



# Revista AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica

Volúmen 1, número 3, año 2007 ISSN 0718-378X  
PP

## SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO PARA APLICAÇÕES EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E EFLUENTES INDUSTRIAIS

Synthesis and characterization of microfiltration membranes for application in  
water treatment systems and industrial wastewaters

Priscila Anadão  
Paula Piedade Rabello  
**Francisco Rolando Valenzuela-Díaz**  
**Hélio Wiebeck**  
**Ivanildo Hespanhol**  
**José Carlos Mierzwa**

### ABSTRACT

Face à significativa redução dos custos de sistemas de membranas e dos custos operacionais associados, esta se constitui na tecnologia emergente, a ser adotada pelas companhias de tratamento, para substituir, vantajosamente, as operações unitárias dos sistemas convencionais de tratamento. Como as membranas correntemente usadas, feitas somente de polissulfona, podem apresentar, após certo período de uso, fouling devido a sua baixa hidrofiliabilidade; propõe-se a síntese de membranas nanocompósitas de microfiltração, com base no processo de inversão de fases, utilizando a polissulfona e uma argila hidrofílica. Esta é uma alternativa para aumento da hidrofiliabilidade da membrana, sem prejudicar suas propriedades químicas, fato observado com a adição de grupamentos polares nos anéis aromáticos que constituem a estrutura da polissulfona. Para compreensão da morfologia e classificação das membranas de polissulfona e das membranas nanocompósitas, suas superfícies foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A fim de se estudar a influência da adição de argila na composição das membranas, a porosidade de ambos os tipos de membranas foi calculada.

A resistência térmica foi avaliada por ensaios de calorimetria exploratória diferencial (DSC) e a hidrofiliabilidade foi quantificada por medição do ângulo de contato formado entre a água. Micrografias MEV denotaram a redução dos poros com a incorporação da argila, bem como, a manutenção da porosidade. Medições do ângulo de contato formado entre a água e a superfície das membranas comprovaram o maior caráter hidrofílico das membranas nanocompósitas. E, por fim, curvas de DSC mostraram que as membranas nanocompósitas possuem maior resistência térmica com relação às membranas de polissulfona.



## ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS

### XXX CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

26 al 30 de noviembre de 2006  
Conrad Resort & Casino  
Punta del Este – Uruguay

### SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO PARA APLICAÇÕES EM SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E EFLUENTES INDUSTRIAIS

#### **Priscila Anadão(1,2)**

Bacharel com atribuições tecnológicas e biotecnológicas e licenciada em Química pelo Instituto de Química-USP, premiada com o Prêmio Lavoisier do CRQ ao fim da graduação. Mestre em Engenharia de Materiais pela Escola Politécnica-USP na área de síntese de membranas para tratamento de água e atualmente, é doutoranda na mesma escola.

#### **Paula Piedade Rabello(2)**

Aluna de Iniciação Científica

#### **Francisco Rolando Valenzuela-Díaz(1)**

Professor Doutor

#### **Hélio Wiebeck(1)**

Professor Doutor

#### **Ivanildo Hespanhol(2)**

Professor Titular

#### **José Carlos Mierzwa(2)**

Professor Doutor

**Endereço (1):** Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Escola Politécnica- USP / Av. Prof. Mello Moraes, número 2463 – Cidade Universitária – São Paulo - SP –CEP 05508-900 - Brasil - Tel.: (+5511) 3091-2279 - Fax: (+5511) 3091-2275.

**Endereço (2):** CIRRA (Centro internacional de referência em reuso de água) - Escola Politécnica - USP /Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, número 120 – Cidade Universitária – São Paulo - SP –CEP 05508-020 - Brasil - Tel.: (+5511) 3039-3273. e-Mail:

