes employment study using an industrial effluent of an electrolytic zinc production plant. The permeate obtained in the tests using commercial nanofiltration membranes showed rejection percentage of magnesium sulfate and calcium greater than 98%, besides the removal of heavy metal ions. Those aforementioned results show that treated wastewater using such membrane could be reused at any point of the plant since its composition is quite similar to the process feed water.

### **Keywords**

Industrialwaste water, nanofiltration, sulphate.

## 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente as indústrias estão encontrando sérios problemas relativos ao suprimento de água e aos crescimentos dos custos de tratamento dos efluentes gerados em suas unidades. Por este motivo, tem aumentado na literatura estudos relativos ao reuso de efluentes industriais (VAN DER BRUGGEN e BRAEKEN, 2005), envolvendo técnicas de uso de membranas filtrantes, processos oxidativos avançados (POA) e adsorção em carvão (NGHIEM e SCHÄFER, 2006)

Recentemente, o Serviço de Tecnologias Limpas (SETL) do Centro de Tecnologia Mineral desenvolveu um projeto para a reciclagem de efluente de uma usina de produção de zinco eletrolítico.

Esta unidade empregava a precipitação química com hidróxido de cálcio e sulfeto de sódio nas estações de tratamento efluentes (ETE). Apesar dessa rota adequar o efluente aos padrões requeridos pelo Órgão Ambiental local, não permite sua reciclagem devido a elevada concentração de sulfato de magnésio, elemento deletério ao processo eletrolítico.

Na hidrometalúrgia do zinco, o sulfato de magnésio representa um grave problema, visto não ser eliminado em nenhuma das etapas de purificação da solução. Por experiência de cerca 13 anos no acompanhamento da produção de zinco eletrolítico verificou-se que concentrações de magnésio acima de 15 g/L além de aumentar o consumo energético específico, acarretava um depósito mais poroso, aumentando significativamente a geração de escória, na etapa de fusão das placas para formação dos lingotes.

O íon sulfato,  $SO_4^{2-}$ , é um dos principais ânions presente em águas naturais. A maioria dos sulfatos é solúvel em água, com exceção aos de chumbo, bário e estrôncio. A ingestão de quantidades significativas de sulfato pode causar ao ser humano efeitos laxantes. O cátion associado ao sulfato pode afetar essa propriedade, por exemplo, o sulfato de cálcio tem um efeito menor que os de magnésio ou sódio. Além disso, concentrações de sulfato acima de 400 mg/L provoca sabor desagradável a água potável.

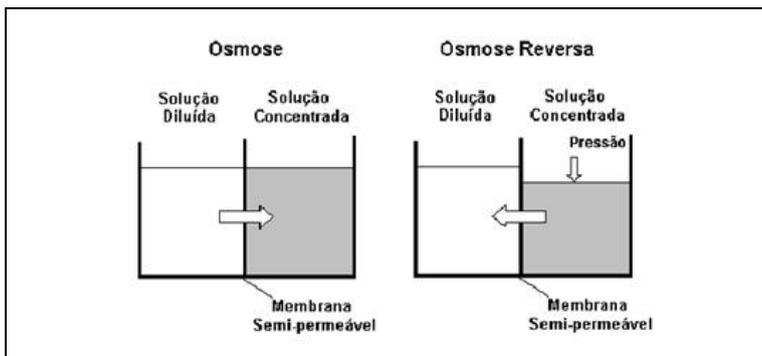
A resolução nº 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece um limite máximo de 250 mg/L de sulfato nas águas da classe especial e classes I, II e III, que podem ser destinadas ao consumo humano, após desinfecção ou tratamentos convencional ou avançado. Contudo, esta resolução não fixa limites para emissão de sulfatos em corpos receptores.

Os processos conduzidos por membranas sob pressão são caracterizados pelo seu baixo consumo energético específico. Por se tratar de uma separação mecânica sem mudanças de fases ou temperatura, geralmente é um dos processos energeticamente menos intensivo, quando comparados com outras tecnologias.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O primeiro relato do fenômeno atualmente conhecido como osmose, processo no qual há a difusão da água através de uma membrana semi-permeável, movendo no sentido de uma solução mais diluída, para uma solução mais concentrada foi realizado em 1748 pelo físico francês Jean Antoine Nollet. Dois séculos depois pesquisadores verificaram que aplicando pressão ou vácuo, o fluxo de água poderia ser invertido possibilitando a remoção de sais, vírus, pesticidas e muitos compostos orgânicos de soluções contaminadas, conforme ilustrado na Figura 1.

