

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO VIA OSMOSE INVERSA: CONSIDERAÇÕES PARA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

Giovanne de Sousa Monteiro¹; José Nilton Silva² & Henrique Lima Lessa Lôbo³

- 1) Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande – PB. e-mail: giovannemonteiro@yahoo.com.br.
 - 2) Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande – PB. e-mail: nilton@labdes.ufcg.edu.br
 - 3) Engenheiro Agrônomo – Técnico do Programa Água Doce, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande – PB, Av. Aprígio Veloso 882 Bodocongó, 58.109-970 Campina Grande – PB. e-mail: henrique_lessa@hotmail.com
-

RESUMO - A água é um dos minerais essenciais à vida, e a sua qualidade é de importância para os vários ramos da atividade industrial e consumo humano. No nordeste, assim como em várias regiões do mundo, uma das fontes de água presentes é de poços tubulares, a mesma a maioria apresenta altos índices de salinidade. A fim de minimizar a salinidade de águas salobras oriunda de poços tubulares, sistemas de dessalinização via osmose inversa são projetados para produção de água de boa qualidade. Esse trabalho apresenta as etapas do projeto de sistema de dessalinização utilizando simuladores comerciais disponíveis, a fim de obter uma água de qualidade para consumo humano. Avaliando a qualidade da água em termos de salinidade, o conjunto de membranas a ser utilizado dependerá da quantidade de água produzida requerida, e minimizar os potenciais de incrustação, visando um maior de tempo de vida útil.

Palavras-chave: dessalinização, simulação, membranas.

ABSTRACT - The water is one of essential minerals to the life, and its quality is of importance for some branches of the industrial activity and human consumption. North-eastern, as well as in some regions of the world, one of the water sources gifts it is of tubular wells, that the same a majority presents high indices of salinity. In order to minimize the deriving water salinity waste of tubular wells, desalinization systems saw osmosis inverse is projected for water production of good quality. This work presents the stages of project of desalinization system using simulator commercial available, in order to get a water of quality for human consumption. Evaluating the quality of the water in salinity terms, the set of to be used membranes will depend on the amount of produced water required, and to minimize the incrustation potentials, being aimed at a greater of time of useful life.

Word key: desalinization, simulation, membranes.

1 - INTRODUÇÃO

Na região Nordeste, devido à escassez de água potável, poços tubulares são fontes de águas, que na maioria, apresentam teores de sais acima do nível de potabilidade. Assim a dessalinização surge como um processo que gera água de boa qualidade para o consumo humano que utiliza esses tipos de poços. Em comunidade onde há água de sistemas de dessalinização, além de diminuir o teor de sais prejudicial à saúde humana, também há a redução por contaminantes microbiológico, uma vez que no processo de osmose inversa não permite a passagem de bactérias para a água produzida, Schneider e Tsutiya (2001). Assim uma melhoria significativa na qualidade de vida da comunidade é adicionada com o acesso à água de boa qualidade.

A qualidade da água para processos industriais é um dos fatores importante para um bom desempenho de equipamentos com caldeiras a vapor, trocadores de calor, entre outros. Na química analítica, a água de qualidade corresponde a total isenção de sais presentes. Mas para o consumo humano, a qualidade da água corresponde a presença de sais em faixas definidas pelo conselho nacional de saúde.

A dessalinização via osmose inversa é uma alternativa para obtenção de água de qualidade para consumo humano, utilizando água de poços tubulares ou água do mar. O porte do sistema de dessalinização dependerá de fatores como: qualidade da água de alimentação, quantidade de água a ser produzida. Esses parâmetros iniciais são importantes na escolha das membranas a serem utilizadas para simulação, e posterior avaliação de operação.

A qualidade da água é avaliada em termos de parâmetros físico-químico quanto ao teor de sais como: cálcio, magnésio, carbonatos e bicarbonatos, cloreto, sulfato, sódio, potássio, nitrato, nitrito, sílica e parâmetros físico como potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (k) e turbidez. Esses parâmetros são utilizados como entradas para projetar o sistema de dessalinização, e verificação de utilização de pré-tratamento químico em função do tipo de possível incrustante por carbonatos, sulfatos e sílica.

