



BIORREADORES COM MEMBRANAS, UMA ALTERNATIVA PROMISSORA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS E EFLUENTES PARA REUSO

Silva, M. K., Tessaro, I. C., Wada, K.

Laboratório de Separação por Membranas (LASEM)
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-040 - Porto Alegre - RS - BRASIL,
E-MAIL: {kipper, isabel, keiko}@enq.ufrgs.br

Palavras Chaves: Biorreatores com Membranas, Tratamento de Água, Reúso de Águas, Membranas.

Resumo: A água é um insumo essencial utilizado em indústrias, atividades domésticas e agrícolas. Ela é fundamental para o transporte de energia, sais minerais e outras substâncias em geral. Entretanto, deve-se ter a preocupação com a economia da água, pois apesar dela ser abundante na superfície terrestre, o uso indiscriminado deste bem pode acarretar na sua escassez. Uma das alternativas para alcançar este objeto é integrar as atividades que a utilizam, de modo a obter o seu maior aproveitamento. Outra alternativa interessante é a reutilização da água em um ciclo fechado através de um processo capaz de tratar o efluente e produzir água com mesma qualidade inicial ou com qualidade suficiente para ser utilizada em alguma etapa do processo. Neste contexto os processos de separação com membranas (PSM) associados a biorreatores (Biorreatores com Membranas – MBR) se apresentam como uma tecnologia promissora no tratamento de águas e efluentes visando o seu reúso. Devido às inúmeras vantagens que os PSM apresentam e à legislação ambiental cada vez mais exigente a aplicação destes processos no tratamento de efluentes expandiu-se nestas últimas décadas. Além de tratar efluentes líquidos produzindo água com qualidade suficiente para ser reaproveitada, pretende-se: reduzir a carga de contaminantes dos efluentes líquidos e sólidos; diminuir a quantidade de produtos químicos utilizados em sistemas de tratamento de águas; compreender melhor os fenômenos de interação entre os diversos componentes químicos presentes nos efluentes e o processo de biorreator com membranas; otimizar o processo de tratamento avançado de águas e efluentes através de biorreatores com membranas.

1 INTRODUÇÃO

A água é um insumo essencial utilizado em indústrias, atividades domésticas e agrícolas. Ela é fundamental para o transporte de energia, sais minerais e outras substâncias em geral. Entretanto, apesar da água ser abundante na superfície terrestre, o uso indiscriminado deste bem pode acarretar na sua escassez.

Devido à esta preocupação crescente sobre a economia da água e também das restrições da legislação, o reúso de águas servidas tem entrado em pauta no contexto mundial. Uma das alternativas para alcançar este objetivo é integrar as atividades de modo que a água de rejeito de um

processo, que necessita uma água com maior qualidade, seja usado em outro processo, que possa utilizar uma água com menor qualidade. Esta alternativa mostra-se mais ecologicamente correta, entretanto continua incorporando impurezas e sujidades aos corpos receptores de água. Outra alternativa mais interessante é a reutilização da água em um ciclo fechado. Isto é, após o uso da água, em uma atividade qualquer, que resulta na incorporação de impurezas, tornar a obter uma água com qualidade inicial, utilizando um processo de tratamento adequado.

Um processo que possibilita o tratamento da água para o seu reúso é a associação da tecnologia de separação por membranas ao



OKTOBER FÓRUM 2005 – PPGEQ

processo convencional de lodos ativados. Este conjunto de processos é denominado Biorreator com Membranas (MBR).

Os processos de separação por membranas são considerados uma tecnologia limpa que está sendo, cada vez mais, utilizada na indústria substituindo os processos convencionais de separação, tais como destilação, centrifugação e extração, em virtude de apresentar certas vantagens:

- a separação é alcançada sem mudança de fase e, por consequência, redução do consumo energético;
- pequena taxa de acúmulo de sólidos no equipamento, resultando em um maior tempo de operação contínua, quando comparado com as resinas de troca iônica;
- necessita de pouca adição de produtos químicos.