Dentre os diferentes tipos de processos empregando membranas filtrantes, somente a nanofiltração e a osmose reversa podem adequar os efluentes de processos hidrometalúrgicos.



**Figura 1.** Diagrama esquemático de osmose e osmose reserva.

As membranas de microfiltração geralmente apresentam poros que variam entre 0,1 a 2,0  $\mu\text{m}$  e operam em pressões abaixo de 5,0 bar. Elas são empregadas para a remoção de sólidos em suspensão, emulsões e microorganismos que sejam

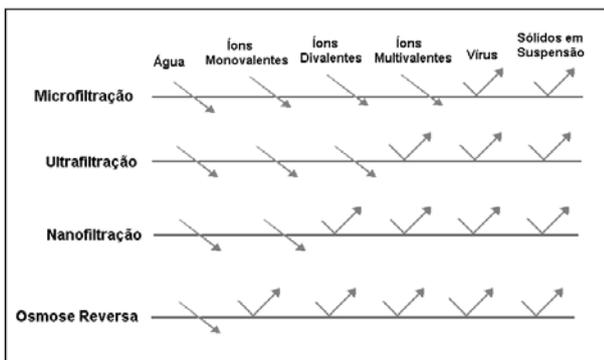
maiores que os poros. Por outro lado, as membranas de ultrafiltração são capazes de remover macromoléculas de peso molecular variando entre 1.000 a 100.000 Da e operam em faixa de pressão de 2 a 8 bar. A ultrafiltração também atua como uma barreira de desinfecção para remover bactérias e vírus (BENÍTEZ *et al*, 2008).

Contudo, as membranas de ultrafiltração não são capazes de remover espécies de baixos pesos moleculares e compostos solúveis. Nesses casos, as membranas nanofiltração conseguem rejeitar compostos orgânicos com peso molecular na faixa de 200 a 500 Da e íons divalentes e operam em pressões na faixa de 10 a 30 bar.

Para soluções contendo elevadas pressões osmóticas e na remoção de íons monovalentes, tais como na desalinização da água do mar, deve ser empregado membranas de osmose reversa que operam entre 50 a 100 bar. A Figura 2 apresenta a rejeição de diferentes materiais para os diferentes tipos de membranas.

A consolidação do emprego de membranas de nanofiltração no tratamento de água ocorreu nos idos de 1980 (SAYED *et al*. 2007). É um processo intermediário entre a osmose reversa e a ultrafiltração. A nanofiltração é uma tecnologia promissora para a rejeição de íons de metais pesados em efluentes industriais, tais como: níquel, cádmio, cromo, cobre, zinco e arsênio. O processo de rejeição de uma membrana de nanofiltração envolve principalmente a interação eletrostática entre a membrana e soluto na superfície da membrana e tamanho de exclusão dos poros (MURTHY e CHAUDHARI, 2008).

O aumento da temperatura do efluente, dentro dos limites de operação da membrana, acarreta um aumento no fluxo de permeado de 3% / °C. Contudo, para um fluxo de permeado constante, o incremento da temperatura promove redução na retenção do sal (NILSSON *et al*, 2008).



**Figura 2.** Rejeição de matérias para diferentes tipos de membranas filtrantes.

O desempenho de uma referida membrana pode ser medido pela rejeição de um determinado sal e o fluxo de permeado. A rejeição do sal pode ser expresso de uma forma simplificada pela equação (1) (FEINI *et al*. 2008).

$$R = \left[ 1 - \frac{c_p}{c_b} \right] \times 100 \quad [1]$$

onde  $c_p$  e  $c_b$  são as concentrações do permeado e do efluente respectivamente.

