



INTER
FACES
CIENTÍFICAS

SAÚDE E AMBIENTE

ISSN IMPRESSO 2316-3313

E - ISSN 2316-3798

DOI - 10.17564/2316-3798.2016v5n1p39-50

MEMBRANAS CONDUTIVAS COMO SOLUÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

CONDUCTIVE MEMBRANES AS A SOLUTION FOR MUNICIPAL WATER TREATMENT

MEMBRANAS CONDUCTORAS COMO SOLUCIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE SUMINISTRO DE AGUA

Alessandra Piaia¹
José Carlos Mierzwa¹

Camila Silva¹

RESUMO

Neste trabalho, foi realizada a síntese e caracterização de membranas modificadas, a fim de que estas se tornem condutivas e capazes de oxidar matéria orgânica, além de atuarem como barreira física de filtração. Diferentes concentrações de Polianilina (Pani) foram incorporadas mecanicamente a uma solução base de Poliétersulfona (PES), 18% em massa em N-metil-2-pirrolidona, com a adição de concentrações de 2, 5, 10 e 15% em massa de PANI, com base na massa de PES. O método de síntese utilizado foi o de inversão de fases por imersão, utilizando-se água desmineralizada como não solvente. A caracterização das membranas foi feita com base nos ensaios de

permeabilidade, porosidade e condutividade elétrica. As membranas modificadas, com a adição de PANI, apresentaram um fluxo de permeado mais elevado do que a membrana de controle (0% Pani), sendo que os valores máximos foram encontrados para a membrana de 15% estão em torno de 1430 L.h⁻¹.m⁻². Em contrapartida, a porosidade das membranas com adição de 15% de PANI (65%), foi menor do que a obtida para a membrana de controle (90%). Para a avaliação de condutividade elétrica foi utilizado um ohmímetro para medição da resistência elétrica de materiais pouco condutores. Com base nos resultados obtidos foi verificado que a condutividade elétrica das mem-

branas aumentou com o aumento da concentração de PANI. O valor máximo de condutividade encontrado foi de 9×10^{-7} Siemens (S). Para uma melhor compreensão do efeito da utilização de PANI nas membranas modificadas são necessárias análises adicionais. Para a próxima etapa do projeto estão previstas análises de caracterização morfológica da membranas por meio de microscopia eletrônica de varredura, medida do ângulo de contato (hidrofilicidade), tamanho e distri-

buição de poros, massa molecular de corte e ensaios específicos de oxidação eletroquímica.

PALAVRAS CHAVE

Membranas condutivas. Contaminantes e oxidação eletroquímica.

ABSTRACT

In this work, the synthesis and characterization of modified membranes was performed, so that they become conductive and able to oxidize organic matter and act as a physical barrier filtration. Different concentrations of polyaniline (Pani) were mechanically incorporated to a polyethersulfone based solution (PES), 18% in mass in relation to N-methyl-2-pyrrolidone, with the addition of concentrations of 2, 5, 10 and 15% in mass of PANI, based on the mass of the PES. The method of synthesis used was the reverse phase by immersion, using demineralized water as non-solvent. The membranes characterization was made on the basis of permeability, porosity and conductivity. The modified membranes, with the addition of PANI, presented a permeate flow higher than the control membrane (0% Pani) and the maximum values were found for the membrane of 15% around $1430 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$. In contrast, the porosity of membranes with addition of 15% PANI (65%), was lower than that obtained for the control membrane (90%). For the evaluation of electric conductivity an ohmmeter was

used to measure electrical resistance of moderately conductive materials. Based on the results obtained, it was found that the electrical conductivity of the membranes increased with increasing concentration of PANI. The maximum conductivity value found was 9×10^{-7} Siemens (S). For a better understanding of the effect of using PANI on the modified membranes, additional analyses are required. For the next stage of the project are planned morphological characterization analyzes of the membrane by scanning electron microscopy, contact angle measuring (hydrophilicity), size and distribution of pores, molecular weight cut and specific tests of electrochemical oxidation.

KEYWORDS

Conductive membranes. Contaminants and electrochemical oxidation.

