

# NORMALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE DESSALINIZADORES<sup>1</sup>

*Shefora Elisangela Henriques de Sousa<sup>2</sup>*

*Kepler Borges França<sup>3</sup>*

*Arleide Ricarte de Oliveira<sup>4</sup>*

*Juliana de Melo Cartaxo<sup>5</sup>*

## **Resumo**

A idéia de monitoramento através da normalização das variáveis de medida visa estudar e acompanhar o desempenho dos sistemas de dessalinização via osmose inversa. Esta técnica de trabalho nos permitirá atribuir possíveis soluções como, por exemplo, desenvolver um programa de manutenção preventiva, reajuste na dosagem de anti-incrustante e limpeza química, visando o aumento da vida útil das membranas. Os sistemas escolhidos, como a fonte de informações de dados, são alimentados com água de 816,84 e 13.664,63 mg/L de sólidos totais dissolvidos (STD), respectivamente. A partir das variáveis de medidas como: pressão, vazão, temperatura, condutividade e STD, foram avaliados os seguintes parâmetros normalizados: vazão do permeado, gradiente de pressão efetiva média (NDP), STD do permeado, passagem e rejeição de sais e o coeficiente de transferência de massa (CTM). Após a normalização dos dados, foram realizados estudos para os tipos de incrustações que poderiam estar ocorrendo nos sistemas.

**Palavras-chave:** Osmose inversa; Normalização; Monitoramento.

---

<sup>1</sup> 60º Congresso Anual da ABM – Belo Horizonte – MG, 25 a 28 de Julho 2005.

<sup>2</sup> Doutoranda - Universidade Federal de Campina Grande/Centro de Ciências e Tecnologia – doutorado em Engenharia de Processos - Laboratório de Referência em Dessalinização. E-mail: shefora@labdes.ufcg.edu.com.br

<sup>3</sup> Professor - Universidade Federal de Campina Grande/Centro de Ciências e Tecnologia - Pós-Graduação em Engenharia Química - Laboratório de Referência em Dessalinização.

<sup>4</sup> Doutoranda - Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.

<sup>5</sup> Estagiária - Universidade Federal de Campina Grande/Centro de Ciências e Tecnologia - Laboratório de Referência em Dessalinização.

## 1 INTRODUÇÃO

O projeto e a instalação de uma unidade de dessalinização deve ser precedido de análises detalhadas sobre os objetivos de qualidade de água a serem atingidos. Apesar de aparentemente simples, a tecnologia de membranas filtrantes oferece muitas possibilidades de erros de projeto, principalmente nas etapas de pré-tratamento e seleção de membranas, que podem comprometer a operação e a sua viabilidade econômica (Schneider e Tsutiya, 2001).

Entre os processos de dessalinização hoje disponíveis, a osmose inversa (OI) tem ocupado posição cada vez mais importante. A OI é utilizada para dessalinizar águas salinas, salobras e de superfície, utilizando membranas semipermeáveis sintéticas. A principal função das membranas é a rejeição de sais, que depende da temperatura, pressão, pH, concentração de sal e rendimento (Schneider e Tsutiya, 2001), estes parâmetros podem variar causando modificações na produtividade e na qualidade da água de produto. A fim de acompanhar o desempenho de um sistema de dessalinização via OI este trabalho propõe a normalização destes sistemas, visando aumentar a vida útil das membranas e otimizar o processo de dessalinização.

Segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) a normalização é uma atividade que estabelece, em relação a problemas existentes ou potenciais, prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo de ordem em um dado contexto. Ou seja, é o processo de estabelecer e aplicar normas, a fim de abordar, ordenadamente, uma atividade específica para o benefício e, em particular, de promover a otimização da economia, levando em consideração as condições funcionais e as exigências de segurança.

## 2 TEORIA

O controle dos processos de precipitação de sais é um dos principais condicionantes de projeto em sistemas de OI, onde deve ser precedido de uma análise dos componentes da água de alimentação que podem precipitar na superfície da membrana. A detecção da incrustação nas membranas pode ser realizada fazendo a normalização dos dados como vazão, passagem de sais, coeficiente de transferência de massa e concentração da água (van de Lisdonk, 2000). Para avaliar eficazmente o desempenho do sistema, é necessário comparar o desempenho nas mesmas condições. Conseqüentemente é necessário converter os dados operacionais obtidos em circunstâncias reais a uma série de circunstâncias padrão selecionadas, normalizando desse modo os dados do desempenho (Huiting et.al, 2001).

