

AVALIAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO DE UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO VIA OSMOSE INVERSA¹

Raniere Henrique Pereira Lira²

Sidinei Kleber da Silva³

Juliana de Mélo Cartaxo⁴

Márcia Liana Freire Pereira⁵

Kepler Borges França⁶

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo estudar o efeito do pré-tratamento químico, de um sistema de dessalinização, aplicado à água salobra de poço do município de Riacho de Santo Antônio – PB localizado no Cariri do estado da Paraíba. Considerando que o pré-tratamento é uma das etapas responsáveis pelo aumento do tempo de vida útil dos elementos de membranas, qualidade e quantidade de água produzida pelo sistema de dessalinização. Os indicadores como: análise físico-química e Índice de Saturação de Langelier (ISL), foram tomados como parâmetros na avaliação do pré-tratamento do sistema de dessalinização. O sistema operou em uma faixa de pressão de 14 kgf/cm² a 20 kgf/cm². O pré-tratamento é composto de três filtros de acetato de celulose de 5µm, um anti-incrustante ácido e outro a base de hexametáfostato de sódio. Observou-se periodicamente a partir dos resultados das análises físico-químicas e do ISL, que após o pré-tratamento a água de alimentação apresentou-se dentro da faixa de tolerância a formação de incrustação na superfície das membranas. Foi observado que a recuperação do sistema aumenta linearmente com o aumento da pressão de operação e a adição do ácido clorídrico como pré-tratamento, proporcionou um menor risco de incrustação do carbonato de cálcio na superfície da membrana.

Palavras-chave: Pré-tratamento, Dessalinização, Osmose inversa.

¹ 60^o Congresso Anual da ABM, 25 a 28 de Julho de 2005, Belo Horizonte – MG.

² Mestrando – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: raniere@labdes.ufcg.edu.br

³ Aluno de IC – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: sidinei@labdes.ufcg.edu.br

⁴ Pesquisadora – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: juliana@labdes.ufcg.edu.br

⁵ Doutoranda – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: mliana@labdes.ufcg.edu.br

⁶ Professor Orientador – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: kepler@labdes.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas encontradas pelo homem nas regiões semi-áridas, normalmente apresentam um alto índice de cloreto de sódio, carbonatos e bicarbonatos. Em função da característica geológica do solo a água pode fluir e se armazenar no subsolo, gerando assim grande potenciais hídricos. Considerando a geoquímica dos solos, os quais são constituídos de rochas cristalinas, a maioria das águas subterrâneas é salobra e imprópria para o consumo humano (Lira et al., 2003). Uma alternativa para minimizar esta situação e melhor utilização dos volumes de águas disponíveis é a instalação de equipamentos de dessalinização.

Tendo em vista a grande carência de água potável na região Nordeste, o Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande, com o apoio da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, vem desenvolvendo pesquisas e foi responsável pelos projetos e implantações de sistemas de dessalinização via osmose inversa para atender a pequenas e médias comunidades de vários estados do Nordeste. O conhecimento prévio da qualidade da água a ser dessalinizada é de fundamental importância na determinação de seus parâmetros físico-químicos. As análises físico-química e bacteriológica da água são os principais parâmetros na determinação do pré-tratamento necessário e na escolha dos tipos de elementos de membranas que irão operar durante o processo.

Neste sentido, o trabalho tem por objetivo estudar o efeito do pré-tratamento, de um sistema de dessalinização, aplicado à água salobra de poço do município de Riacho de Santo Antônio – PB.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Membranas são meios de separação seletivos que purificam correntes fluidas (líquidas ou gasosas), sem mudança de fase. Até alguns anos atrás, as membranas eram unicamente aplicadas como barreiras, de poros bem definidos, pelas quais se obtinha a separação dos contaminantes em virtude do seu tamanho físico, porém, pesquisas tendo por finalidade a dessalinização da água do mar levaram a utilização de membranas em que o efeito de separação é baseado nas propriedades físico-químicas da solução e não apenas no tamanho físico das partículas (Dow Latin América, 1996).

Embora recentes, os processos de separação com membranas têm encontrado um rápido desenvolvimento. A principal característica desses processos está relacionada ao fato da maioria das separações ocorrerem sem mudança de fase, sendo, portanto, energeticamente mais vantajosos, quando comparadas com os processos térmicos tradicionais. Além disso, são processos que apresentam um baixo custo energético e um produto final de alta qualidade (Habert et al., 1997).

Osmose Inversa (OI)

A OI e o nível final de processos de filtração disponíveis. A membrana de OI atua como uma barreira a todos os sais dissolvidos e moléculas inorgânicas com peso molecular acima de 100. As moléculas de água, por outro lado, permeiam preferencialmente através da membrana (Dow Latin América, 1996).