RESUMEN

En este trabajo, fue realizada la síntesis y caracterización de las membranas modificadas, de modo que se conviertan en conductoras y capaces de oxidar la materia orgánica, además de actuar como una barre-

ra física de filtración. Diferentes concentraciones de Polianilina (PANI) se incorporaron mecánicamente a una solución basada en Polietersulfona (PES), 18% en peso de N-metil-2-pirrolidona, con la adición de con-

centraciones de 2, 5, 10 y 15% en masa de PANI, basado en la masa de PES. El método de síntesis utilizado fue el de fase inversa por inmersión, utilizando agua desmineralizada como no disolvente. La caracterización de las membranas realizó basándose en las pruebas de permeabilidad, porosidad y conductividad. Las membranas modificadas, con adición de PANI, mostraron un flujo de permeado más alta que la membrana de control (0% Pani), siendo que los valores máximos encontrados para la membrana de 15% están en torno a $1430 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. En contraste, la porosidad de las membranas con adición de 15% PANI (65%), fue menor que la obtenida para la membrana de control (90%). Para la evaluación de la conductividad eléctrica se utilizó un ohmímetro para medir la resistencia eléctrica de algunos materiales malos conductores. Sobre la base de los resultados obtenidos, se encontró que la conductividad eléctrica de las membranas

aumenta al aumentar la concentración de PANI. El valor máximo encontrado de conductividad fue 9×10^{-7} Siemens (S). Para una mejor comprensión de los efectos de la PANI en las membranas modificadas se necesitan análisis adicionales. Para la siguiente fase del proyecto se han previsto análisis de caracterización morfológica de las membranas por medio de microscopía electrónica de barrido, la medición del ángulo de contacto (hidrofilia), tamaño y distribución de poros, corte de peso molecular y pruebas específicas de oxidación electroquímica.

PALABRAS CLAVE

Membranas conductoras. Contaminantes y oxidación electroquímica.

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial para o ser humano, cuja qualidade de vida está intimamente ligada à sua disponibilidade. A água usada para abastecimento doméstico deve apresentar características sanitárias e toxicológicas adequadas, tais como estar isenta de organismos patogênicos e substâncias tóxicas, para prevenir danos à saúde e ao bem-estar do homem (BRAGA et al, 2012). A quantidade de água disponível é de fato preocupante, estimasse que apenas 0,3% do volume total de água no planeta seja de água doce de fácil exploração (lagos e rios) (MMA, 2015). A urbanização desordenada em cidades ao redor do mundo, principalmente em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos ANG et al (2015), traz consigo inúmeros problemas relacionados à infraestrutura de tratamento e distribuição de água, assim como coleta e tratamento de esgotos que é um dos fatores que vem agravando a degradação da qualidade da água de mananciais utilizados ou passíveis de utilização para uso urbano ou industrial.

Muitas das fontes de captação de água para abastecimento, como mananciais de superfície (rios, lagos e reservatórios), e subterrâneos (aquíferos), já estão ou estarão em breve contaminadas com efluentes domésticos e indústrias, bem como com outros contaminantes específicos, provenientes de atividades agrícolas. O tratamento convencional, usualmente constituído de etapas de coagulação, floculação, decantação e desinfecção, só é capaz de remover poucos ou nenhum dos poluentes emergentes nas águas de abastecimento [3], não demonstrando eficiência para a remoção de toxinas, pesticidas, resíduos farmacêuticos, arsênico e herbicidas (OLUKA, 2014) e (BOTTA, 2011). Deste modo, torna-se necessário o estudo e aplicação de tecnologias de tratamento de água mais modernas, visando condicionar sua qualidade ao consumo humano, priorizando a remoção de contaminantes emergentes.

Considerando as constantes mudanças nas legislações ambientais e na área restrita disponível para investimentos em geral (principalmente em grandes centros urbanos), estações de tratamento compactas e flexíveis, capazes de se adaptar rapidamente, que consigam atender uma qualidade sem sofrer ou sofrendo poucas mudanças construtivas e com maior flexibilidade na alimentação e em dosagens químicas, são necessárias (EDZWALD, 2010). O processo de separação por membranas se tornou uma tecnologia conhecida e aplicada, em tratamento de água para abastecimento, esgotos domésticos e efluentes industriais, pois promove a significativa melhora da qualidade da água ou efluente produzido, a redução de espaço para sua implantação e a simplificação do processo, com a redução das operações e processos unitários envolvidos e custo operacional (EDZWALD, 2010). Entretanto, o tratamento de esgotos domésticos, efluentes industriais e da água para abastecimento humano, visando a remoção de contaminantes específicos, requerem a aplicação de mais de uma tecnologia, o que pode onerar o sistema.