**priscila.anadao@gmail.com.**

## RESUMO

Face à significativa redução dos custos de sistemas de membranas e dos custos operacionais associados, esta se constitui na tecnologia emergente, a ser adotada pelas companhias de tratamento, para substituir, vantajosamente, as operações unitárias dos sistemas convencionais de tratamento. Como as membranas correntemente usadas, feitas somente de polissulfona, podem apresentar, após certo período de uso, fouling devido a sua baixa hidrofilicidade; propõe-se a síntese de membranas nanocompósitas de microfiltração, com base no processo de inversão de fases, utilizando a polissulfona e uma argila hidrofílica. Esta é uma alternativa para aumento da hidrofilicidade da membrana, sem prejudicar suas propriedades químicas, fato observado com a adição de grupamentos polares nos anéis aromáticos que constituem a estrutura da polissulfona. Para compreensão da morfologia e classificação das membranas de polissulfona e das membranas nanocompósitas, suas superfícies foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A fim de se estudar a influência da adição de argila na composição das membranas, a porosidade de ambos os tipos de membranas foi calculada. A resistência térmica foi avaliada por ensaios de calorimetria exploratória diferencial (DSC) e a hidrofilicidade foi quantificada por medição do ângulo de contato formado entre a água. Micrografias MEV denotaram a redução dos poros com a incorporação da argila, bem como, a manutenção da porosidade. Medições do ângulo de contato formado entre a água e a superfície das membranas comprovaram o maior caráter hidrofílico das membranas nanocompósitas. E, por fim, curvas de DSC mostraram que as membranas nanocompósitas possuem maior resistência térmica com relação às membranas de polissulfona.

**PALAVRAS-CHAVE:** membranas, microfiltração, polissulfona, nanocompósito, tratamento de água.

## INTRODUÇÃO

O papel de ciência e tecnologia de membranas que, atualmente, é indicado como um desenvolvimento sustentável, está se tornando cada vez mais evidente e aceito em níveis políticos e industriais. Apreciando o anúncio do programa de união entre National Science Foundation e Council for Chemical Research, Inc, que apóia projetos de pesquisa em química e engenharia química com o objetivo de reduzir a poluição ambiental, é possível encontrar pesquisas para a melhoria das membranas e suas tecnologias.

Os resultados científicos e tecnológicos alcançados nos últimos trinta anos em operações por membranas justificam a atenção e a expectativa descrita nos projetos do programa de união. A membranologia é considerada um agrupamento de processos de separação diferentes, porém, similares, que oferecem um largo espectro de aplicações, sendo que esta versatilidade não é observada em outras tecnologias existentes. Os processos de separação por membranas têm uma enorme potencialidade, em particular, para contribuir para a solução de alguns dos problemas mundiais mais cruciais, tais como problemas energéticos, rápido aumento na escassez de espécies químicas, tratamento de efluentes industriais, desenvolvimento de uma indústria baseada na química verde e produção de novos organismos artificiais.<sup>1</sup> Por isso, existe um crescente interesse nas pesquisas que

envolvem a síntese de membranas poliméricas e inorgânicas.<sup>2</sup>

Podem-se enumerar como as motivações para o estudo da síntese de membranas a fim de serem aplicadas para o tratamento de água: a redução vertiginosa do custo de construção e operação, tornando a tecnologia de membranas competitiva em relação aos sistemas convencionais de tratamento; também é importante mencionar que os limites para patógenos e de contaminantes químicos em águas para consumo e efluentes de ETE's estão sendo progressivamente reduzidos pelas autoridades pertinentes e finalmente; o esgotamento dos mananciais de água potável próximo aos centros urbanos está forçando o setor de saneamento básico a reconsiderar sua filosofia de operação.<sup>3</sup>

A importância comercial das membranas para tratamento de água pode ser comprovada pela consideração de projeto de módulos de membrana de micro ou ultrafiltração nas concorrências determinadas pela Petrobrás de unidades de desmineralização por osmose reversa. Além disso, em pesquisas projetadas para o mercado mundial de membranas, observa-se que a taxa de crescimento anual, para 2006, prevista para membranas de micro e ultrafiltração será de 14%.<sup>4</sup>

Com o intuito de se baratear mais ainda o processo e torná-lo mais economicamente viável para ser largamente aplicado nas estações de tratamento de água do Brasil, torna-se necessária a fabricação de um produto nacional<sup>5</sup>, já que todas as membranas utilizadas nesse setor são oriundas da importação, não havendo uma política correta de preços, ocasionando na elevação do custo do processo. Assim, deseja-se fundar os alicerces relacionados à sua produção, sendo esta, portanto, a motivação desta pesquisa.