Assumindo que não ocorra nenhuma obstrução na membrana, o fluxo de permeado pode ser expresso pela seguinte equação (2):

$$J_w = \frac{\Delta P - \pi}{\eta R_m} \quad [2]$$

onde  $J_w$  é fluxo de permeado estimando o emprego de água pura,  $\Delta P$  é a perda de pressão através da membrana,  $\eta$  a viscosidade do permeado,  $R_m$  a resistência da membrana e  $\pi$  a pressão osmótica. Desta forma, quanto maior for a pressão osmótica do efluente menor será o fluxo de permeado.

Na literatura são encontrados poucos trabalhos que tratam do reuso de efluentes da indústria minero-metalúrgica empregando membranas filtrantes de nanofiltração e osmose reversa, principalmente focando o processo de transferência de massa e medidas para prevenir incrustação na superfície das membranas conhecida como “fouling” (FEINI *et al*, 2008)

As membranas de nanofiltração e osmose reversa podem ser facilmente obstruídas por matérias coloidais, orgânicos e sais inorgânicos presentes em elevadas concentrações no efluente. A acumulação ou adsorção de materiais na superfície ou no interior da matriz da membrana resulta em perda no desempenho do processo de separação ao longo do tempo, resultando em aumentos significativos nos custos de capital e operação da unidade de tratamento de efluentes (KIM *et al*. 2008).

Os mecanismos de obstrução nas membranas filtrantes podem ser classificados em “bio-fouling”, “fouling” inorgânico (ou acúmulo de cálcio também denominado de “scaling”) e “fouling” particulado. Enquanto que a obstrução da superfície

da membrana por sais de cálcio podem ser controladas pelo ajuste do pH da solução e adição de antiincrustantes. A prevenção a colóides, matéria orgânica e o “bio-fouling” é mais complexa e geralmente requer intensivas etapas de pré-tratamento do efluente (PONTIÉ, *et al*, 2005).

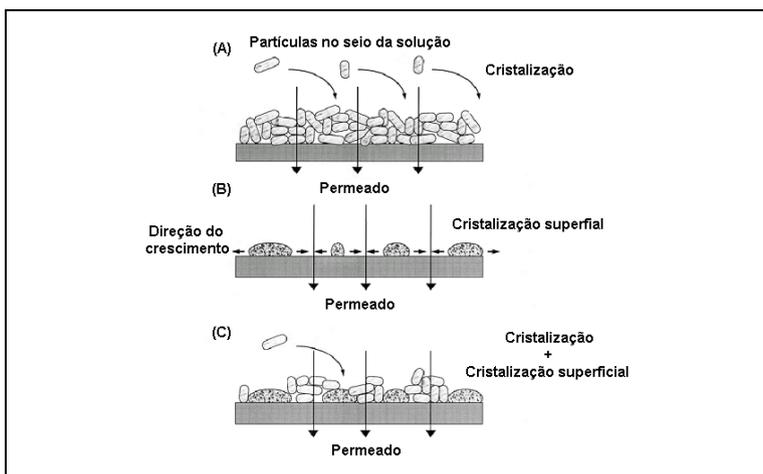
O “fouling” inorgânico é o fenômeno mais importante que afeta a eficiência dos processos de osmose reversa e de nanofiltração, causando decréscimo do fluxo de permeado decorrente do bloqueio da superfície da membrana. O “fouling” afeta também o fator de recuperação de permeado, que está limitado pela solubilidade do sal presente no rejeito.

O sulfato de cálcio, comumente encontrado em efluentes de processos hidrometalúrgicos, precipita em seis diferentes fases sólidas. Em temperatura ambiente o gesso é a mais comum delas, as demais fases ocorrem por desidratação do gesso em temperaturas relativamente elevadas. O produto de solubilidade do  $\text{CaSO}_4$  é fortemente influenciado pela força iônica total da solução. À 25°C para o sal puro é de  $1,2 \times 10^{-6}$ .

A cinética da precipitação do sulfato de cálcio está relacionada com a qualidade do efluente. Quanto mais contaminantes presentes na solução, mais rápida será a precipitação do  $\text{CaSO}_4$ . Além disso, elevados índices de supersaturação também interferem no processo de nucleação do sal.