A normalização é um processo que compara o desempenho da dessalinização calculado de hoje, com o desempenho da partida do sistema à uma base de referência determinada previamente, considerando tempo e parâmetros operacionais. A normalização é realizada para ler tendências periódicas para qualidade e quantidade de produto, e não valores diários isolados do sistema.

Os parâmetros requeridos para a normalização de um sistema de dessalinização via osmose inversa são:

- Número de estágio do sistema;
- Tempo de operação (tempo de operação total excluindo paradas programadas do sistema de membrana);
- Temperatura e pressão de alimentação;

- Salinidade da alimentação ou condutividade elétrica;
- Diferencial de Pressão (perda de carga: diferencial de pressão de alimentação e concentrado);
- Pressão do permeado, se o valor final disponível for adequado;
- Fluxo final do concentrado (saída do último estágio);
- Fluxo de permeado (saída de cada estágio);
- Número de vasos de pressão (por estágio);
- Número de membranas por vasos de pressão (por estágio);

Com a normalização os dados do desempenho do sistema de OI são convertidos a:

- Fluxo normalizado da água (expresso como CTM, coeficiente de transferência de massa);
- O gradiente médio de pressão efetivo da membrana, NDP, do inglês “net driving pressure”;
- A passagem de sal normalizada (PSN).

As mudanças nos parâmetros normalizados indicam um possível problema na operação da planta. Com uma normalização apropriada pode ser detectada onde e quando o problema pode ocorrer (Huiting et.al, 2001).

As equações que descrevem os parâmetros normalizados são:

$$NDP = P_a - \frac{\Delta P}{2} - \left( \frac{\pi_a + \pi_c}{2} \right) - P_p + \pi_p \quad (1)$$

$$Q_N = Q_i * \left( \frac{NDP_r}{NDP_t} \right) * \left( \frac{FCT_r}{FCT_t} \right) \quad (2)$$

$$FCT = \exp \left[ U * \left( \frac{1}{T + 273} - \frac{1}{T_t + 273} \right) \right] \quad (3)$$

Onde U é o fator de temperatura que depende do tipo de membrana, para  $T_t \geq 25^\circ\text{C}$  U será igual à 2.640 e  $T_t \leq 25^\circ\text{C}$  U será 3.480.

$$C_{pN} = C_{pr} \frac{NDP_t + \pi_{pt} * \frac{C_{acr}}{C_{act}}}{NDP_r + \pi_{pr}} \quad (4)$$

$$\%PS_N = \left( \frac{J_{pt}}{J_{pr}} \right) * \left( \frac{SFCT_r}{SFCT_t} \right) * \frac{C_p}{C_a * FC_{lm}} \quad (5)$$

$$CTM = \frac{Q_p * FCT}{A * NDP} \quad (6)$$

O coeficiente de transferência de massa normalizado representa o fluxo corrigido para a variação da temperatura e da queda de pressão normalizada. Quando a incrustação ocorre o fluxo de produto diminuirá e/ou a pressão requerida de alimentação aumentará causando uma queda no CTM (van de Lisdonk et al., 2000).

O gradiente médio de pressão efetivo da membrana, (NDP) e a temperatura influência na permeabilidade da membrana. O NDP é função da pressão de alimentação, diferença de pressão, pressão osmótica e pressão do permeado. Com aumentos no valor do NDP, a membrana produzirá mais água. Igualmente, com

aumentos de temperatura, a membrana fica mais permeável, e aumenta a vazão. O fator de correção de temperatura (FCT) correlata à mudança na vazão. A pressão osmótica pode ser estimada pela medida da condutividade elétrica e temperatura da água, mas existem fórmulas diferentes disponíveis na literatura (Hydranautics, 2002).

Podemos dizer que as incrustações ocorrerão quando (Huiting et al., 2001):

- Gradiente médio de pressão efetivo da membrana (NDP) aumentar 10-15%;
- A passagem de sal normalizada ( $PS_N$ ) ter aumento significativo ao longo do tempo;
- coeficiente de transferência massa (CTM) diminuir 10-15%.