O principal objetivo desta pesquisa é a obtenção de uma membrana de polissulfona, através do método da inversão de fases, com características adequadas para uso em microfiltração e ultrafiltração em tratamento de água.

Ademais, pelo fato de o polímero escolhido não ter hidrofiliabilidade desejada,<sup>6</sup> quando usado em uma membrana filtrante, resultaria em precipitação biológica, que é um fenômeno responsável pelo aumento na resistência ao transporte através da membrana,<sup>7</sup> reduzindo a produtividade de água filtrada;<sup>8</sup> por isso, refletiu-se em realizar modificações químicas no material escolhido. Normalmente, opta-se por modificação da superfície da membrana,<sup>9</sup> como sulfonação por substituição eletrofílica, pois os anéis aromáticos do grupo bisfenol A são ativados por esta reação na eletrofílica na posição orto do grupo sulfona à ligação éter; porém, isto acarretaria em um decréscimo na temperatura de pirólise da membrana. Como a aplicação da tecnologia de nanocompósitos tem demonstrado que, além da propriedade desejada, demais características do material são melhoradas,<sup>10,11</sup> também foi realizada a pesquisa no desenvolvimento de membranas de polissulfonas nanocompósitas com a adição de argila bentonita sódica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A polissulfona da marca Udel P-1700® foi gentilmente cedida pela Solvay Indupa do Brasil.

O solvente NMP foi comprado da Arino's Química Ltda. Como não-solvente para o banho de coagulação, utilizou-se água destilada. Na confecção das membranas nanocompósitas, utilizou-se, também, argila bentonita sódica de Wyoming. O preparo das membranas feitas

somente de polissulfona e das membranas nanocompósitas foi realizado com uma variante do processo de inversão de fases, que se encontra em fase de tramitação no INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial – órgão brasileiro responsável pelo registro de patentes). Por microscopia eletrônica de varredura (MEV), as superfícies, metalizadas com carbono, das membranas de polissulfona e das membranas nanocompósitas foram observadas. Foram obtidas ampliações de 3000 vezes.

A massa por unidade de área e a porosidade total de cada membrana foi determinada usando uma balança analítica. A porosidade ou fração de poros,  $\varepsilon$ , é calculada pela espessura,  $l$ , a área  $A$  e a massa  $m$  das amostras das amostras de membranas pesadas (Eq. 1):

$$\varepsilon = V_{\text{poro}} = V_{\text{tot}} - V_{\text{pol}} = lA - (m/\rho)_{\text{pol}} \quad \text{Equação (1)}$$

$V_{\text{tot}}$   $V_{\text{tot}}$   $lA$

Na qual  $V_{\text{poro}}$  é o volume do poro,  $V_{\text{tot}}$  é o volume total da membrana,  $V_{\text{pol}}$  é o volume do

polímero e  $\rho$  é a densidade do polímero.

No caso das membranas nanocompósitas, a equação acima se transforma em (Eq. 2):

$$\varepsilon = lA - [\tau_{\text{pol}}(m/\rho)_{\text{pol}} + \tau_{\text{arg}}(m/\rho)_{\text{arg}}] \quad \text{Equação (2)}$$

$lA$

Sendo  $\tau_{\text{pol}}$  a proporção em massa de polímero e  $\tau_{\text{arg}}$  a proporção em massa de argila.

A espessura  $l$  foi determinada pelo método dos pontos múltiplos, usando um micrômetro digital.<sup>12</sup> Já a densidade, da PSf pura foi obtida por medição da massa. Uma quantidade conhecida de polímero seco por 24 horas no vácuo a 80 oC foi submerso em água em um frasco de volume conhecido<sup>13</sup>, absorvendo uma quantidade muito pequena de água (0,5% em massa)<sup>14</sup>. Com a variação do volume da água, pôde-se calcular a densidade.

