

DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE OSMOSE INVERSA COM RECICLO DE CONCENTRADO

João Utemberg Lucas Bezerra ¹
Márcia Izabel Cirne França ²

INTRODUÇÃO

Em consequência da escassez de água potável, a humanidade vem tentando explorar novas fontes de abastecimentos. Entre as soluções, os métodos de dessalinização de águas salobras surgiram com o objetivo de remover os sais da água tornando-a potável, destacando-se os processos por membranas, como a osmose inversa. No processo de dessalinização há a formação do permeado e do concentrado, este último com elevadas concentrações de sais dissolvidos.

A disposição inadequada do concentrado pode trazer sérios problemas ao ambiente, como salinização de solos e de águas superficiais, e o reciclo do concentrado no próprio sistema de dessalinização pode ser uma alternativa de uso do mesmo. O objetivo deste trabalho é estudar, através de variáveis de medida, o desempenho de um sistema de dessalinização via osmose inversa com reciclo do concentrado.

METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em parceria com o Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e concerne em um processo experimental de dessalinização de águas salobras, avaliando-se o desempenho do sistema de osmose inversa (OI), com e sem reciclo do concentrado, com a condutividade da alimentação variando de 1150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 3470 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Os experimentos foram realizados em duas etapas, sob as seguintes pressões de operação (10,0 e 12,0) bar. Na 1ª. etapa o sistema operou sem reciclo do concentrado (SR) na alimentação, e na 2ª Etapa o sistema operou com reciclo do concentrado (CR), cada etapa com duração de 60 minutos, com coletas a cada 10 minutos até o fim da batelada, para realização das análises físico-químicas condutividade, pH e cor, segundo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

O sistema utilizado foi um dessalinizador, composto de duas membranas de osmose inversa e um tanque de alimentação com capacidade de 1000 L. A fonte hídrica foi a água que se acumula na cisterna do LABDES, a qual pode receber águas de chuvas e da rede de abastecimento (CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba).

DESENVOLVIMENTO

As membranas constituem, atualmente, a principal inovação tecnológica nos processos de tratamento de água, sendo a primeira grande inovação, desde o desenvolvimento das

¹ Graduado pelo Curso de Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, joaoutemberg.lbezerra@gmail.com;

² Professora Doutora do Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, marcia-cirne@uol.com.br.

tecnologias convencionais de tratamento de água no início do século passado (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

A filtração define-se como a separação de dois ou mais componentes de uma corrente fluida baseada, primeiramente, na diferença de tamanhos. Convencionalmente, a filtração refere-se à separação de partículas sólidas de correntes líquidas ou gasosas. A filtração por membranas estende esta aplicação à separação de solutos dissolvidos em correntes líquidas e a separação de misturas gasosas (MOURA et al., 2008).

Uma membrana é uma barreira que separa duas fases e que seletivamente transfere massa entre essas fases. A membrana tem assim a capacidade de transportar determinados componentes mais eficazmente, retendo outros que fazem parte da mistura de alimentação. É, portanto uma barreira permeável e seletiva ou uma interface entre duas fases (MOURA et al., 2008).

O processo de separação por membranas é caracterizado pelo fato da corrente de alimentação ser dividida em duas correntes, a de concentrado e a de permeado, o que implica que ou a corrente de concentrado ou a de permeado será o resultado da separação (produto). As partículas e os solutos retidos na superfície da membrana são continuamente removidos no concentrado que flui tangencialmente ao longo da superfície da membrana, denominado de fluxo cruzado. A solução purificada flui através da membrana como permeado, (MOURA et al., 2008).