Isso em relação aos dados de partida da planta ou aos dados de referência, previamente escolhidos.

### **3 EXPERIMENTAL**

#### **3.1 Descrição dos Sistemas em Estudo**

Os sistemas de dessalinização estudados foram, o sistema de dessalinização da Vila de Itajubatiba (Mina do Ouro) Catingueira (Sistema 1) e o sistema de dessalinização do Município de Riacho de Santo Antônio (Sistema 2), ambos no estado da Paraíba.

Para o sistema de dessalinização da Vila de Itajubatiba (Mina do Ouro) Catingueira–PB, onde são beneficiadas 1240 pessoas, a água é proveniente de um poço tubular profundo, com uma vazão de 1,2 m<sup>3</sup>/h, estando a água com uma concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) de 816,84 mg/L (Fonte: LABDES, 2001). Esta água é bombeada para o sistema de pré-tratamento que é composto por dosagem de anti-incrustante e por uma unidade de filtro de cartucho.

Para o sistema de dessalinização do Município de Riacho de Santo Antônio – PB, onde são beneficiadas 1200 pessoas, a água é proveniente de um poço tubular profundo, com uma vazão de 2,3 m<sup>3</sup>/h, estando a água com uma concentração de STD de 13.664,63 mg/L (Fonte: LABDES, 2001). Esta água é bombeada para o sistema de pré-tratamento, que é composto por dosagem de ácido clorídrico, anti-incrustante e filtros de cartucho

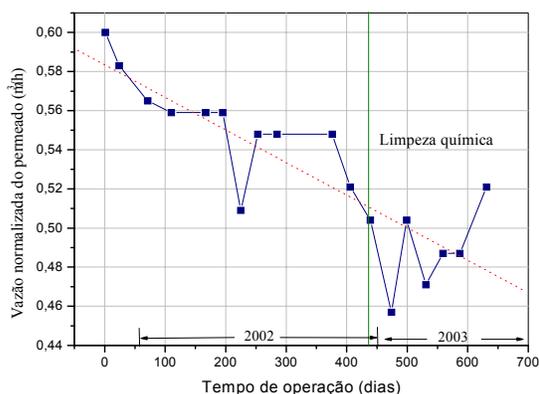
#### **3.2 Metodologia**

Com os resultados das análises físico-química da água de alimentação, foram desenvolvidas simulações de operação de um sistema de dessalinização, ou seja, foram pré-determinados os valores das variáveis de medidas, por exemplo: pressão osmótica, concentração de cada componente presente no permeado e concentrado, pressões de operação, potencial hidrogeniônico e as condições limites de operação dos elementos. Estas simulações foram realizadas através dos “softwares” dos fabricantes das membranas, o ROSA (Dow, 2000) para o Sistema 1 e o RO System (Hydranautics, 2002) para o Sistema 2.

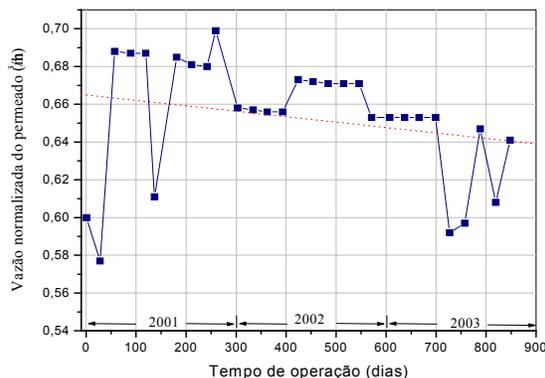
Foram realizadas análises físico-químicas da água de alimentação, permeada e concentrada. Em função destes resultados e com o auxílio das Equações 1 a 6, fez-se a normalização dos sistemas e verificou-se a possibilidade de ocorrência de incrustações.