Objetivando a investigação de diferenças na temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) entre as membranas de polissulfona e as nanocompósitas, devido ao aprisionamento das cadeias poliméricas entre as camadas de silicato no último tipo de membrana, realizou-se calorimetria exploratória diferencial (DSC). As curvas de DSC foram obtidas na faixa de temperatura de 25 a 300 oC, utilizando uma célula de DSC-50, marca Shimadzu, modelo DSC-50, sob atmosfera dinâmica de nitrogênio (100 mL/min),  $\beta$  igual a 20 oC/min e massas

de amostra em torno de 10 mg em cápsulas de alumínio totalmente fechadas. Para cada amostra, foram realizadas duas corridas, para garantir a acomodação e homogeneização da amostra.

Por fim, para percepção da diferença de hidrofiliabilidade entre os dois tipos de membranas, ambos foram caracterizados por medições do ângulo de contato entre a água e suas superfícies. O ângulo de contato formado pela água, um indicador de hidrofiliabilidade,<sup>12</sup> foi medido a 22 oC com o aparelho da marca Tanteq, modelo CAM - Micro. Gotas de água destilada eram depositadas na superfície da membrana e era feita a medição direta do ângulo com um goniômetro. Os ângulos de contato da superfície eram, então, determinados, e os ângulos aqui reportados são resultados da média dos valores que estão dentro do desvio padrão das 10 medições realizadas.

Dos valores dos ângulos de contato, as energias livres de hidratação ( $\Delta G_{\text{SW}}$ ) das membranas com água podem ser obtidas, quantificando, pela equação de Young-Dupré

(Eq. 3), a hidrofiliçidade relativa:

$$(1 + \cos\theta)\gamma W$$

$$TOT = -\Delta G_{SW} \text{ Equaç\~ao (3)}$$

Sendo que,  $\theta$  é o ângulo de contato entre a água e a superfície da membrana e  $\gamma W$

TOT é a

tensão superficial da água, possuindo valor igual a 73 mJ.m<sup>-2</sup>.<sup>15</sup> Quanto menor é a energia livre de hidratação, maior será a hidrofiliçidade do material.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Contrapondo a micrografia da membrana feita somente de polissulfona (Figura 1) com micrografias das membranas nanocompósitas (com 2% de argila, figura 2; com 3% de argila, figura 3 e com 5% de argila, figura 4), é possível notar que tamanho dos poros é reduzido com a adição de argila no preparo das membranas. Uma explicação possível para este fato seria a ocorrência de interações hidrofílicas entre o polímero e a argila, estabilizando a solução de PSf/argila/NMP, reduzindo o gradiente de tensão interfacial entre o poro que

está crescendo e a solução de PSf/NMP que o circunda, levando a um decréscimo no tamanho de poros.

O tamanho de poros obtidos para estas soluções está enquadrado na categoria de microfiltração, já que as membranas de microfiltração apresentam poros na ordem de 0,05 a 10  $\mu\text{m}$  e as membranas de ultrafiltração entre 0,001 a 0,1  $\mu\text{m}$ .<sup>16</sup>

**Figura 1: Micrografia MEV para uma membrana resultante da solução de PSf Udel® P-1700/ NMP.**

**Figura 2: Micrografia MEV para uma membrana resultante da solução de PSf Udel® P-1700/ 2%argila/ NMP.**

**Figura 3: Micrografia MEV para uma membrana resultante da solução de PSf Udel® P-1700/ 3% argila/ NMP.**

**Figura 4: Micrografia MEV para uma membrana resultante da solução de PSf Udel® P-1700/ 5% argila/ NMP.**

### Cálculo da porosidade

Na tabela 1, estão os valores de porosidade para as membranas nanocompósitas e para a membrana feita somente de polissulfona para título de comparação.

### Tabela 1: Porosidade das membranas nanocompósitas e para as membranas de polissulfona.

MEMBRANA RESULTANTE DA SOLUÇÃO POROSIDADE (%)

PSf Udel® P-1700/ NMP 69

PSf Udel® P-1700/ 2,0% argila/ NMP 67

PSf Udel® P-1700/ 3,0% argila/ NMP 70

PSf Udel® P-1700/ 5,0% argila/ NMP 72

É possível inferir através da análise da Tabela 1, que a porosidade das membranas nanocompósitas é similar a da membrana feita somente de polissulfona. Por isso, conclui-se que, a adição de argila na composição da membrana não afetará a eficiência de filtração, pois, permitirá uma mesma vazão de água tratada.

### Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As figuras 5 a 8 apresentam as curvas DSC para a membrana feita somente de polissulfona e para aquelas que são nanocompósitas.

150 200 250

Temp [C]

-5.00

-4.00

-3.00

-2.00

-1.00

mW

DSC

-0.60

-0.50

-0.40

-0.30

-0.20

-0.10

mW/min

DrDSC

Onset 159.95 C

Endset 180.24 C

8.70 min

171.03 C

Mid Point

-0.88 mW

-0.10 mW/mg

Transition

**Figura 5: Curva DSC, 2a varredura, para membrana resultante da solução de PSf**

**Udel® P-**

**1700/ NMP.**

150.00 200.00 250.00

Temp [C]

-7.00

-6.00

-5.00

-4.00

-3.00

-2.00

mW

DSC

-1.00

-0.50

0.00

mW/min

DrDSC

**Onset 166.34 C**

**Endset 186.16 C**

**Mid Point 176.16 C**

**-1.06 mW**

**-0.10 mW/mg**

**Transition**

**Figura 6: Curva DSC, 2a varredura, para membrana resultante da solução de PSf**

**Udel® P-**

**1700/ 2,0% argila/ NMP.**

150.00 200.00 250.00 300.00

Temp [C]

-7.00

-6.00

-5.00

-4.00

-3.00

-2.00

mW

DSC

-0.80

-0.60

-0.40

-0.20

0.00

mW/min

DrDSC  
**Onset 165.90 C**  
**Endset 185.44 C**  
**Mid Point 175.64 C**  
**-0.95 mW**  
**-0.09 mW/mg**  
**Transition**

**Figura 7: Curva DSC, 2a varredura, para membrana resultante da solução de PSf**

**Udel® P-**  
**1700/ 3,0% argila/ NMP.**

150.00 200.00 250.00

Temp [C]

-5.00

-4.00

-3.00

-2.00

-1.00

mW

DSC

-0.60

-0.40

-0.20

0.00

mW/min

DrDSC

**Onset 166.71 C**

**Endset 188.18 C**

**Mid Point 177.28 C**

**-0.76 mW**

**-0.08 mW/mg**

**Transition**

**Figura 8: Curva DSC, 2a varredura, para membrana resultante da solução de PSf**

**Udel® P-**  
**1700/ 5,0% argila/ NMP.**

Comparando os valores de Tg obtidos para a membrana feita somente de Udel® P-1700 e para as membranas nanocompósitas, observa-se que a segunda classe de membrana possui Tg maior na ordem de 5 oC. O aumento do valor de Tg para as membranas nanocompósitas pode ser explicado da seguinte forma. Com a intercalação das cadeias poliméricas entre as camadas de argila, o polímero fica protegido pela argila, não sendo degradado com o aumento da temperatura, fazendo com que o valor de Tg seja maior para as membranas nanocompósitas.

## Medição do ângulo de contato

### **Tabela 2: Porosidade das membranas nanocompósitas e para as membranas de polissulfona.**

MEMBRANA RESULTANTE DA SOLUÇÃO ENERGIA DE HIDRATAÇÃO (mJ/m<sup>2</sup>)

PSf Udel® P-1700/ NMP - 93,4

PSf Udel® P-1700/ 2,0% argila/ NMP - 94,6

PSf Udel® P-1700/ 3,0% argila/ NMP - 94,8

PSf Udel® P-1700/ 5,0% argila/ NMP - 95,5

Com relação ao potencial hidrofílico, é possível inferir, por análise da tabela 2, que as membranas nanocompósitas apresentam maior hidrofiliicidade se comparadas com as membranas feitas somente de polissulfona, na ordem de 10% de aumento dessa propriedade. Isso ocorre pelo fato de a argila utilizada ser hidrofílica, aumentando o número

de grupos funcionais que têm afinidade pela água, sendo as energias livres de hidratação inerentes às membranas nanocompósitas mais próximas de valores altamente hidrofílicos, com  $\Delta G_{SW} < -113 \text{ mJ m}^{-2}$ .17,18

## CONCLUSÕES

A adição de argila bentonita faz com que a membrana apresente maior restrição à passagem de determinados solutos, por diminuição do tamanho dos poros, sem alterar sua porosidade, adequando seu tamanho de poros à microfiltração.