Segundo Viero, Nobrega e Sant'Anna (2004) a integração da tecnologia de separação por membrana em processos convencionais de lodos ativados representa uma inovação importante na evolução da tecnologia de tratamento biológico de efluentes. Em comparação com as técnicas convencionais, os reatores com membranas produzem efluente de melhor qualidade, uma vez que retêm completamente a biomassa. Isso torna possível o controle do tempo de retenção de sólidos de forma independente do tempo de retenção hidráulica. Além disso, a degradação dos poluentes é muito eficiente em função da maior concentração de microorganismos no sistema.

Devido as vantagens de alta concentração de microorganismos no reator biológico e alta retenção de microorganismos e poluentes promovido pela membrana, os sistemas de MBR são citados como excelente alternativa para degradação de poluentes considerados prioritários, reduzindo assim os riscos de contaminações provenientes das águas.

Entre os 129 principais poluentes listados pela agência de proteção ambiental dos EUA (EPA), 41 são facilmente biodegradados, e outros 29 podem ser biodegradados por bactérias específicas sob condições especiais, segundo Tabak *et al.* (1981).

Pretasek *et al.* (1983) afirmam que a biodegradação é freqüentemente o método mais econômico para tratar estes poluentes. Entretanto, muitos efluentes exibem condições extremas de pH e concentrações elevadas de sais, que inibem o crescimento microbiano e tornam o tratamento biológico direto impossível. Nestes casos a solução

normalmente adotada é diluir e/ou misturar efluentes antes do processo biológico ou, com um custo elevado, utilizar a incineração. Além disso, quando certos poluentes mais perigosos são misturados com outros efluentes, contendo poluentes facilmente biodegradáveis, as bactérias metabolizam preferencialmente estes últimos e os poluentes nocivos passam freqüentemente através das plantas de tratamento biológicas inalterados.

Contrastando com as estações de tratamento convencionais, as unidades MBR são extremamente compactas. Este aspecto é particularmente importante para as grandes metrópoles, onde o espaço disponível para a instalação de unidades de tratamento de esgoto sanitário, e mesmo industrial, é bastante reduzido. Além disso, quando comparado com o tratamento biológico convencional, o sistema de biorreatores com membranas apresentam uma baixa produção de lodo e uma maior resistência as flutuações da alimentação.

Entre todas estas vantagens, a que mais se destaca é a capacidade de produzir água com uma excepcional qualidade que pode ser reutilizada no processo produtivo, diminuindo desta forma a captação de água e a geração de efluentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aplicação da tecnologia de separação por membrana no tratamento de efluentes expandiu-se nestas últimas décadas devido à legislação cada vez mais exigente e também devido ao avanço contínuo desta tecnologia. Em particular, os sistemas MBR por apresentarem uma retenção total dos microorganismos pela membrana torna possível tratar eficazmente os efluentes. Há 500 unidades de MBR em operação no mundo, segundo Stephenson *et al.* (2000).

Chang *et al.* (2002) afirmam que a limitação principal de ambos os processos encontra-se na membrana que com o passar do tempo tem seus poros bloqueados, fenômeno este conhecido como *fouling*. O *fouling*, particularmente neste caso o *biofouling*, é associado principalmente com a deposição de uma camada de sujidades de bio-sólidos na superfície da membrana que resultando numa redução da performance, severa queda no fluxo permeado, alto consumo de energia e freqüentes limpezas ou substituição das membranas.

Há duas configurações básicas de construção do sistema MBR: módulo submerso ou externo ao tanque de lodo ativado, conforme ilustrado nas Figuras 2.1 e 2.2, respectivamente. As



OKTOBER FÓRUM 2005 – PPGEQ

membranas utilizadas no sistema de módulo submerso são normalmente um conjunto de fibras ocas, onde o transporte de permeado ocorre da superfície externa das fibras para interna. Já o sistema de módulo externo pode utilizar membranas fibras ocas, tubulares ou planas.

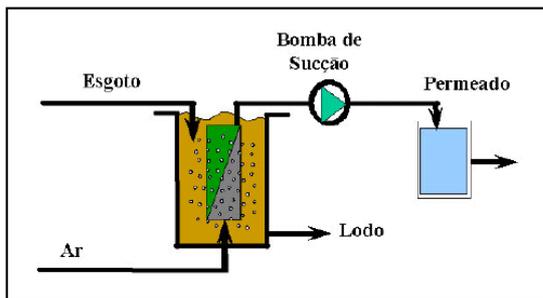


Figura 2.1: Módulo de Membranas Submerso no Tanque de Aeração.