## 4 RESULTADOS

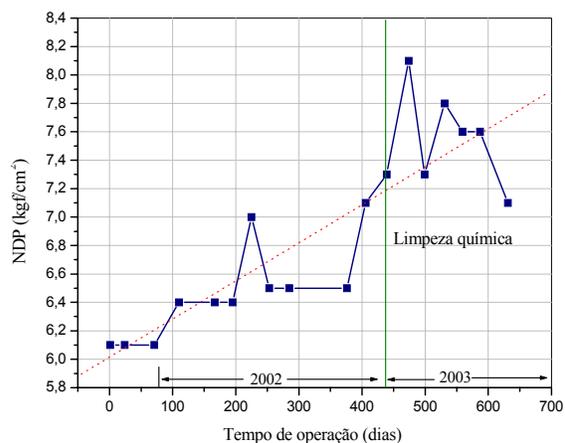
A vazão normalizada foi calculada através das Equações 1 a 3. As Figuras 1 e 2 apresentam os comportamentos da variação da vazão do permeado normalizada para os dois sistemas estudados. As Figuras 3 e 4 representam os valores do NDP para os dois sistemas.



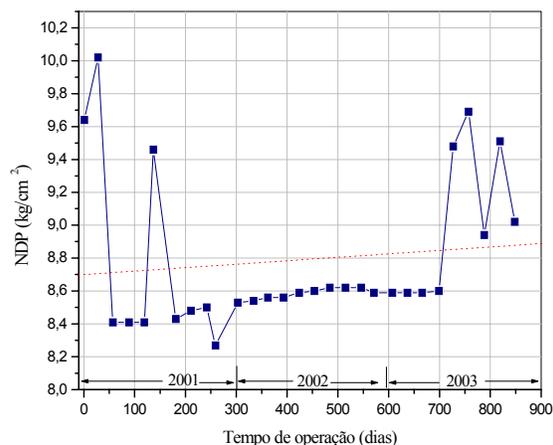
**Figura 1.** Vazão normalizada do permeado, Sistema 1.



**Figura 2.** Vazão normalizada do permeado, Sistema 2.



**Figura 3.** Gradiente de pressão efetiva média, Sistema 1.



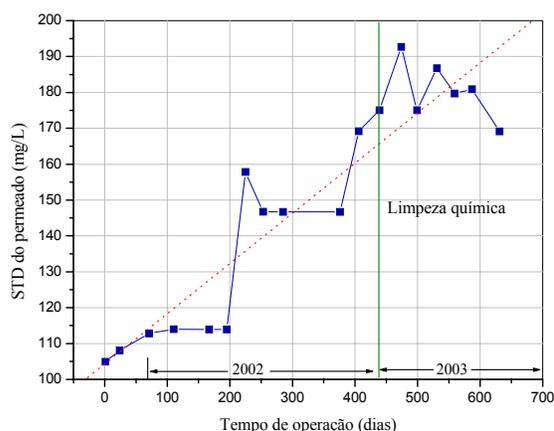
**Figura 4.** Gradiente de pressão efetiva média, Sistema 2.

A linha tracejada nas figuras representa o comportamento (tendência) dos dados.

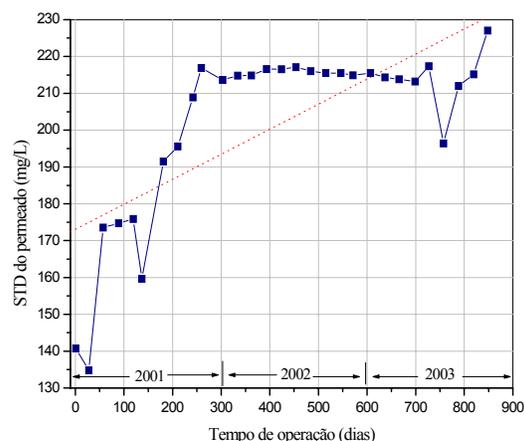
Os perfis das curvas da vazão normalizada do permeado e o NDP para os Sistemas 1 e 2 mostram que, quando a vazão diminui o NDP aumenta nos elementos de membranas. Isso demonstra que a vazão está diretamente relacionada com a variação de pressão dos sistemas, a qual também depende da concentração dos componentes presentes na água de alimentação e da temperatura. Esses parâmetros estão sujeitos a variar em função das condições climáticas onde se encontram instalados os sistemas de OI. Considerando a faixa de tolerância de 10 a 15% (início do processo de incrustação na superfície das