Uma das tecnologias mais recentes, que vem se desenvolvendo e ganhando espaço no mercado, são as chamadas membranas funcionais. Essas membranas são desenvolvidas com o intuito de unir mais de uma tecnologia, ou função, em um mesmo equipamento, eliminando contaminantes específicos, ou então, recuperando elementos que tenham algum valor comercial. Pesquisas realizadas com filtros de nano tubos de carbono demonstraram resultados muito positivos com relação à remoção e inativação de vírus e bactérias, oxidação de matéria orgânica, corantes e alguns ânions (RAHAMAN, 2011), (LIU et al, 2011) e VAN FOSSEN, 2012). A principal vantagem desta técnica é a não utilização de produtos químicos ou bactérias, somente energia elétrica é consumida para eliminação de poluentes. Essa é uma tecnologia que pode ser utilizada como um tratamento completo ou como um processo combinado, atuando como pré/pós-tratamento de águas para abastecimento ou efluentes domésticos e industriais.

Comprovada a aplicabilidade e os bons resultados obtidos a partir da oxidação eletroquímica, neste trabalho, foi investigada a síntese e caracterização de membranas condutivas pelo método da inversão de fases. Um polímero condutivo (polianilina aditivada com carbono) é incorporado mecanicamente ao polímero base selecionado (polietersulfona), para a produção de uma membrana de ultrafiltração capaz de oxidar matéria orgânica, não apenas em sua superfície, mas em toda sua extensão volumétrica, ao mesmo tempo em que possibilita a separação física de contaminantes em suspensão, principalmente colóides. Desta forma, pretende-se diminuir, ainda mais, a quantidade de etapas envolvidas no processo de tratamento de água, a área de implantação do sistema e o custo operacional, com a redução da mão-de-obra de operação necessária e da utilização de produtos químicos.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi a obtenção de uma membrana condutiva capaz de oxidar matéria orgânica/contaminantes ao mesmo tempo em que atua como uma barreira física de filtração.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Síntese de uma membrana condutiva;
- Caracterização da membrana;
- Avaliação do efeito de diferentes concentrações de polímero condutor na estrutura e nas propriedades da membrana;
- Definição da relação “polímero base X polímero condutor” mais vantajosa;

- Avaliação do desempenho da membrana em relação à produção de água e remoção de contaminantes;

- Avaliação do desempenho da membrana para a oxidação eletroquímica de um contaminante de referência;

- Avaliação do desempenho do processo para a remoção de um contaminante emergente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os materiais que foram utilizados para a síntese da membrana, assim como a metodologia empregada para a sua obtenção, relação de testes e equipamentos necessários para a avaliação preliminar das suas características e desempenho em relação à produção de água. A Poliétersulfona (PES), foi utilizada como polímero base e a Polianilina (PANI), como polímero condutivo, como solvente foi utilizado o N-metil-2-pirrolidona (NMP) e como não-solvente a água desmineralizada.

3.1 MATERIAIS

O polímero base utilizado para a síntese das membranas de ultrafiltração foi a Poliétersulfona (PES) VERADEL 3000P, com massa molar de 63.000 g/mol, fornecida pela Solvay. Para conferir condutividade a membrana foi utilizada a Polianilina aditivada com carbono da Sigma-Aldrich, sendo essa 20% em peso de polianilina e 80% carbono, apresentando uma condutividade volumétrica (*pellet* prensado) de 25-35 S/cm (SIGMA-ALDRICH, 2015). O solvente N-metil-2-pirrolidona (NMP) utilizado foi fornecido pela Labsynth, teor 99,5%. A água desmineralizada utilizada em diversas etapas da síntese e testes de caracterização das membranas, apresenta condutividade $\leq 0,1 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ e foi obtida por meio de um sistema de osmose reversa de duplo passo, da marca Invict, localizado dentro do laboratório do CIRRA (Centro Internacional de Referência em Reúso de Água). O Metabissulfito

utilizado como conservante para as membranas sintetizadas foi fornecido pela Labsynth, teor 97%. Todos os materiais foram utilizados como recebidos.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO POLIMÉRICA

