

## 10 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- O equipamento montado para o desenvolvimento do trabalho mostrou-se eficiente uma vez que o acompanhamento dos resultados experimentais confirmam a capacidade de reprodutibilidade e repetitividade deste;
- A membrana selecionada para o trabalho mostrou grande eficiência na separação seletiva de sulfatos em soluções salinas e boa resistência mecânica;
- Os problemas na etapa de montagem do equipamento mostraram que a escolha acertada do material utilizado é de fundamental importância. Para o estudo de incrustações (como foi o objetivo deste trabalho), o arraste de material oriundo de problemas de oxidação ou desgaste pode afetar significativamente as características dos depósitos. Deve-se evitar qualquer material susceptível a oxidação dando preferência, sempre que possível, a materiais poliméricos apropriados;
- Os testes com soluções simples de sal serviram como fonte de dados sobre a formação de incrustações na superfície da membrana, porém, o comportamento de formação de cristais e deposição de material na membrana é muito influenciado pela força iônica das soluções e por esta razão os dados não podem ser extrapolados;
- O estudo de sistemas multicomponentes requer avaliações paralelas do comportamento da solução variando-se a composição para que se possa avaliar o tipo de influencia que determinado íon pode exercer em

solução. Nesse trabalho parâmetro avaliado foi a influencia de  $\Delta P$  na dinâmica de formação de incrustações;

- A formação de depósito na superfície da membrana ocorreu em todos os experimentos. A análise visual através das micrografias mostra que há diferença na forma dos cristais em função da matriz utilizada, porém, apenas com o MEV não é possível identificar o mecanismo preponderante de formação das incrustações;
- Uma forma de estudar o tipo de cristalização seria a introdução de uma unidade de microfiltração em linha no sistema, se houver presença de sementes nucleadoras dentro do tanque de alimentação elas serão eliminadas e as características dos depósitos alteradas. Houve a tentativa de se adaptar no sistema um aparato como o descrito porém não houve tempo suficiente para conclusão desta avaliação;
- A avaliação das concentrações nas correntes de alimentação e permeado foi feita utilizando-se condutivímetro e cromatógrafo de íons.
- A técnica de quantificação dos íons (sulfato e cloreto) por cromatografia de íons se mostrou eficiente para todas as soluções estudadas (simples e multicomponentes). Foi necessário adequar o eluente utilizado e escolher uma coluna iônica capaz de quantificar traços de sulfato na presença de grande quantidade de cloreto;
- A introdução de NaCl nas soluções simples dos diferentes sulfatos mostrou que, comparativamente, há aumento na rejeição a sulfatos com o aumento da força iônica da solução;
- O acompanhamento da queda de fluxo permeado ao longo do tempo através da variação de massa é possível e, aparentemente, mais preciso que a medição da variação de fluxo via rotâmetro e cronômetro. Testamos um programa relativamente simples, capaz de armazenar os

dados de variação de massa por tempo, no entanto, seria necessário adaptar o sistema de maneira que fosse viável manter o experimento contínuo (sem paradas durante a noite e finais de semana);

- O funcionamento em sistema fechado, ou seja, com retorno do permeado ao tanque de alimentação, não afeta, de forma significativa, a concentração da alimentação ao longo do tempo;
- O efeito conhecido como polarização de concentração faz com que a concentração aumente próximo a superfície da membrana sendo importante conhecer o grau de polarização para estimar o potencial de incrustação;
- O cálculo do coeficiente de transferência de massa relaciona números adimensionais e requer o conhecimento de valores como: difusividade, viscosidade...Embora tenham sido usadas correlações empíricas e dados tabelados, esses cálculos são uma interessante ferramenta quando se deseja antecipar o comportamento das soluções;
- O estudo mostrou o comportamento de queda do fluxo permeado para cada agente de incrustação atuando no processo de NF. O sulfato de cálcio (solução simples) foi o agente que apresentou a incrustação mais severa, ao final do experimento o fluxo sofreu uma redução de cerca de 15% com relação ao fluxo inicial;
- O estudo do comportamento das soluções salinas simples mostrou que a permeabilidade do soluto está diretamente associada ao coeficiente de transferência de massa, porém no caso de sais de íons multivalentes outros fatores relacionados com a eletroneutralidade do sistema precisam ser considerados;
- O comportamento das soluções de sulfato de sódio e potássio é bem semelhante, uma vez que, os valores de coeficiente de transferência de

massa, difusividade e número de Peclet estão bem próximos. Quanto maior o número de Peclet, maior a resistência a transferência de massa e, portanto, menor o fluxo permeado;

- Nas soluções de sulfato de magnésio o comportamento após a adição de NaCl é contrário ao observado nas soluções de sulfato de potássio e sódio. Tal comportamento pode ser atribuído ao equilíbrio de Donnan, sendo a única solução que possui cátion divalente os efeitos de exclusão por carga influenciam de forma mais efetiva a separação;
- A avaliação visual das micrografias ajuda na caracterização dos depósitos formados, porém, em soluções multicomponentes é indispensável a utilização de EDS para melhor entendimento do fenômeno de incrustação;
- É preciso tomar muito cuidado quando se busca um aumento de fluxo permeado, via incremento da pressão de operação. Não se deve descartar o fato de que aumentando a diferença de pressão aplicada altera-se as características de formação de depósitos na superfície da membrana.

#### **10.1. Sugestões para trabalhos futuros**

- Investigar experimentalmente o comportamento de agentes químicos na inibição das incrustações;
- Investigar experimentalmente o comportamento de agentes mecânicos como a introdução de uma célula de microfiltração em linha na inibição das incrustações;

- Estudar as possíveis correlações entre os dados obtidos, a fim de propor uma metodologia de controle para o fenômeno;
- Testar a eficiência de limpeza química utilizando diferentes agentes;
- Testar a eficiência de limpeza mecânica;