Os simuladores de projeto para dessalinização via osmose inversa, são obtidos por softwares livres para avaliar a qualidade da água em função da membrana a ser utilizada. Assim também aplicar prevenções como, correção do pH, para minimizar as incrustações por carbonatos e sulfatos e também.

Esse trabalho tem por objetivo apresentar os procedimentos para projeto de sistema de dessalinização via osmose inversa, utilizando simulador comercial ROSA da Filmtec®, utilizando a análise da água de alimentação e observações para medidas preventivas.

2 – REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A dessalinização é um processo de hiper filtração que retirar parcialmente os sais de água salobra ou do mar. Essa filtração é do tipo cruzada, onde movido por uma força motriz de pressão, permite a passagem da água da região concentrada para menos concentrada acompanhada por pequena quantidade de sais. Na Figura 01 é apresentada uma representação de filtração cruzada, que dá origem ao processo de osmose inversa, princípio de funcionamento de sistemas de dessalinização via osmose inversa.

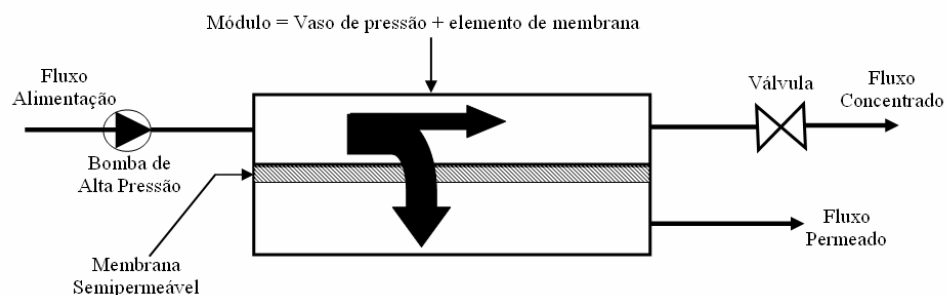
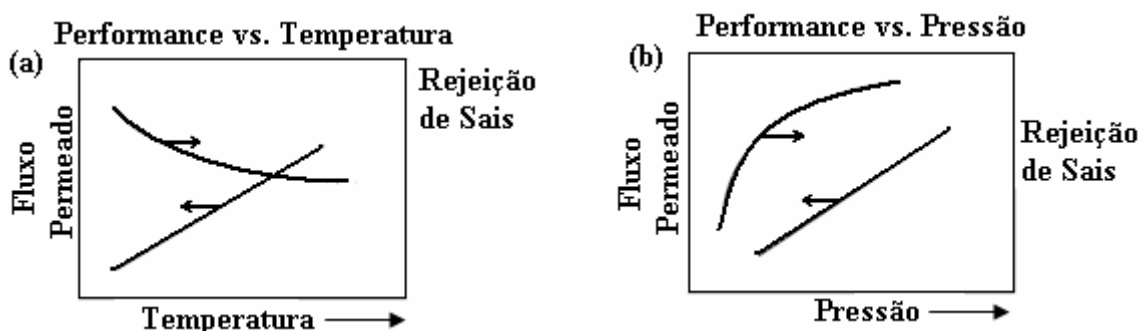


Figura 01 – Representação do fluxo cruzado, Fonte: Filmtec, (2007)

O processo de osmose natural ocorre quando duas soluções de concentração diferentes encontram-se separadas por uma membrana semipermeável. Neste caso, existe uma tendência do solvente (água), da solução menos concentrada, migrar para o ambiente onde se encontra a solução de maior concentração de sais, a qual sofre uma divisão progressiva até que as duas soluções atinjam as mesmas concentrações. Este processo é impulsionado por uma grandeza chamada "pressão osmótica", até que as duas soluções atinjam concentrações iguais que é o equilíbrio osmótico Sattamini e Lucio (1999). No processo de osmose inversa, ao ser aplicado uma pressão mecânica superior a pressão osmótica, ocorrerá o fluxo inverso onde o solvente tende a ir para a região de menor concentração de sais. Dessa forma a dessalinização via osmose inversa tem por princípio a aplicação de um gradiente de pressão na superfície de membrana, sendo as membranas um dos elementos mais importantes nesse processo.