Foram preparadas soluções poliméricas com diferentes concentrações de Pani, a fim de avaliar os efeitos na estrutura da membrana e encontrar a concentração ótima que conferisse condutividade (TELI et al, 2012). Todas as soluções apresentam uma concentração fixa de PES (18% peso) e de NMP (82% peso). Uma solução base foi preparada sem Pani, a qual foi utilizada como uma membrana controle, as demais membranas foram preparadas com 2:100 (2% massa), 5:100 (5% massa), 10:100 (10% massa) e 15:100 (15% massa) de uma relação Pani:PES. O volume das soluções foi de 200 mL. Antes de se iniciar a preparação da solução polimérica, toda a PES foi seca em estufa (100 °C durante 2 horas), para retirar toda a humidade da amostra, após a secagem, a PES foi mantida em um dessecador até atingir a temperatura ambiente (NOGUEIRA, 2012). Em dois béqueres separados foi feita a pesagem do PES e da Pani, foi utilizada uma balança semi-analítica para todas as pesagens, e em uma proveta foi medido o volume necessário de NMP, calculado com base na massa necessária de solvente e na sua massa específica.

Em um recipiente próprio para a etapa de agitação, foi despejado o volume total de NMP. Em seguida, sob agitação de 210 rpm e 50°C ± 5 (banho maria), a Pani era lentamente adicionada. Para evitar aglomerações poliméricas e grandes perdas de massa, durante a adição de Pani a solução era mantida em agitação por 15 minutos. A poliétersulfona era então adicionada, também lentamente, sob agitação durante 30 minutos. Foi importante o fracionamento adequado das adições poliméricas a fim de cumprir com o tempo estipulado durante cada etapa de adição. Por fim, após a adição total dos polímeros, a solução era mantida em agitação

por 24 horas, 50°C e 210 rpm. Para este procedimento foi utilizado um agitador IKA RW20 digital.

Após 24 horas, a solução era retirada da agitação e submetida à um banho ultrassônico (Ultrassom Elma S30H – Elmasonic) durante 30 minutos, para remover possíveis bolhas de ar que ficaram na solução durante a etapa anterior. Em seguida, a solução era mantida em repouso por 24 horas no dessecador.

3.2.2 SÍNTESE DA MEMBRANA CONDUTIVA

O espalhamento da solução polimérica requer o controle adequado das condições ambiente, principalmente temperatura e umidade, o que era conseguido por meio de um aparelho de ar condicionado e um desumidificador de ar. No mínimo 6 horas antes do procedimento, os desumidificadores eram ligados e o ar condicionado regulado para que a temperatura ambiente ficasse em torno de 25°C.

O método selecionado para realizar a síntese das membranas condutivas foi o processo de inversão de fases por imersão. Para isso, foi utilizada uma mesa espalhadora da marca Elcometer, modelo 4340, uma régua espalhadora com espessura em 130 µm e placas de vidro que atuam como suporte apenas no momento do espalhamento. A membrana sintetizada foi do tipo plana (*flat sheet*). A fim de evitar que as partículas de carbono, dispersas na solução, não sedimentassem, a solução era mantida sob agitação com o auxílio de uma barra magnética e agitador.

Primeiramente, a solução polimérica era distribuída no sentido do comprimento entre a régua e a placa de vidro, com a ajuda de um bastão de vidro, diretamente do recipiente em que estava. Quanto mais pró-

ximo o bastão de vidro estiver da interface régua-placa de vidro, menor a chance de incorporação de ar à solução. A quantidade correta de solução utilizada para cada membrana foi definida com base na experiência prática. Uma vez espalhada, a solução deve ser completamente imersa em um banho de água desmineralizada (não-solvente), para assim ocorrer a inversão de fases. O tempo entre o espalhamento e a imersão deve ser o menor possível, para evitar alterações nas características das membranas. A membrana permanecia imersa durante 2 minutos. Este procedimento era repetido até toda a solução polimérica preparada fosse utilizada. As membranas formadas eram mantidas imersas em água por mais 24 horas e depois guardadas em frascos com água desmineralizadas e 5 ml de Metabissulfito.