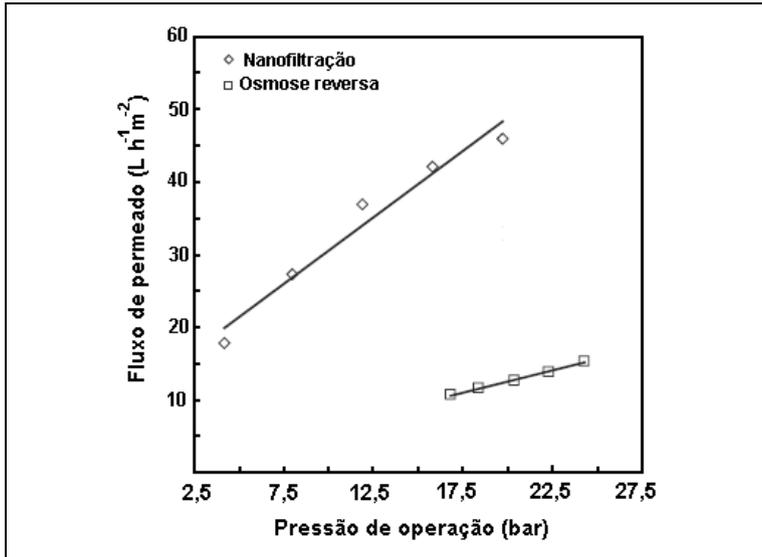
Há duas formas para explicar o declínio do fluxo de permeado devido à precipitação de sais em membranas de osmose reversa e nanofiltração: a formação de uma camada de torta pela cristalização ocorrida no seio da solução (cristalização homogênea) e o bloqueio da superfície devido à cristalização superficial (cristalização heterogênea). A Figura 3 ilustra a formação desses mecanismos de cristalização.

O desenvolvimento de novos materiais para a confecção da membrana visa melhorar a rejeição do soluto e o simultâneo aumento do fluxo de permeado, além de produtos que apresentem maior resistência química, térmica e mecânica e minimizar o “fouling” (KHEDR, 2008).



**Figura 3.** Formas de cristalização em uma membrana filtrante.

O fluxo de permeado é um parâmetro importante no projeto e na análise da viabilidade de um processo empregando membranas filtrantes. Após o nível desejado de rejeição do soluto ser atingido, o fluxo de permeado se torna o parâmetro principal na otimização do processo de separação. Elevados fluxos de permeado requerem unidades com áreas de filtração menores para uma mesma quantidade de efluente a ser tratado. No trabalho de ZUO *et al.* (2008) pode ser visto que tanto para membranas de nanofiltração e osmose reversa o fluxo de permeado aumenta linearmente com o incremento da pressão de trabalho, como pode ser verificado no gráfico da Figura 4.



**Figura 4.** Variação do fluxo de permeado com o aumento da pressão de operação para membranas de nanofiltração e osmose reversa (ZUO *et al.* 2008).

As membranas de nanofiltração são carregadas negativamente em soluções neutras ou alcalinas e positivamente em meios ácidos e apresentam um ponto isoelétrico em uma determinada faixa de pH. Quando o pH da solução for igual ao ponto isoelétrico da membrana a atração eletrostática entre a membrana e os íons contidos na solução, pode ser considerada nula. Desta forma, a permeação dos íons neste ponto se torna mais difícil, diminuindo então a rejeição dos contaminantes. Contudo, o pH da solução tem pouca influência no fluxo de permeado (WANG *et al.*, 2007)

A limpeza de membranas de nanofiltração tem se tornado uma área de investigação. A limpeza física envolve operações de lavagem em concorrente ou contracorrente com água, esfregação, aspersão de ar, vibração ou ultrassom. Na limpeza química, ocorrem reações químicas, tais como: hidrólise, saponificação, solubilização, dispersão, quelação e peptização. Os fabricantes de membranas desenvolvem estratégias e materiais específicos para limpeza das membranas filtrantes. Contudo, o procedimento de limpeza depende fundamentalmente das características físico-químicas da solução de alimentação.