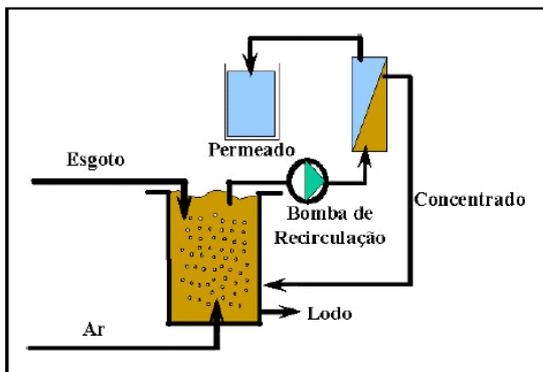


Figura 2.2: Módulo de Membranas Externo ao Tanque de Aeração.

O módulo externo ao reator é operado em fluxo cruzado, ou seja, a solução ou suspensão escoam paralelamente à superfície da membrana, enquanto o permeado é transportado transversalmente a mesma. Nesta configuração, o permeado é recuperado normalmente por diferença de pressão positiva gerada pela vazão de circulação do lodo e por uma válvula reguladora de pressão. A velocidade tangencial no módulo promove a turbulência próxima à membrana necessária para arrastar as partículas sólidas que tenderiam a se depositar sobre a superfície da membrana.

Quando o módulo é submerso no tanque de aeração, a turbulência para minimizar o depósito de partículas na superfície da membrana é promovida pela aeração do sistema, que gera um efeito similar ao do fluxo cruzado. O permeado é obtido por uma diferença de pressão provocada pela

coluna de líquido no interior do reator e/ou aplicando-se vácuo no lado do permeado.

Um número grande de fatores pode afetar o *biofouling* das membranas do sistema de MBR. Estes fatores incluem condições hidrodinâmicas, configuração do módulo de membranas, condições operacionais do processo biológico e das membranas, material constituinte da membrana e propriedades físico-químicas do lodo ativado.

Entre as condições hidrodinâmicas, a velocidade da solução que escoam transversalmente a membrana, no sistema de módulo externo, e a intensidade de aeração, no sistema de módulo submerso, são parâmetros críticos que podem influenciar na performance da membrana.

No caso da configuração do módulo, destaca-se especialmente o fator de empacotamento das fibras nos módulos de fibras ocas. Em casos de alto empacotamento observa-se uma diminuição do *fouling* nas fibras que se encontram mais no interior. Outro fator importante na redução do *fouling* é a localização dos aeradores.

O fluxo permeante da membrana determina o fluxo mássico de lodo à superfície da membrana e afeta assim a formação da torta de lodo. Supõe-se geralmente que o *fouling* pode ser extremamente reduzido quando as membranas são operadas em um fluxo permeado abaixo do fluxo crítico. O conceito teórico de fluxo crítico foi introduzido por Field *et al.* (1995) e é definido como o maior fluxo permeado onde não se observa uma diminuição do fluxo com o tempo. Acima deste fluxo é observado o *fouling*. O fluxo crítico não depende apenas das características da membrana mas também da concentração de particulados na solução e condições de velocidade tangencial ou intensidade de aeração.

O material constituinte da membrana tem sido considerado um importante fator que pode afetar o *fouling* na membrana. Entre as propriedades relevantes inclui-se hidrofobicidade, carga superficial, tamanho de poro e rugosidade.

Entre as propriedades do lodo ativado que influenciam no *fouling* da membrana podem ser citados o tempo de retenção hidráulica, tempo de retenção de sólidos, concentração de microorganismos, razão alimento-microorganismo e condições dos nutrientes.

Como podemos constatar, para operar de forma a minimizar os problemas relacionados ao *fouling* e maximizar a tratabilidade dos efluentes de forma eficiente e econômica muitos são as combinações possíveis entre todas as variáveis citadas.