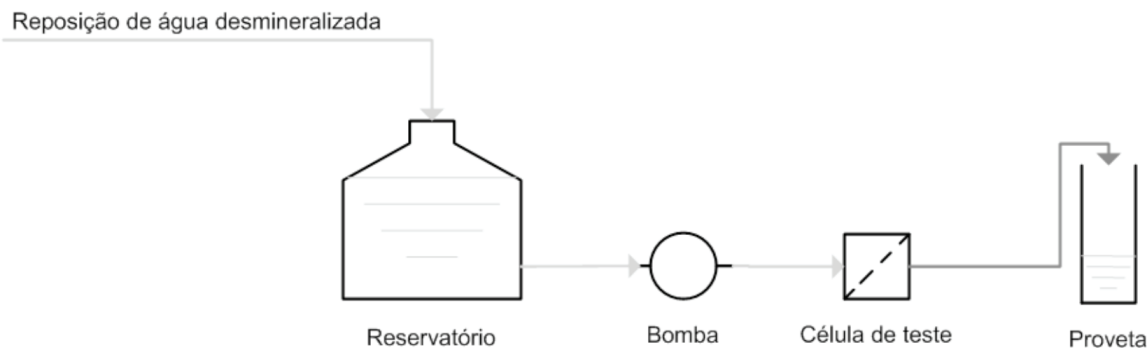
3.2.3 CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA

Para cada teste de caracterização, foram utilizadas 5 amostras de cada membrana sintetizada. Uma solução polimérica de 200 mL possibilitou, em média, a obtenção de 10 membranas, entre elas, as 5 membranas com melhor uniformidade, ausência de bolhas, dobras, rasgos, etc, foram utilizadas na etapa de caracterização.

3.2.3.1. AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE

Para a avaliação da permeabilidade das membranas produzidas, o fluxo de água permeada (vazão de permeado produzido por unidade de área da membrana) foi determinado. Para os ensaios de permeabilidade foi utilizada uma célula de testes com escoamento tangencial, sendo que o permeado e o concentrado eram recirculados para o tanque de alimentação. Segue abaixo uma representação simplificada do sistema utilizado.

Figura 1 - Fluxograma simplificado do sistema utilizado durante os testes de permeabilidade.



Fonte: MIERZWA J. C. et al (2015)

Durante o teste, foi utilizada água desmineralizada como vazão de alimentação. Antes de iniciar o teste, a membrana era compactada por 15 minutos a uma pressão de 2 bar, após a compactação todo o teste foi realizado com uma pressão de 1,5 bar e 22 ± 1 °C. O fluxo de permeado foi determinado utilizando uma proveta e um cronômetro. Para cada amostra, foram feitas 12 medições de volume de permeado a cada 5 minutos, totalizando 60 minutos de teste para uma amostra. Os corpos de prova possuíam dimensões aproximadas de 7,8 cm de largura e 11,8 cm de comprimento. O fluxo de permeado ($L \cdot h^{-1} \cdot m^{-2}$) pôde ser calculado por meio da equação (1):

$$J = \frac{V}{\Delta t \cdot A_f} \quad (1)$$

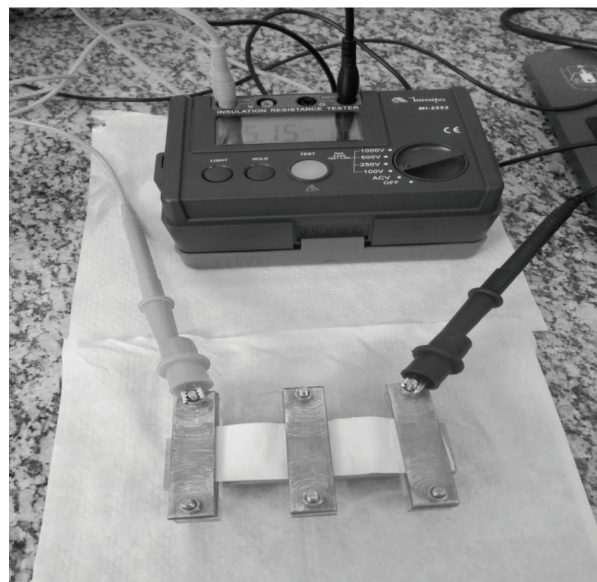
onde V é o volume coletado (L), Δt é o tempo de permeação de cada medição (h) e A_f é a área de filtração da membrana (m^2).

3.2.3.2 OBTENÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A determinação da condutividade das membranas foi feita com a utilização de um megômetro digital da marca Minipa e com um dispositivo construído de acordo com a norma ASTM D4496-13 (ASTM, 2013).

Na figura 2 é apresentada uma foto do dispositivo utilizado:

Figura 2 - Dispositivo para medição de resistência elétrica.