O aumento da resistência térmica é uma propriedade química de bastante interesse, já que no protocolo de limpeza das membranas, sua limpeza é feita com vapor d'água a altas temperaturas, sendo conveniente o emprego de materiais com alta resistência térmica.

A melhoria da hidrofiliicidade das membranas pelo acréscimo de argila também torna o material atraente para o emprego na produção de água potável; sendo esta nova forma de se modificar a hidrofiliicidade do material sem aumentar o seu custo, pois a quantidade de reagentes requeridas para os demais tipos de modificação é grande e o processo de síntese é complicado, e neste caso, acrescenta-se somente uma pequena quantidade de argila.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DRIOLI, E. Effective membrane processes: new perspectives. In: CAETANO, A; DE PINHO, M. N.; DRIOLI, E.; MUNTAU, H. Membrane Technology: Applications to Industrial Wastewater Treatment. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p. 1-16.

2. EBERT, K. et al. Influence of inorganic fillers on the compaction behaviour of porous polymer based membranes. *Journal of Membrane Science*, n.233, p. 71-78, 2004.
3. SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.
4. ANADÃO, P. Desmineralização de água. Entrevista a Marcelo Furtado. *Revista Química e Derivados*, São Paulo, Ano XL, n. 442, p. 14-27, out. 2005.
5. GAETA, S. N. The industrial development of polymeric membranes and membrane modules for reverse osmosis and ultrafiltration. In: CAETANO, A.; DE PINHO, M. N.; DRIOLI, E.; MUNTAU, H. *Membrane Technology: Applications to Industrial Wastewater Treatment*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p. 25-43.
6. MOLNÁR, G. et al. Thermal degradation of chemically modified polysulfones. *Polymer Degradation and Stability*, n.89, p. 410-417, 2005.
7. MEINCKEN, M.; ROUX, S. P.; JACOBS, E. P. Determination of the hydrophilic character of membranes by pulsed force mode atomic force microscopy. *Applied Surface Science*, n. 252, p. 1772-1779, 2005.
8. NIE, F. Q. et al. Acrylonitrile-based copolymers containing reactive groups: synthesis and preparation of ultrafiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, n.233, p. 1-11, 2004.
9. WAVHAL, D. S.; FISHER, E. R. Modification of polysulfone ultrafiltration membranes by CO<sub>2</sub> plasma treatment. *Desalination*, n. 172, p. 189-205, 2005.
10. RAY, S. S.; OKAMOTO, M. Polymer/ layered silicate nanocomposite: a review from preparing to processing. *Progress in Polymer Science*, n. 28, p. 1539-1641, 2003.
11. ALEXANDRE, M.; DUBOIS, P. Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials. *Materials Science and Engineering*, n. 28, p. 1-

63, 2000.

12. JANSEN, J. C. et al. Rheological evaluation of the influence of polymer concentration and molar mass distribution on the formation and performance of asymmetric gas separation membranes prepared by dry phase inversion. *Polymer*, n. 46, p. 11366-11379, 2005.

13. KOOLS, W. F. C. Membrane formation by phase inversion in multicomponent polymer systems – mechanisms and morphologies. 1998. 193 p. Tese (Doutorado) –University of Twente. Enschede, 1998.

14. SOLVAY. Apresenta as propriedades químicas da polissulfona. Disponível em: <<http://www.solvay.com>>.

15. ZHAO, C. et al. Surface characterization of polysulfone membranes modified by DNA immobilization. *Journal of Membrane Science*, n. 214, p. 179-189, 2003.

16. ZEMAN, R.; ZYDNEY, P. *Microfiltration and Ultrafiltration: Principles and Applications*. New York: Marcel Dekker Inc., 1996.

17. LAPOINTE, J. F. et al. Characterization of interactions between  $\beta$ -lactoglobulin tryptic peptides and nanofiltration membrane: Impact on the surface membrane properties as determined by contact angle measurements. *Journal of Membrane Science*, n.261, p. 36-48, 2005.

18. ANADÃO, P. Síntese e caracterização de membranas de polissulfona de micro e ultrafiltração para produção de água potável. 2006. 108 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.