As membranas compostas que veio com o aperfeiçoamento do processo de construção das membranas assimétricas são conhecidas também como membranas da terceira geração (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Os cartuchos de membranas espirais são os mais utilizados em aplicações de osmose inversa. Normalmente são do tipo TFC (Thin Film Composite) fabricados em poliamida, com rejeição de sais superior a 99%. As membranas em poliamida TFC consistem de uma camada suporte (porosa) e uma camada densa de um filme fino que é uma pele de membrana trançada, formada no local sobre a camada suporte, normalmente feita em polisulfona. Este processo de fabricação das membranas possibilita o aproveitamento das propriedades do suporte e da pele (rejeição de sais) (MOURA et al., 2008).

O grande problema na dessalinização por membranas é a geração do concentrado, já que esse resíduo não pode ser depositado diretamente na natureza, pois este procedimento pode provocar a salinização do solo, que é prejudicial às culturas que nele crescem, além da possibilidade de contaminação do lençol freático. Além disso, quando o concentrado da dessalinização é lançado no oceano pode causar efeitos nos organismos marinhos, devido ao estresse osmótico que estes podem sofrer dependendo da sensibilidade individual de cada um (MOURA et al., 2008; FRITZMANN et al., 2007).

Pesquisas têm ganhado destaque por utilizar o concentrado na produção de tilápias vermelhas e plantas do gênero *Atriplex*. No Nordeste, a irrigação da *Atriplex nummularia*, também conhecida como erva sal, com efluente salino, tem sido sugerida como uma alternativa para reutilização do concentrado. Outras culturas para alimentação de ruminantes têm sido testadas, como o capim elefante e o sorgo, e verificaram que este último se apresentou como alternativa de sustentabilidade socioeconômica para o aproveitamento da água residual de dessalinização (MOURA et al., 2008; VALE e AZEVEDO, 2013).

Atualmente, o concentrado tem se mostrado adequado ao cultivo de microalgas como *Scenedesmus acuminatus* e *Chlorrella vulgaris* com finalidade de produção de biomassa para bioenergia. Além disso, verificou-se redução de salinidade do meio, o que sugere a absorção de sais por estas microalgas (LOPES, 2017).

O uso do concentrado tem sido ainda utilizado no desenvolvimento de culturas hidropônicas. Alves et al. (2016) avaliou o crescimento de alface crespa submetidas a

irrigação com o concentrado da dessalinização. Os resultados obtidos pelos autores mostraram decréscimos de produtividade com o aumento da condutividade elétrica para os parâmetros: área foliar e massa fresca da parte aérea, porém, destacam que o manejo do concentrado pode ser modificado para resultar em diferenças não significativas de produtividade, como, por exemplo, o controle do pH em faixas ideais de absorção.

Embora sempre exista resíduo da dessalinização, este pode ser reduzido através da recirculação do mesmo no próprio sistema de dessalinização, porém é importante o estudo do processo de acordo com a água de alimentação disponível, já que esse procedimento irá acelerar a formação de incrustações na membrana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) utilizando a pressão de 10 bar foram: ka-SR (1184,0), ka-CR (1184,0), kp-SR (18,1), kp-CR (31,5), kc-SR (2100), kc-CR(3510). Os resultados da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) utilizando a pressão de 12 bar foram: ka-SR (1150,0), ka-CR (3470), kp-SR (44,0), kp-CR (47,0), kc-SR (2440), kc-CR (5110)

Para as pressões 10,0 e 12,0 bar, a condutividade inicial da alimentação foi 1184 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, e foi verificado comportamento mais linear das curvas de condutividade na corrente do permeado em ambas as etapas. Conforme mencionado por Ghiggi (2011), é esperado que as amostras de permeado apresentem resultados semelhantes entre si, se a retenção da membrana é constante durante o experimento. Com pressão de 10,0 bar, a condutividade do permeado foi em média 18,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na etapa SR e 31,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na etapa CR. Ainda na etapa SR foi verificado 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no concentrado após 60 minutos e com o reciclo do concentrado, verificou-se condutividade final na alimentação de 2710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e no concentrado de 3510 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Como pode ser observado nos resultados, em pressão mais elevada (12,0 bar) a condutividade final do concentrado na etapa SR foi 2440 $\mu\text{S}/\text{cm}$, conseqüentemente, na alimentação e no concentrado na etapa CR foram observados valores de 3470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 5110 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Além disso, a condutividade média nas correntes do permeado foram maiores, 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na operação sem reciclo e 47 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com reciclo do concentrado. De acordo com Alves (2011), aumentos significativos na condutividade da água permeada em sistemas de dessalinização indicam saturação de concentrações salinas nas superfícies das membranas. Por isso, a utilização de pressões mais elevadas exige limpeza química das membranas com maior frequência, a fim de se manter a qualidade da água produzida.

POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Os resultados de pH utilizando a pressão 10 bar: pHa-SR (8,0), pHa-CR (8,4), pHp-SR (8,5) pHp-CR (8,5), pHc-SR (8,3) e pHc-CR (8,3). Os resultados de pH utilizando a pressão 12 bar: pHa-SR (8,0), pHa-CR (8,4), pHp-SR (7,4) pHp-CR (8,1), pHc-SR (8,1) e pHc-CR (8,2).

Com a aplicação da pressão de 10,0 bar, destacou-se a elevação do pH na corrente do permeado quando o sistema foi operado com reciclo do concentrado, com valores de até 8,9.

Silva et al. (2010) observou comportamento semelhante ao realizar tratamento de água em sistema de eletrodíálise com reciclo do concentrado, cujos autores afirmam que com o aumento da concentração de NaCl na alimentação, o pH sofre pequenas variações, observando que o valor do pH tende a aumentar para o permeado e diminuir para o concentrado. Verifica-se que o permeado da etapa sem reciclo apresentou os valores mais baixos de pH quando se aplicou pressão de 12,0 bar, evidenciando a influência da pressão na

formação de ácido carbônico. No entanto, em concordância com os autores citados anteriormente, para as duas pressões utilizadas, observa-se que nas operações com reciclo do concentrado os valores de pH do permeado foram quase sempre superiores àqueles das operações sem reciclo.

COR

Os resultados de cor utilizando a pressão 10 bar: cor-a-SR (10), cor-a-CR (10), cor-p-SR (0), cor-p-CR (0), cor-c-SR (10) e cor-c-CR (10). Os resultados de cor utilizando a pressão 12 bar: cor-a-SR (10), cor-a-CR (10), cor-p-SR (0), cor-p-CR (0), cor-c-SR (10) e cor-c-CR (10).

Os processos de filtração por membranas apresentam grande eficiência na remoção de colóides e partículas em suspensão que conferem cor à água, devido ao tamanho dos poros que impedem a passagem dessas substâncias. Com aplicação de pressão 10,0 bar, foi possível reduzir a cor da água de alimentação de 10,0 para 0,0 Unidade Hazen (uH) na corrente do permeado, enquanto que o concentrado apresentou valores de cor igual a alimentação, sendo observado em 60 minutos de batelada cor de 15,0 uH. Os valores não diferiram para os processos sem reciclo e com reciclo do concentrado.

Porém, no experimento realizado com pressão de 12,0 bar, não se verificou aumento na cor do concentrado com relação à cor da alimentação em nenhuma das etapas. Ao contrário dos parâmetros condutividade e pH que se mostraram influenciados pela pressão de operação, foi observada remoção total da cor em todos os experimentos independente da pressão aplicada.

RECUPERAÇÃO DO SISTEMA

Outro parâmetro que dependente da pressão de operação é a recuperação do sistema, no entanto, como ressaltado por Alves (2011) também pode ser afetada por outros fatores, como a formação de incrustação na superfície das membranas, a pressão osmótica e a qualidade da água de alimentação do sistema. Sobre o comportamento da recuperação (R%) do sistema fazendo uso e não do concentrado, o sistema de membranas para as duas situações, sem reciclo (RS) e com reciclo (CR), não mostrou diferenças significativas.