### **3 | SELEÇÃO DE MEMBRANAS COMERCIAIS DE NANOFILTRAÇÃO PARA REMOÇÃO DE SULFATOS**

A unidade industrial estudada utiliza o processo de precipitação química para o tratamento do seu efluente. Deve-se salientar que esta rota apresenta algumas desvantagens, tais como: elevado consumo de agente neutralizante; geração de um expressivo volume de resíduo contendo metais pesados e produção de um efluente com elevada concentração de sulfato de cálcio que poderá acarretar entupimentos em tubulações, pelo acúmulo de gesso

A Tabela 1 apresenta os resultados de ensaios de neutralização com hidróxido de cálcio de um efluente industrial gerado em uma unidade de produção de zinco eletrolítico, obtidos em uma unidade piloto de precipitação química. A elevação do valor do pH promove um aumento da remoção, conforme descrito no diagrama da Figura 3.

O emprego de membranas filtrantes no tratamento de efluentes contendo elevadas concentrações de sulfatos se mostra uma alternativa viável.

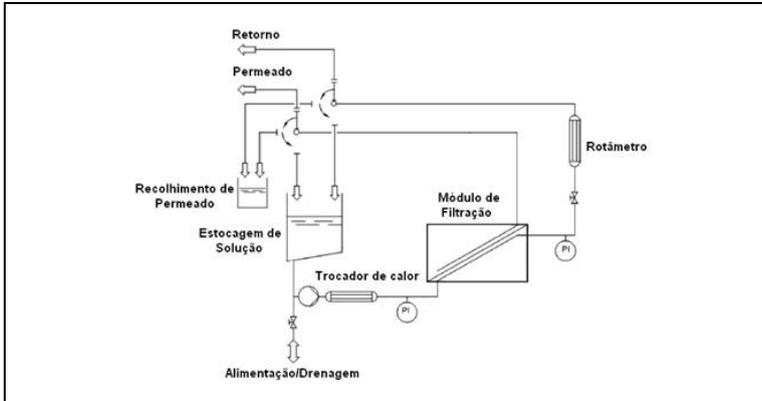
**Tabela 1.** Composição química do efluente com a variação do pH, empregando hidróxido de cálcio como agente neutralizante.

pH do Efluente	Composição do Efluente (mg/L)				
	Ca	Mg	Cd	Zn	
9,0	502	1500	0,20	0,49	6598
9,5	478	1096	0,17	0,09	6053
10,0	507	132	0,01	0,18	1875
10,5	511	12	0,01	0,05	1330
11,0	548	2,2	0,01	0,15	1315
11,5	580	1,39	0,01	0,39	1250
12,0	754	0,44	0,01	0,37	1210

Os testes para seleção de membranas de nanofiltração foram realizados no laboratório do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN). O limite de pressão do equipamento utilizado é de 80 kg/cm<sup>2</sup>.

O módulo de filtração é constituído por uma bomba de alta pressão, rotâmetro, manômetro e tanque para estocagem com capacidade para 10 litros de solução. O sistema hidráulico oferece como opção à recirculação do rejeito gerado para o tanque de alimentação, sendo provido de um trocador de calor para manter a temperatura do efluente constante. A membrana filtrante ficou acondicionada em uma célula de aço inoxidável com área útil de 0,0120 m<sup>2</sup>. Na célula o tipo de fluxo empregado foi o cruzado, pois evita a concentração por polarização na superfície da membrana, reproduzindo assim com mais precisão as condições encontradas nas membranas espirais comerciais.

A Figura 5 mostra um fluxograma simplificado do sistema de membrana filtrante empregado por NILSSON *et. al.* (2008), que foi semelhante ao empregado nos ensaios realizados no Instituto de Energia Nuclear.



**Figura 5.** Fluxograma simplificado de um sistema empregando membranas filtrantes.

A Tabela 2 mostra algumas características das membranas de nanofiltração comerciais, fornecidas pela Osmonics, que foram selecionadas para os testes. Elas são indicadas para as seguintes aplicações: redução dos valores de DBO/DQO, remoção de metais pesados, tratamento de efluentes de eletro galvanização, purificação de ácidos (YMDKSP3001 e YMDLSP3001) e abrandamento de água (YMHLS3001).

O emprego de membranas de nanofiltração permitiria a reutilização do efluente no processo de produção de zinco eletrolítico visto que as concentrações de cálcio, magnésio e sulfato estão dentro do padrão fixado para a água industrial.