Fonte: MIERZWA J. C. et al (2015)

O megômetro fornece os resultados em resistência, sendo assim necessária a conversão deste valor para condutividade utilizando as equações abaixo:

$$\rho_s = R_s \frac{W}{L} \quad (2)$$

$$\gamma_s = \frac{1}{\rho_s} \quad (3)$$

onde ρ_s é a resistividade superficial (Ω), R_s é a resistência superficial (Ω), L é a distância entre os eletrodos de medição (cm), W é a largura do corpo de prova (cm) e γ_s é a condutividade (S). As medidas da resistência elétrica foram feitas com as membranas úmidas, estando presente nos poros da membrana a água de síntese. Como a água de síntese é água desmineralizada, ela não interfere na medição. Os corpos de prova possuíam dimensões aproximadas de 5,0 x 2,5 cm. A distância entre os pontos de medição foi de 2,5 cm e 5,0 cm, além da tensão aplicada pelo dispositivo ter variado entre 106 e 1056 V.

3.2.3.3 DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE

A porosidade das membranas foi estimada pela diferença de massa entre as membranas molhadas e secas (MIERZWA et al, 2012). Após o teste de permeabilidade, cada corpo de prova pôde ser utilizado no teste da porosidade. Com a ajuda de um micrômetro digital da marca Digimess, foram medidas as espessuras ao longo do perímetro dos corpos de prova. Para obter a massa molhada, os corpos de prova foram levemente pressionadas em lenços de poliéster e celulose, para remover o excesso de água de sua superfície, já que apenas a água que preenche seus poros é a de interesse, e em seguida esses corpos de prova foram submetidos a uma pesagem. Obtida a massa molhada, os corpos de prova eram imersos em álcool isopropílico durante 24 horas para remover a água dos poros da membrana e depois eram mantidos em dessecador para a sua secagem, durante outras 24 horas. Por fim, a massa seca dos corpos de prova era obtida. A porosidade de cada amostra pôde ser obtida utilizando a equação 4:

$$\varepsilon (\%) = \frac{m_1 - m_2}{\frac{\rho W}{V_m}} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde m_1 é a massa molhada (g), m_2 é a massa seca (g), W é a densidade específica da água (g/cm^3) e V_m é o volume do corpo de prova (cm^3).

4 RESULTADOS

A fim de avaliar corretamente os dados obtidos em cada teste de caracterização das membranas, todos os dados foram tratados, ou seja, excluiu-se da análise qualquer valor considerado como outlier, ou seja, fora da média. O conceito de valor *outlier* foi definido como:

$$\text{Valor Outlier} > \text{Média} + 1,5 * \text{Desvio Padrão} \quad (5)$$

$$\text{Valor Outlier} < \text{Média} - 1,5 * \text{Desvio Padrão} \quad (6)$$

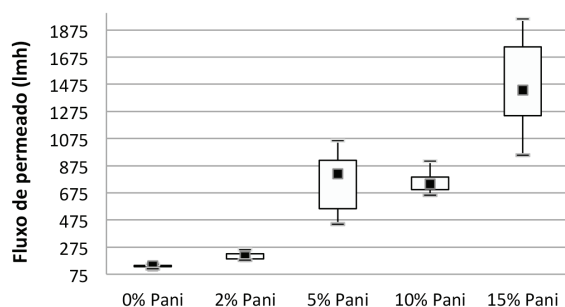
4.1 AVALIAÇÃO DO FLUXO DE PERMEADO

Durante os testes de permeabilidade a pressão da célula de teste se mostrou constante em 1 bar, ocorrendo perda de carga em torno de 0,5 bar na membrana. Os resultados obtidos após os ensaios de permeabilidade estão representados na figura 3. A membrana com 0% de Pani é a chamada membrana controle, ela serve como base de comparação para as demais membranas modificadas. A membrana controle apresentou um fluxo de permeado em torno de 135 $\text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, enquanto que as demais membranas apresentaram fluxos mais elevados. Com uma adição de apenas 2% em massa de Pani, o fluxo médio medido foi de 204 $\text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ e a partir de 5% em massa, o fluxo aumentou consideravelmente, tendo a membrana com 15% em massa de Pani produzido o maior fluxo de permeado.