O processo de OI utiliza a pressão hidráulica para tirar água pura da água de abastecimento por intermédio de uma membrana. Este processo pode remover sais, dureza, microorganismos em geral e patogênicos em particular, turbidez, compostos orgânicos, pesticidas e a maioria dos contaminantes presentes na água. Mas muitos dos gases dissolvidos tais como hidrogênio sulfídrico e dióxido de carbono, irão passar através da membrana de osmose inversa (Taylor & Jacobs, 1996).

Controle de Incrustação (Pré-tratamento)

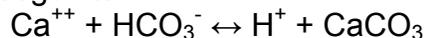
A precipitação de sais em superfícies de membranas é um problema que ocorre com frequência na OI, onde fatores como altos índices de rejeição de sais (até 99%), a concentração-polarização e a remoção de até 90% da água da solução aumentam a concentração de sais no concentrado e na superfície da membrana. Se a quantidade de sais na zona de concentração-polarização ultrapassar o limite de solubilidade os sais poderão precipitar na membrana. O controle dos processos de precipitação de sais é um dos principais condicionantes de projetos em sistemas de osmose inversa (Schneider & Tsutiya, 2001).

As operações com membranas requerem alguma medida de pré-tratamento da água de alimentação do processo. O pré-tratamento é a primeira etapa para o controle de incrustações nas membranas.

Para aumentar a eficiência e o tempo de vida do sistema de osmose inversa, se faz necessário um sistema de pré-tratamento da água de alimentação. A seleção do pré-tratamento apropriado deve ser de forma que maximize a eficiência e a vida da membrana e minimize a quantidade de sólidos suspensos na água de alimentação, a precipitação de sais solúveis como o Carbonato de Cálcio (CaCO_3) ou Sulfato de Bário (BaSO_4) e a degradação da membrana. O resultado será a otimização do fluxo de permeado, rejeição de sais, recuperação do produto e custo de operação (FilmTec, 1995).

Adição de Ácido

A maior parte das águas naturais de superfície e as águas terrestres são saturadas com relação ao CaCO_3 . A solubilidade do CaCO_3 depende do pH, como pode ser visto na equação seguinte:



Por adição do H^+ do ácido, o equilíbrio pode ser deslocado para o lado esquerdo a fim de manter o carbonato do cálcio dissolvido. O ácido sulfúrico é mais fácil de ser controlado e em muitos países mais disponível do que o ácido clorídrico, mas por outro lado, é adicionado sulfato na alimentação. Isto pode ser crítico com relação à incrustação do sulfato (FilmTec, 1995).

Adição de Inibidor de Incrustação

Os anti-incrustantes podem ser usados para controlar a incrustação do carbonato, do sulfato e do fluoreto de cálcio. Os inibidores de incrustação impedem um crescimento maior e uma precipitação dos cristais. O inibidor mais usado é o

hexametáfosfato de sódio (SHMP). Os inibidores orgânicos poliméricos de incrustação são mais eficazes do que o SHMP. Entretanto, reações de precipitação podem ocorrer com polieletrólitos catiônico ou cátions multivalentes, por exemplo, alumínio ou ferro (FilmTec, 1995).

Índice de Saturação de Langelier (ISL)

O ISL é um número usado para indicar a estabilidade do carbonato de cálcio da água, isto é, se uma água irá precipitar, dissolver ou ficar em equilíbrio com o carbonato de cálcio [4]. O ISL é calculado através da Equação 1 (Schneider & Tsutiya, 2001).

$$ISL = pH - pH_s \quad (1)$$

onde ISL: Índice de Saturação de Langelier; pH: pH da água; pH_s : pH no qual o concentrado fica saturado com $CaCO_3$.

O pH_s pode ser calculado através da Equação 2 (Mindler & Epstein, 1996; Ning & Netwig, 2002):

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (2)$$

onde:

$$A = \frac{(\text{Log}[STD] - 1)}{10} \quad (3)$$

$$B = -13,12 * \text{Log}[^{\circ}C + 273] + 34,55 \quad (4)$$

$$C = \text{Log}[Ca^{+2} \text{ como } CaCO_3] - 0,4 \quad (5)$$

$$D = \text{Log}[Alcalinidade \text{ como } CaCO_3] \quad (6)$$

Neste caso, A é um fator que depende da concentração total de sólidos dissolvidos, B depende da temperatura, o fator C depende da concentração de cálcio, e D é um fator que depende da alcalinidade.