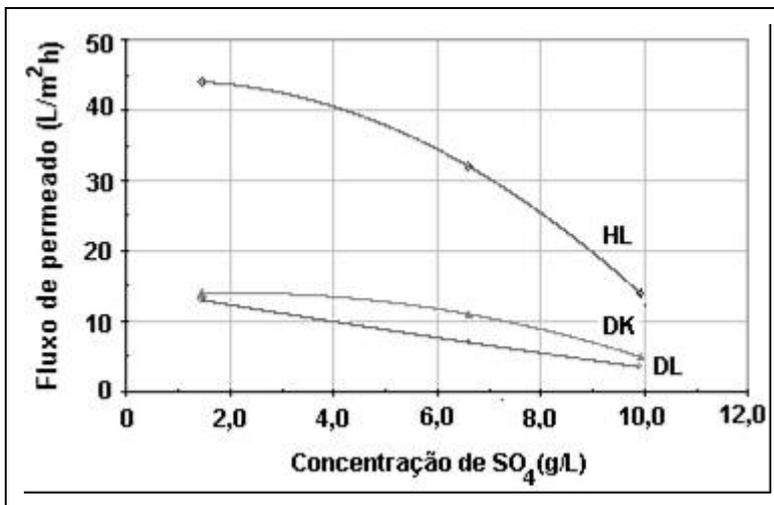
O processo também permite a recuperação significativa do zinco contido no efluente industrial, representando um aumento da eficiência do processo.

**Tabela 2.** Relação de membranas filtrantes planas empregadas nos ensaios em unidade de bancada.

		Composição do Efluente (mg/L)			
		Zn	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>
	Efluente 1	298	429	2320	9980
	Efluente 2	0,49	502	1500	6598
	Efluente 3	0,10	490	17	1460
Tipo de Membrana	Origem da Amostra	Composição do Permeado (mg/L)			
		Zn	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>
HL	Efluente 1	13,3	22,4	80,4	364,8
	Efluente 2	0,04	16,3	19,6	119,3
	Efluente 3	0,03	24,2	0,89	85,6
DL	Efluente 1	14,2	22,4	85,6	349,2
	Efluente 2	0,05	12,2	18,1	95,8
	Efluente 3	0,03	24,5	0,86	39,8
DK	Efluente 1	6,7	12,2	28,9	133,2
	Efluente 2	0,03	8,1	5,1	36,3
	Efluente 3	0,02	16,3	0,32	35,8

Como pode ser observado na Figura 6, ocorreu uma redução significativa do fluxo de permeado com o incremento da concentração de sulfato, que está de acordo com a equação 1.

Os dados obtidos indicam que o fluxo obtido pela membrana YMHLS3001 para um efluente contendo 10 g/L de íons sulfato, foi cerca de 15 L m<sup>2</sup>/h, valor três vezes superior ao obtido com as outras duas membranas.



**Figura 6.** Variação do fluxo de permeado em função da concentração de sulfato do efluente.

Após os processos de separação foram determinadas as composições das incrustações ocorridas nas superfícies das membranas de nanofiltração testadas, empregando difração de raio-X. Como pode ser observado nos resultados da Tabela 3, a formação de sulfato de cálcio deve ser um ponto que requer a realização de estudos e testes complementares visando verificar a necessidade do emprego de antiincrustantes com o finalidade de aumentar o fluxo de permeado e a vida útil das membranas. O emprego de membranas filtrantes também promove a remoção de metais pesados, tais como zinco, cobre e chumbo, contidos no efluente industrial.

**Tabela 3.** Análise de raio-X dos resíduos retidos nas membranas de nanofiltração.

Elementos	Análises dos resíduos retidos nas membranas		
	Efluente 1	Efluente 2	Efluente 3
Principais	S, Mg e Ca	S e Ca	S, Ca
Secundários	Zn	Mg	-
Terciários	Sr e Mn	Sr e Zn	Sr e Si
Traços	Fe, Cu, Si e Pb	Sr, Zn, Fe e Cu	Fe e Cu

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que o emprego de membranas de nanofiltração permite a obtenção de um permeado que pode ser reciclado ao processo de produção de zinco eletrolítico, devido a redução da concentração de sulfato de magnésio na solução ao nível aceitável no processo

A seleção adequada de uma determinada membrana de nanofiltração permite adequar a composição do efluente para as necessidades do processo, com um maior fluxo de permeado, possibilitando projetar unidades de tratamento mais compactas.