membranas) atribuída pela literatura (Huiting et.al, 2001; Hydranautics, 2002; FilmTec, 1995), tanto para a diminuição da vazão como para o aumento da pressão, o *Sistema 1* mostra que a vazão do permeado normalizada diminuiu 13%, e a NDP aumentou 16%. Neste caso, segundo Huiting et al. (2001) um rápido aumento no NDP poderá indicar a presença de incrustações de óxidos de metais nas primeiras membranas ou depósitos de materiais biológicos, diminuindo a vazão de produção; as membranas se encontram em fase de limpeza química. Enquanto que o *Sistema 2*, a vazão oscilou 7%. Um comportamento oposto foi observado para a NDP, onde ocorreu um aumento moderado em torno de 7%. Também segundo Huiting et al. (2001), aumentos moderados no NDP poderão indicar depósitos inorgânicos como: carbonatos, sulfatos, etc. nos últimos elementos, e /ou colóides/sílica e depósitos orgânicos nos primeiros elementos. Para esses casos recomenda-se uma limpeza química, acompanhada de uma análise físico-química da solução de limpeza, para saber que tipos de componentes podem estar fornecendo à incrustação nas membranas.

O STD normalizado, para o permeado, foi determinado através da Equação 4, podemos observar os resultados através das Figuras 5 e 6.



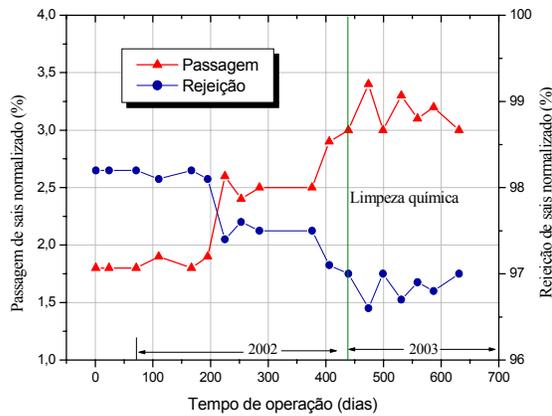
**Figura 5.** Sólidos totais dissolvido do permeado, *Sistema 1*.



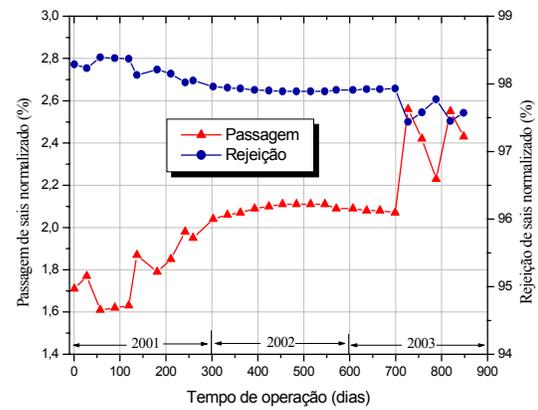
**Figura 6.** Sólidos totais dissolvido do permeado, *Sistema 2*.

Observamos para o *Sistema 1* que houve um aumento em torno de 49%, já a Figura 6 nos mostra um aumento em torno de 34% na concentração do permeado para o *Sistema 2*. A variação do STD normalizado para os dois sistemas, mostra que a concentração de sais aumenta em função do tempo. Esse aumento se encontra relacionado com o percentual da passagem de sais para o permeado durante o processo.

A passagem e rejeição de sais dos sistemas foi normalizada pelas Equações 3 e 5. As Figuras 7 e 8 apresentam os seus comportamento em função do tempo para os dois sistemas .