Valores de ISL negativos indicam que não há potencial de precipitação de carbonato de cálcio. Se o ISL for positivo, indica que a precipitação do carbonato de cálcio poderá ocorrer, para valores de índice cada vez mais positivos, o potencial de precipitação aumenta (Edstrom, 2003; Ning & Netwig, 2002). Para valores de ISL iguais a zero, não haverá potencial de precipitação do carbonato de cálcio, mas pequenas variações de concentração e temperatura podem mudar o índice (Edstrom, 2003).

MATERIAIS E MÉTODOS

Sistema de Dessalinização

Uma das etapas da realização deste trabalho foi a montagem do sistema de dessalinização. Inicialmente foi realizado o projeto do dessalinizador utilizando o programa de simulação de membranas ROSA 4.3. O equipamento é composto com 3 elementos de membranas, do tipo BW30-4040 da FilmTec, ligados em série, com capacidade produção média de 600 L/h de permeado, conforme mostra a Figura 1. Além de motor bomba de alta pressão de 1,5 CV; pré-tratamento: duas bombas dosadoras da solução anti-incrustante, filtros de acetato de celulose; instrumentos

de medidas: rotômetros e manômetros; válvulas, registros, linha hidráulica de baixa e alta pressão.



Figura 1. Sistema de Dessalinização.

Operação do Sistema

Com o objetivo de trabalhar com uma água “in natura” de um poço tubular, foi coletado 400L de água do poço da cidade de Riacho de Santo Antônio, localizado no cariri do Estado da Paraíba, com uma concentração média de totais de sólidos dissolvidos de 8990 mg/L.

Considerando que a concentração do tanque de alimentação varia em função do reciclo do permeado e do concentrado, foram realizadas análises físico-químicas da água de alimentação para cada experimento.

O dessalinizador operou sob as seguintes condições:

- Faixa de pressão de operação: 14 kgf/cm² a 20 kgf/cm²;
- Sem e com, pré-tratamento químico.

Os dados experimentais foram comparados com o propósito de avaliar o efeito do pré-tratamento. As variáveis de medidas monitoradas durante cada experimento foram as seguintes:

- Condutividade elétrica e pH da alimentação, do permeado e do concentrado;
- Pressões de entrada e saída dos elementos de membranas;
- Vazões do permeado e do concentrado.

Pré-tratamento

O pré-tratamento do sistema de dessalinização foi composto da seguinte forma: três filtros de acetato de celulose de 5µm e dois sistemas de injeção de anti-incrustante na corrente de alimentação, composto de uma bomba dosadora para injeção do Flocon e outra para injeção da solução de HCl.

As condições de operação dos sistemas de injeção foram as seguintes:

- Injeção de *Flocon*: 0,12 L/h a uma concentração de 6,02 mg/L;
- Injeção de HCl: 0,005L/h de ácido clorídrico a 1N;

A dosagem dos produtos químicos aplicados no pré-tratamento, foi calculada com o auxílio dos simuladores e *ROSA 4.3* para o HCl e o *FlowDose 3.1* para o *Flocon*.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise Físico-química sem e com o Pré-tratamento

As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados comparativos das análises físico-químicas da alimentação do SDP sem e com o pré-tratamento (com *Flocon* e HCl), permeado e concentrado, sob o efeito da pressão de 16 kgf/cm². A Figura 2 mostra que após o pré-tratamento ocorreu uma diminuição nos valores do cálcio, sódio e do sulfato, que pode ser explicado pela ação do anti-incrustante, diminuindo o risco de precipitação destes sais na superfície da membrana.

A Figura 3, mostra um aumento nos valores do cálcio, sódio, sulfato e cloreto, e uma diminuição da alcalinidade, após o pré-tratamento, em consequência da adição do HCl que proporciona uma dissolução do carbonato de cálcio, deixando o cálcio dissolvido na solução, evitando assim sua precipitação como carbonato.

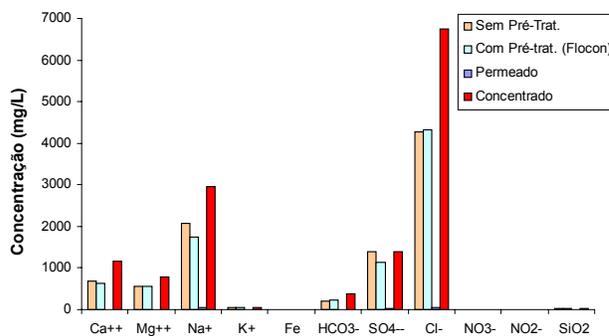


Figura 2. Análise físico-química da água de alimentação antes e após o pré-tratamento com *Flocon*, do permeado e do concentrado, para água de Riacho de Santo Antônio – PB, sob uma pressão de 16 kgf/cm².