Um aumento na permeabilidade pode ser interpretado de diversas formas, mudanças na estrutura da membrana, como aumento da hidrofiliabilidade e a

morfologia dos poros. Com o aumento da concentração de Pani, o fluxo deve atingir um limite máximo e em seguida estabilizar, ou ser reduzido.

Figura 3 - Fluxo de permeado versus aumento da concentração de polianilina.



Fonte: MIERZWA J. C. et al (2015)

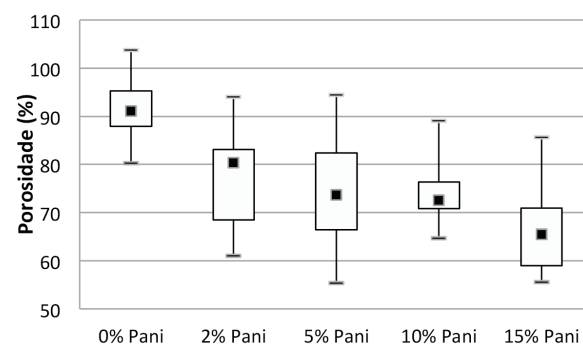
4. 2 MORFOLOGIA PRELIMINAR

A porosidade final da membrana, além de outras propriedades morfológicas, depende de um conjunto de fatores, como a difusividade dos componentes, viscosidade, potencial químico, etc, quase sempre difíceis de controlar durante a síntese (ASTM, 2013). Um fator fácil de controlar, porém ainda com efeitos desconhecidos, é o aumento da concentração de Pani na solução base. A concentração e o material utilizado para a síntese pode determinar propriedades importantes.

Na figura 4 estão representados os resultados de porosidade obtidos. Com o aumento da concentração de Pani, ocorreu a diminuição da porosidade, que tende a se estabilizar. A porosidade em torno de 90% para a membrana de controle se mostrou muito alta para os valores normalmente encontrados (TELI et al, 2012) e (PORTER,1990). Normalmente, a redução da porosidade está associada ao aumento do *fouling* ou da camada de polarização de concentração, fatores que podem ser desconsiderados neste caso, já que a água de alimentação utilizada era desmineralizada (MULDER, 2003). Ao analisar a figura 3 em conjunto com a figura 4, percebe-se que conforme o fluxo au-

menta a porosidade diminui, já que nenhum outro teste relacionado à morfologia dos poros foi feito, nem mesmo a massa molecular de corte (*weight cut-off*), torna-se difícil inferir o que ocasionou tal comportamento. A capacidade de rejeição das membranas aditivadas poderá ser menor do que a de controle, mas para isso novos ensaios devem ser realizados.

Figura 4 - Porosidade versus aumento da concentração de polianilina.



Fonte: MIERZWA J. C. et al (2015)

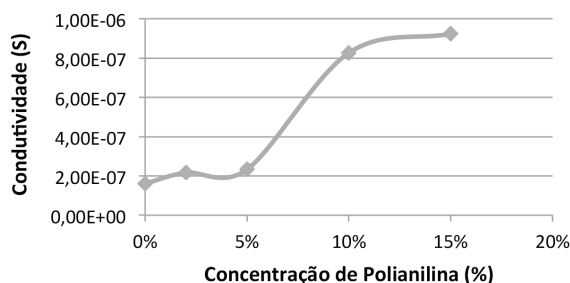
4.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DAS MEMBRANAS SINTETIZADAS

Durante o tratamento dos dados de condutividade, observou-se que para a distância entre os pontos de medição de 2,5 cm e tensão de 1056 V, os dados obtidos apresentavam uma distribuição mais uniforme. Por conta disto, os valores obtidos nas condições citadas acima foram escolhidos para serem analisados.

Estão evidenciados, na figura 5, os resultados de condutividade em função do aumento da concentração de PANI. Com o aumento da concentração de Pani, houve também aumento na condutividade elétrica da membrana. Devido ao comportamento da curva obtida, que pode ser ajustada por uma sigmoide, verifica-se uma tendência na estabilização no aumento de condutividade. A estabilização da curva, neste momento, é uma extrapolação, sendo possível que para um próximo aumento de concentração, a condutividade aumente consideravelmente e que quebre os padrões e previsões. Analisando-se estes dados verifi-

ca-se que não há um ganho significativo na condutividade elétrica da membrana, quando a concentração de PANI aumenta de 10 para 15%.