Em ambas as etapas, a aplicação de pressão de 10,0 bar permitiu a conversão de 22% da água de alimentação em permeado, obtendo recuperação maior para pressão de 12,0 bar que foi de 36%. Isso mostra que a quantidade de concentrado que é reciclado no processo não alterou a quantidade de sais na alimentação ao ponto de afetar a recuperação do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em ambos os processos de dessalinização empregados neste trabalho, sem reciclo do concentrado (SR) e com reciclo do concentrado (CR) foi verificada remoção quase total dos sais que tornava a água imprópria para o consumo humano. Na 1ª. Etapa (SR) observou-se que a água da alimentação apresentou condutividade constante, porém, na 2ª. Etapa (CR) este parâmetro aumentou progressivamente, sendo influenciada pela concentração de sais que retornava à alimentação.

Nas correntes de concentrado, os valores de condutividade aumentaram a medida que o sistema era operado a uma pressão mais elevada, fato que está diretamente relacionado com a recuperação do sistema. Também foi verificado neste trabalho que o pH na corrente do permeado na etapa SR se mostrou sempre inferior ao pH da alimentação, sendo mais evidente

quando aplicada a maior pressão utilizada (12 bar), o que se deve a formação de ácido carbônico que é favorecida pelas altas pressões de operação. Porém, na etapa CR, o permeado apresentou valores de pH quase sempre superiores àqueles da etapa SR. Ao contrário dos parâmetros condutividade e pH que se mostraram influenciados pela pressão de operação, foi observada remoção total da cor em todos os experimentos independente da pressão aplicada.

Com relação à recuperação do sistema, esta se mostrou semelhante nas etapas SR e CR, porém em ambos os processos a aplicação das pressões 10,0 bar e 12,0 bar promoveu a conversão de 22% e 36% da alimentação em permeado, respectivamente. Sendo assim, o processo de dessalinização com reciclo do concentrado se mostrou eficiente para tratamento da água de abastecimento do LABDES, a qual ao longo deste trabalho, apresentou uma faixa de $(1.115 \text{ a } 3.470)\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, possibilitando a redução do concentrado, o qual deve ter um destino adequado para não provocar impactos ambientais.

Palavras-chave: Osmose Inversa, Concentrado, Recuperação, Potabilidade.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. V. **Monitoramento das Variáveis de Medida do Sistema de Abastecimento de Produção de Água Potável da Comunidade de Uruçu – Pb. 2011.** 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial). Universidade Estadual da Paraíba, 2011.

ALVES, R. V.; LIMA, S. A.; VENUTO, R. F.; ROCHA, P. D.; FRANÇA, K. B. **Alface hidropônica cultivada com o concentrado da dessalinização como fonte alternativa para geração de renda no semiárido.** In: Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 3, 2016, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Realiza Eventos, 2016.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2005.

FRITZMANN, C.; LOWENBER, J.; WINTGENS, T.; MELIN, T. “State-of-the-art of reverse osmosis desalination”. *Desalination*, 2007.

GHIGGI, F. F. **Tratamento de águas para consumo doméstico com membranas de ultrafiltração.** 2011. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MOURA, J.P.; MONTEIRO, G.S.; SILVA, J.N; PINTO, F.A.; FRANÇA, K.P. **Aplicação do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino.** In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15. 2008, Natal. **Anais**, Natal: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008.

LOPES, M. S. M. F. **Potencial de microalgas na redução da salinidade de águas salobras visando à produção de biomassa como fonte de energia.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso.** ABES, 1ª Ed., São Paulo, 2001.

SILVA, J. I. S.; MELO, E. J.; FRANÇA, K. B. Obtenção de água para fins de análises através de um sistema composto por membranas eletrodialíticas e resinas trocadoras de íons. In: CONGRESSO QUÍMICO DO BRASIL, 1., 2010, João Pessoa. **Anais**, João Pessoa, 2010.

VALE, M. B.; AZEVEDO, P. V. **Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador.** **Holos**, v. 3, p. 181-195, 2013.