A retenção de sulfato de cálcio nas superfícies das membranas pode tornar necessário o emprego de antiincrustantes visando diminuir a quantidade de ciclos de limpeza das membranas, refletindo diretamente nos custos de capital e de operação da unidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENÍTEZ J. F., ACERO J. L., LEAL A. I., REAL F. J. Ozone and membrane filtration based strategies for the treatment of cork processing wastewaters *Journal of Hazardous Materials*, vol. 152, i. 1, 21, p. 373-380, 2008.
- FEINI L., ZHANG G., MENG Q., ZHANG H. Performance of nanofiltration and reverse osmosis membranes in metal effluent treatment *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 16, I. 3, p. 441-445, 2008.
- KHEDR M. G. Membrane methods in tailoring simpler, more efficient, and cost effective wastewater treatment alternatives. *Desalination*, vol. 222, i.1-3, 1, p. 135-145, 2008.
- MURTHY Z.V.P., CHAUDHARI L. B. Application of nanofiltration for the rejection of nickel ions from aqueous solutions and estimation of membrane transport parameters. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 160, i. 1, 15, p. 70-77, 2008.
- NGHIEM L. D., SCHÄFER A. I.. Critical risk points of nanofiltration and reverse osmosis processes in water recycling applications. *Desalination*, vol. 187, i. 1-3, 5. p. 303-312, 2006.
- NILSSON M., TRÄGÅRDH G., ÖSTERGREN K. The influence of pH, salt and temperature on nanofiltration performance. *Journal of Membrane Science*, vol. 312, i. 1-2, 1. p. 97-106, 2008.
- PONTIÉ M., RAPENNE S., THEKKEDATH A., DUCHESNE J., JACQUEMET V., LEPARC J., SUTY H. Tools for membrane autopsies and antifouling strategies in seawater feeds: a review *Desalination*, v. 181, i. 1-3, 5, p. 75-90, 2005.
- SAYED, S. TAREK, I. DIJKSTRA, C. Optimum operation conditions of direct capillary nanofiltration for wastewater treatment *Desalination*, vol. 214, i. 1-3, 15. p 215-226, 2007.

- VAN DER BRUGGEN B., CORNELIS G., VANDECASTEELE C., DEVREESE I. Fouling of nanofiltration and ultrafiltration membranes applied for wastewater regeneration in the textile industry. *Desalination*. vol. 175, i. 1, 10. p. 111-119, 2005.
- WANG X., LIU J., XU Z., LI, X., ZHANG Y., ZHOU Y., WANG Z. An improved process to prepare high separation performance PA/PVDF hollow fiber composite nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology*, vol. 58, i. 1, 1. p. 53-60, 2007.
- ZUO W., ZHANG G., MENG Q., ZHANG H. Characteristics and application of multiple membrane process in plating wastewater reutilization. *Desalination*, vol. 222, i. 1-3, p. 187-196, 2008.

## SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2010, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

### Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

**STA-74 – Influência da Distintas Formas de Processamento Mineral na Biolixiviação de Metais de Base.** André Luiz Ventura Fernandes, Débora Monteiro de Oliveira, Tatiane Franco Machado e Luis Gonzaga Santos Sobral, 2014.

**STA-73 – Aplicação de Ensaio Biológicos na Avaliação da Biodisponibilidade de Hidrocarbonetos de Petróleo em Solos Impactados.** Andréa Camardella de Lima Rizzo, Lúcia Silveira Sisinho, Cláudia Duarte Cunha, Andréa Medeiros Salgado, Paulo Rubens Guimarães Barrocas, Rodrigo Gouvêa Taketani e Ellen Cristine Giese, 2014.

**STA-72 – Biofilmes: A Interação Micro-organismo/substrato Mineral na Biolixiviação.** Ellen Cristine Giese, 2014.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3865-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.