**Figura 7.** Passagem e rejeição de sais normalizada, *Sistema 1*

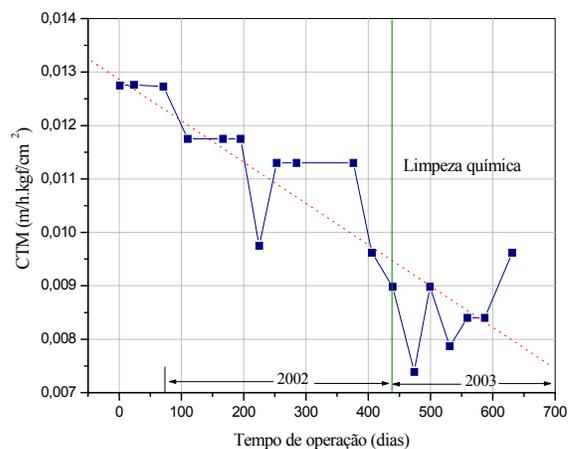


**Figura 8.** Passagem e rejeição de sais normalizada, *Sistema 2*

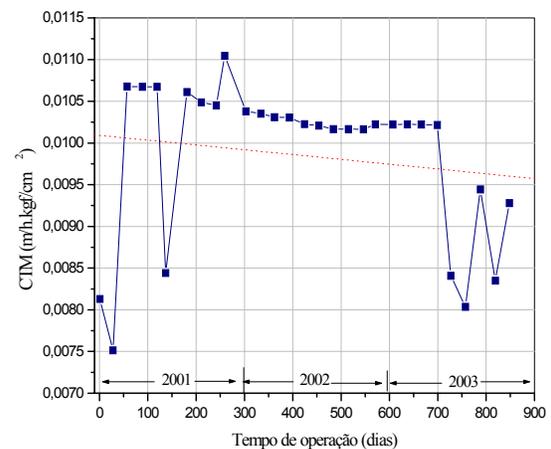
A passagem de sais através das membranas para os dois sistemas, teve um aumento de 71% e 50%, respectivamente para os *Sistema 1* e *2* e, conseqüentemente, uma diminuição na rejeição de sais pela membrana.

A passagem de sais indica quanto a qualidade do permeado diminui ao longo da vida útil da membrana. Alguns fabricantes de membranas estimam que ocorre uma queda de aproximadamente de 10% no fluxo de permeado após um ano de operação, devido a taxa de incrustações de sais na superfície da membrana, a qual torna-se uma fonte de alimentação de sais para o permeado (Hydranautics, 2002; Filmtec, 1995) Isto pode justificar os aumentos da concentração no permeado, visto no item anterior.

O coeficiente de transferência de massa (CTM) foi determinado através da Equação 6, e está representado através das Figuras 9 e 10.



**Figura 9.** Coeficiente de transferência de massa normalizada, *Sistema 1*.



**Figura 10.** Coeficiente de transferência de massa normalizada, *Sistema 2*.

Observamos que para o *Sistema 1* o CTM diminuiu significativamente 30% e segundo Huiting et al. (2001), há indicação de depósitos de óxidos de metais e/ou presença de depósitos orgânicos nos primeiros elementos de membrana. Fato deste

tipo também foi observado por Suratt et al. (2000), que aduziu em seu trabalho que a presença de incrustações orgânicas causam uma diminuição do CTM. O *Sistema 2* apresentou uma diminuição moderada de 11%, que pode indicar a existência de incrustação de sais inorgânicos nos últimos elementos de membrana, de acordo com Huiting et al. (2001).

Song et al. (2003) em seu trabalho diz que o CTM também pode ser significativamente reduzido pelo desenvolvimento da polarização de concentração.

## 5 CONCLUSÕES

Os dados normalizados descrevem o fato real do processo em função das análises físico-químicas dos afluentes e efluentes do sistema, os quais estão sujeitos a alterações em função do tempo.

O monitoramento do desempenho do sistema de OI demonstrou ser uma ferramenta forte para descobrir possíveis problemas de formação de incrustações nas membranas. A normalização dos dados operacionais nos deu condições de prever a formação de incrustações e através dos cálculos identificar a sua natureza, sem a necessidade de interromper a operação do sistema. Com a normalização podem-se otimizar as condições de operação, os procedimentos e a frequência de limpeza química.

## 6 SIMBOLOGIA

A: Área da membrana ( $m^2$ ).

Q: Vazão ( $m^3/h$ ).

NDP: O gradiente médio de pressão efetivo da membrana ( $kg/cm^2$ ).

FCT: Fator de correção de temperatura.

J: Taxa de fluxo do permeado ( $cm^3/cm^2.min$ ).

SFCT: Fator de correção de temperatura para o transporte de sal.

C: Concentração ( $mg/L$ ).

P: Pressão ( $kg/cm^2$ ).

$\pi$ : Pressão osmótica ( $kg/cm^2$ ).

PS: Passagem de sal (%).

$FC_{lm}$ : Fator de concentração média logarítmica (adimensional).