OKTOBER FÓRUM 2005 – PPGEQ

3 OBJETIVOS:

A primeira impressão que fica quando se fala em redução de efluentes líquidos e economia de água é a necessidade de implantação de novas tecnologias ou mudanças no processo que irão acarretar em maiores gastos no setor produtivo. Entretanto, as próprias indústrias estão constatando que estas alterações além de trazerem *status* de uma indústria preocupada com o meio ambiente ainda proporcionam lucros. Devido a este crescente interesse em tecnologias que proporcione uma economia de água através de seu reúso o objetivo deste trabalho é estudar o processo de biorreatores com membranas no tratamento de águas e efluentes.

Mesmo já sendo utilizado em algumas indústrias, muitos aspectos do funcionamento dos processos de separação por membrana ainda são desconhecidos, sendo dirigidos por um empirismo inevitável. O domínio da tecnologia é restringido aos fabricantes do equipamento que por sua vez indicam e fornecem os insumos considerados necessários para o bom desempenho dos sistemas. Hoje, existe um interesse cada vez maior em conhecer os princípios básicos que regem os fenômenos que governam o desempenho destes processos.

Entre os objetivos específicos deste trabalho, pretende-se: montar e operar um sistema de biorreator com membrana; tratar efluentes líquidos produzindo águas com qualidade igual ou superior a inicial para serem reutilizados em uma mesma atividade produtiva; compreender melhor os fenômenos de interação entre os diversos componentes químicos presentes nos efluentes e o processo de biorreator com membranas; determinar a influência de produtos utilizados no pré-tratamento e as condições operacionais no desempenho do processo; reduzir a quantidade de produtos químicos utilizados em sistemas de tratamento de águas; diminuir a quantidade de rejeito sólido; e otimizar os parâmetros do processo MBR.

4 EXPECTATIVAS:

A reutilização da água traz como benefício a redução do impacto ambiental, uma vez que é do conhecimento de todos a escassez dos recursos naturais disponíveis referentes à água e as perspectivas malélicas à saúde se esta situação continuar.

Associado a utilização do processo de separação por membranas, o estudo de biorreatores

com membranas para o tratamento de efluentes traz como benefício a redução da quantidade de produtos químicos, do espaço físico e do consumo energético no processo de tratamento de águas e efluentes, trazendo benefícios econômicos e ambientais.

Além disso, por ser um processo biológico, o biorreator com membranas permite a degradação da carga orgânica, melhorando a qualidade do efluente líquido e reduzindo a quantidade de efluentes sólidos. Mas o interesse não está somente na remoção de matéria orgânica, como também na remoção biológica de nitrogênio, fósforo e outras substâncias, que será promovida pela utilização de biorreatores anaeróbios e ou aeróbios.

REFERÊNCIAS

- CHANG, I. S., LE-CLECH, P., JEFFERSON, B. and JUDD, S. J., Membrane Fouling in Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, **J. Environ. Eng.**, v. 128, n. 11, p.1018-1129, 2002.
- PETRASEK, A. C., KUGELAMN, I. J., AUSTERN, B. M., PRESSLEY, T. A., WINSLOW, L. A. and WISE, R. H., Fate of Toxic Organic Compounds in Wastewater Treatment Plants, **J. of Water Pollution Control Federation**, v. 55, p. 1286-1295, 1983.
- STEPHENSON, T., JUDD, S. J., JEFFERSON, B. and BRINDLE, K., Membrane Bioreactor for Wastewater Treatment, **London: IWA Publishing**, 2000.
- TABAK, H. H., QUAVE, S. A., MASHNI, C. I. and BARTH, E. F., Biodegradability Studies with Organic Priority Compounds, **J. of Water Pollution Control Federation**, v. 53, p. 1503-1518, 1981.
- VIERO, A. F., NOBREGA, R., SANT' ANNA JR., G. L., Avaliação de Membranas para um Biorreator com Membranas Submersas para Tratamento de Efluentes, In.: **XV Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Curitiba – RS, Cd: 2408, 2004.
- FIELD, R. W., WU, D., HOWELL, J. A. and GUPTA, B. B., Critical Flux Concept for Microfiltration Fouling, **Journal of Membrane Science**, v. 100, p. 259-272, 1995.