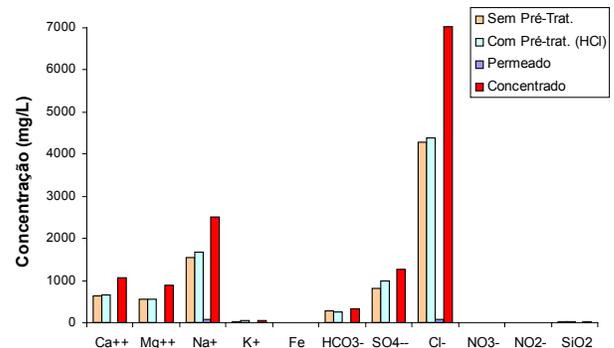


Figura 3. Análise físico-química da água de alimentação antes e após o pré-tratamento com HCl, do permeado e do concentrado, para água de Riacho de Santo Antônio – PB, sob uma pressão de 16 kgf/cm².

Análise do ISL

O ISL indica o grau de incrustação da água de alimentação do sistema. Através dos resultados das análises físico-químicas da água de alimentação, foram investigados quais os íons que poderiam estar afetando as membranas, através das equações foi avaliado a possibilidade de formação de incrustação na superfície das membranas. A formação de precipitado de CaCO₃ foi avaliada através do ISL. Os cálculos foram realizados através das Equações 1, 2 a 6 apresentadas

anteriormente. Os resultados estão mostrados na Figuras 4 e 5, que mostram a variação do ISL em função da pressão para os dois tipos de pré-tratamentos trabalhados, *Flocon* e HCl, respectivamente.

Observa-se que para os dois casos, os valores do ISL da água de alimentação sem o pré-tratamento, foram positivos. Segundo (Edstrom, 2003; Ning & Netwig, 2002), valores de ISL positivo indicam que a água possui uma tendência de precipitação de CaCO_3 . Para controlar este tipo de incrustação, deve-se ajustar o ISL a um valor negativo.

Nos casos estudados, observa-se que a utilização do HCl como pré-tratamento apresentou melhores resultados com valores de ISL menores do que sem o pré-tratamento e para a pressão de 20 kgf/cm^2 o ISL ficou abaixo de 0 (zero), conforme mostra Figura 5.

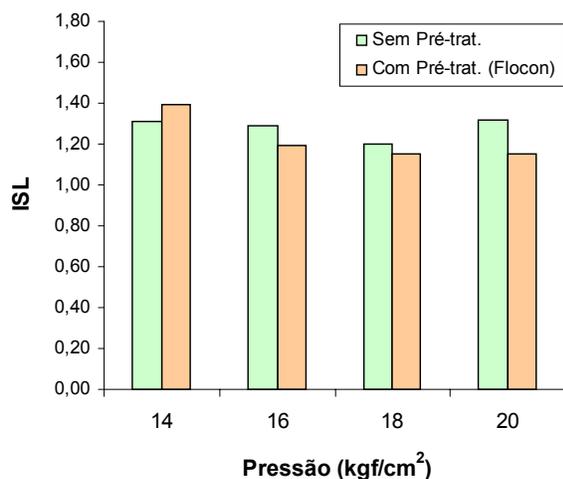


Figura 4. Variação do ISL (Índice de Saturação de Langelier) em função da pressão, para água de Riacho de Santo Antônio – PB, para o pré-tratamento com *Flocon*.

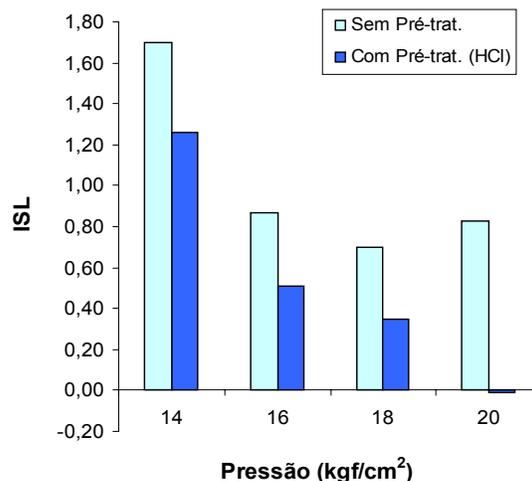


Figura 5. Variação do ISL (Índice de Saturação de Langelier) em função da pressão, para água de Riacho de Santo Antônio – PB, para o pré-tratamento com HCl.