T: Temperatura ( $^{\circ}C$ ).

### Subscrito

t: condição de operação.

r: condição de projeto.

a: alimentação.

p: permeado.

c: concentrado.

N: normalizado.

## Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT-[21/09/2003], [http://www.abnt.org.br/normal\\_oque.htm](http://www.abnt.org.br/normal_oque.htm)
- 2 DOW LATIM AMERICAN, A Tecnologia de Membrana de Osmose Inversa, boletim técnico, 2000.
- 3 FILMTEC, *Manual Técnico*, 1995.
- 4 HUITING, H., KAPPELHOF, J.W.N.M., BOSKLOPPER, Th.G. J., Operation of NF/RO plant: from reactive to proactive. *Desalination*, vol. 139, p.183-189, 2001.
- 5 HYDRANAUTICS. *Membrane System Design Software, RO System Design*. Version 800©, 2002.
- 6 HYDRANAUTICS. Technical Service Bulletin, 2002
- 7 LABDES – Laboratório de Referência em Dessalinização, dados de monitoramento, 2001.
- 8 ROSA – *Reverse Osmosis System Analysis*. Version 4.30 for Windows, 2000
- 9 SCHNEIDER, R. P., TSUTIYA, M. T., Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso. ABES, 1ª ed, São Paulo, 2001.
- 10 SONG, L., HU, J. Y., ONG, S. L., NG, W. J., ELIMELECH, M., WILF, M., Emergence of thermodynamic restriction and its implications for full-scale reverse osmosis processes. *Desalination*, vol. 155, p. 213-228, 2003.
- 11 SURATT, W. B., ANDREWS, D. R., PUJALS, V.J., RICHARDS, S. A., Design considerations for major membrane treatment facility for groundwater. *Desalination*, vol.131 , p. 37-46, 2000.
- 12 VAN DE LISDONK, C.A.C., VAN PAASSEN J.A.M. and SCHIPPERS, J.C., Monitoring scaling in nanofiltration and reverse osmosis membrane systems. *Desalination*, vol. 132, p.101-108, 2000.

# NORMALIZATION AND MONITORING OF PLANTS OF DESALINATION<sup>1</sup>

*Shefora Elisangela Henriques de Sousa<sup>2</sup>*

*Kepler Borges França<sup>3</sup>*

*Arleide Ricarte de Oliveira<sup>4</sup>*

*Juliana de Melo Cartaxo<sup>5</sup>*

## **Abstract**

The monitor idea through the normalization of the measure variables seeks to study and to accompany the acting of the desalination systems through reverse osmosis. This work technique will allow to attribute us possible solutions as, for example, to develop a program of preventive maintenance, readjust in the antiscalants dosage and chemical cleaning, seeking the increase of the useful life of the membranes. The chosen systems, as the source of information of data, were fed with water of 816,84 and 13.664,63 mg/L of total dissolved solids (TDS), respectively. Starting from the variables of measures as: pressure, flow, temperature, conductivity and TDS, were appraised the following normalized parameters: flow of the permeate, net driving pressure (NDP), TDS of the permeate, salts passage and rejection and the mass transfer coefficient (MTC). After the normalization of the data it was accomplished a study of the scalings types that could be happening in the systems.

**Key-words:** Reverse osmosis; Monitor; Normalization.

---

<sup>1</sup> 60º CONGRESSO ANUAL 2005, Belo Horizonte-MG, 25 a 28 de julho de 2005

<sup>2</sup> *Doutoranda - Universidade Federal de Campina Grande/Centro de Ciências e Tecnologia – doutorado em Engenharia de Processos - Laboratório de Referência em Dessalinização. E-mail: shefora@labdes.ufcg.edu.com.br*

<sup>3</sup> *Professor - Universidade Federal de Campina Grande/Centro de Ciências e Tecnologia - Pós-Graduação em Engenharia Química - Laboratório de Referência em Dessalinização.*

<sup>4</sup> *Doutoranda - Universidade Federal de Campina Grande – Centro de Ciências e Tecnologia – Laboratório de Referência em dessalinização.*

<sup>5</sup> *Estagiária - Universidade Federal de Campina Grande/Centro de Ciências e Tecnologia - Laboratório de Referência em Dessalinização.*