Figura 5 - condutividade versus aumento da concentração de polianilina.



Fonte: MIERZWA J. C. et al (2015)

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, membranas de PES foram modificadas a partir da adição de Polianilina em diferentes concentrações. O fluxo de permeado para a membrana com 15% em massa de Pani apresentou considerável aumento, da ordem de $1400 \text{ L.h}^{-1}\text{.m}^{-2}$. As porosidades das membranas modificadas diminuiriam com o aumento da concentração, permanecendo na faixa de 70 a 80 %. A condutividade também apresentou alterações, sendo que a tendência é estabilizar e o aumento da massa de Pani pode não compensar o aumento na condutividade.

A partir dos resultados obtidos, nota-se que as membranas modificadas sofreram mudanças em sua estrutura, já que valores de fluxo de permeado, porosidade e condutividade variaram com relação à membrana controle. Porém, para afirmar o motivo causador de tais resultados, é necessária uma análise morfológica mais detalhada, além de testes adicionais, como: microscopia eletrônica de varredura, ângulo de contato (hidrofilicidade), tamanho e distribuição de poros, massa molar de corte e ensaios específicos de oxidação. Para uma próxima etapa deste trabalho, as membranas serão devidamente caracterizadas e analisadas como descrito.

REFERÊNCIAS

AMERICAN NATIONAL STANDARD - ASTM.

Designation: D4496-13: Standard Test Method for D-C Resistance or Conductance of Moderately Conductive Materials. 2013.

ANG, W. L. et al. A review on the applicability of integrated/hybrid membrane processes in water treatment and desalination plants, **Desalination**, v.363, p.2-18, 2015.

BOTTA, F. et al. Application and validation of a programme to reduce surface water contamination with urban pesticides. **Chemosphere**, v.86, p.166-176, 2011.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental** – O desafio do desenvolvimento sustentável. São Paulo: Pearson, 2012.

EDZWALD, J. K. Water Quality and Treatment – A Handbook on Drinking Water. Colorado: **American Water Works Association**, 6th ed. 2010.

LIU, H. et al. Reactive Transport Mechanism for Organic Oxidation during Electrochemical Filtration: Mass-Transfer, Physical Adsorption and Electron-Transfer. **The Journal of Physical Chemistry**, v.116, p. 374-383, 2011.

MIERZWA, J. C. et al. Anion dopant effect on the structure and performance of polyethersulfone membranes. **Journal of membrane science**, v.421-422, p. 91-102, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf>. Acesso em: 29 set. 2015.

MULDER, M. **Basic principles of membrane technology**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003.

NOGUEIRA, F. T. **Síntese e Caracterização de Membranas de Filme Fino Composto de Polissulfona/Quitossana Reticulada de Glutaraldeído**. São Paulo, 2012.

OLUKA, S. et al. Managing coliform contamination and chlorine by-products in urban water supply system In Uganda. **Sustainability of Water Quality and Ecology**, v.1-2, p.59-67, 2014.

PORTER, M. C. **Handbook of Industrial Membrane Technology**. New Jersey: Noyes Publications, 1990.

RAHAMAN, Md. S. et al. Electrochemical Carbon-Nanotube Filter Performance toward Virus Removal and Inactivation in the Presence of

Natural Organic Matter. **Environmental Science & Technology**, v.46, 2011.

SIGMA-ALDRICH. **Product Specification**. Polyaniline Emeraldine Salt – Composite (20 wt.% polyaniline on carbon black. Saint Louis. Disponível em: < http://www.sigmaaldrich.com/Graphics/COfAInfo/SigmaSAPQM/SPEC/53/530565/530565-BULK_____ALDRICH__.pdf >. Acesso em: 29 set. 2015.

TELLI, S. B. et al. Preparation, characterization and antifouling property of polyethersulfone-PANI/PMA ultrafiltration membranes. **Desalination**, v.299, p.113-122, 2012.

VAN FOSSEN, K. Point-of-use Drinking Water Purification: Electrochemical Cross-Flow Filtration Device Scale-up and Evaluation. **Harvard school of Engineering and Applied Sciences**, 2012.

Recebido em: 29 de Maio de 2016
Avaliado em: 30 de Maio de 2016
Aceito em: 3 de Junho de 2016

1. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Av. Prof. Almeida Prado, 83 – Trav. No 2 – São Paulo, SP CEP 05508-900, Brasil