CONCLUSÕES

Para os casos estudados, o pré-tratamento químico que apresentou melhor resultado foi com o uso do HCl, na pressão de 20 kgf/cm^2 , onde obteve-se um ISL de -0,01.

A adição do HCl como pré-tratamento, proporcionou uma diminuição da alcalinidade da água de alimentação do dessalinizador, promovendo assim um menor risco de incrustação do carbonato de cálcio na superfície da membrana.

Novas hipóteses foram levantadas no decorrer do trabalho, como estudar a influência do uso dos dois tipos de anti-incrustantes juntos, como também avaliar a ação corrosiva da água em função do pré-tratamento empregado.

Com o auxílio destes resultados poderemos desenvolver um programa de manutenção preventiva, como limpeza química dos elementos de membranas, que possa proporcionar um aumento no tempo de vida útil dos sistemas de dessalinização.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do CT-Hidro/CNPq na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOW LATIN AMERICA, A tecnologia de membrana de osmose reversa. Boletim Técnico, 1996.

EDSTROM. Disponível em: <http://www.edstrom.com/Resoirces.cfm?doc_id=161> Acesso em 10 ago. 2003.

FILMTEC, Tech Manual, Dow Chemical Company, 1995.

FLOWDOSE, Version 3.1, By BioLab Water Additives, 1999.

HABERT, A. C., BORGES, C. P. E NÓBREGA, R., Processos de separação com membranas. Escola Piloto em Engenharia Química, COPPE/UFRJ – Programa de Engenharia Química, 1997.

LIRA, R.H.P., MÉLO E.D., SILVA S.K., FRANÇA K. B., Desempenho de um protótipo de equipamento de dessalinização via osmose inversa para águas salobras de poços tubulares. In: 4º CITEM – Congresso Ibero-americano em Ciência e Tecnologia de Membranas, p. 256-261, Florianópolis – SC, 2003.

MINDLER, A. B. & EPSTEIN, A. C., Measurements and control in reverse osmosis desalination. Desalination 59: p. 343-379, 1986.

NING, R. Y. & NETWIG, J. P., Complete elimination of acid injection in reverse osmosis plants. Desalination 143: p. 29-34, 2002.

ROSA, Reverse Osmosis System Analysis, Version 4.30, Dow Chemical Company, 2000.

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

TAYLOR, J. S. & JACOBS, E.P., Reverse osmosis and nanofiltration. In: Joel Mallevalle et al (eds), Water Treatment Membrane Processes, p. 9.1-9.70. McGraw Hill, New York, 1996.

EVALUATION OF THE PRETREATMENT OF A DESALINATION SYSTEM SAW REVERSE OSMOSIS¹

Raniere Henrique Pereira Lira²
Sidinei Kleber da Silva³
Juliana de Mélo Cartaxo⁴
Márcia Liana Freire Pereira⁵
Kepler Borges França⁶

Abstract

The present work has for objective to study the effect of the chemical pretreatment, of a desalination system, applied to the brackish water of the well of Riacho de Santo Antônio city of the Paraíba state. Considering that the pretreatment is one of the responsible stages for the increase of the time of useful life of the elements of membranes, quality and amount of water produced for the desalination system. The pointers as: water analysis and Langelier Saturation Index (LSI), had been taken as parameters in evaluate of the pretreatment of a system of desalination. The system operated in a band of pressure of 14 kgf/cm² the 20 kgf/cm². The pretreatment is composed of three acetate cellulose filters of 5µm, an acid antiscalant and another one the base of sodium hexametaphosphate. One periodically observed from the results of the analysis and the LSI, which after the pretreatment the feed-water presented inside of the tolerance band the formation of scaling in the membranes surface. It was observed that the recovery of the system linearly increases of the operation pressure and the acid hidrocloridric addition as pretreatment, provided a lesser risk of scaling of calcium carbonate in the membrane surface.

Key-words: Pretreatment, desalination, Reverse osmosis.

¹ 60^o Congresso Anual da ABM, 25 a 28 de Julho de 2005, Belo Horizonte – MG.

² Mestrando – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: ranriere@labdes.ufcg.edu.br

³ Aluno de IC – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: sidinei@labdes.ufcg.edu.br

⁴ Pesquisadora – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: juliana@labdes.ufcg.edu.br

⁵ Doutoranda – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: mliana@labdes.ufcg.edu.br

⁶ Professor Orientador – UFCG/CCT/DEQ - Laboratório de Referência em Dessalinização. Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande – PB. CEP – 58109 970, Fone/Fax (83) 310 1116; e-mail: kepler@labdes.ufcg.edu.br