A OI é utilizada para dessalinizar águas salinas, salobras e de superfície, utilizando membranas semipermeáveis sintéticas. A pressão aplicada deve superar a pressão osmótica da solução para separar os sais da água. Na prática, a pressão de operação deve superar também a resistência da membrana, a resistência da zona de polarização de concentração e a resistência interna do equipamento. As pressões de operação reais são, portanto, mais elevadas do que a pressão osmótica da solução. 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), tais dependências podem ser vistas através da Figura 02.



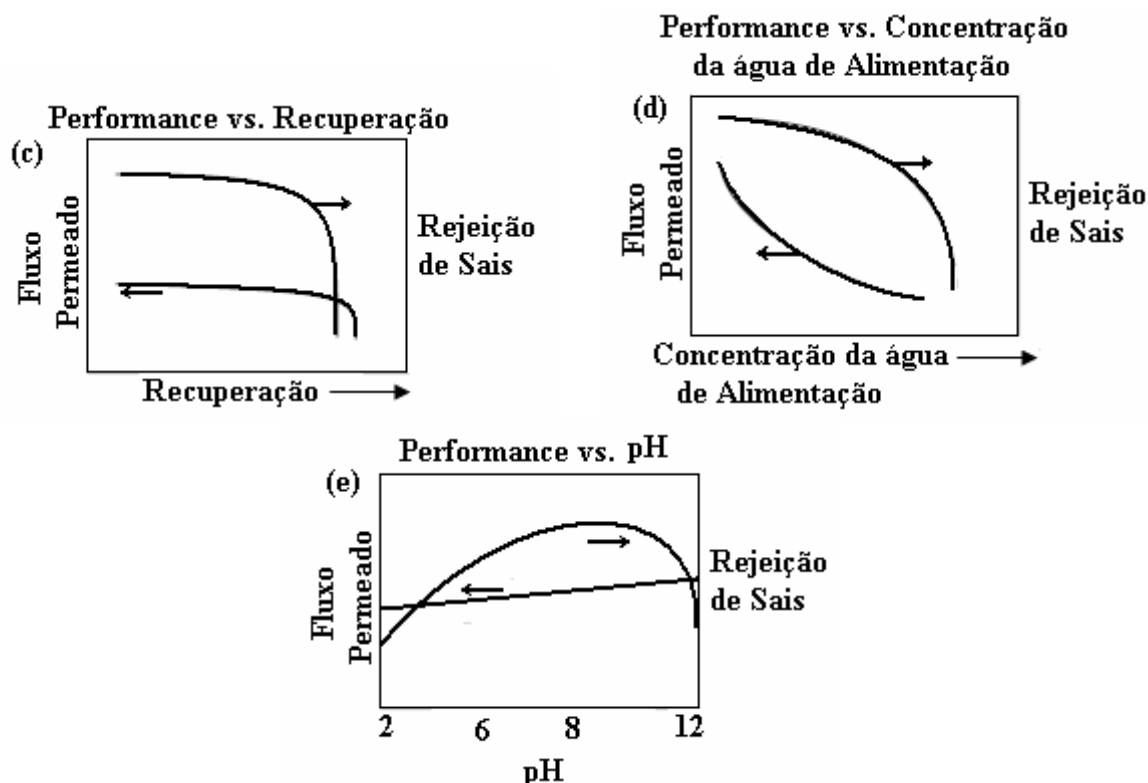


Figura 02 – Fatores operacionais que influenciam a rejeição de sais por membranas de OI: (a) temperatura; (b) pressão de filtração; (c) concentração de sal ;(d) efeito do rendimento Fonte: Filmtec (2003) e (c) pH da solução; Fonte: Filmtec (1995)

As faixas de pressão de operação das membranas, para diferentes tipos de água tratada estão indicadas no Tabela 01.

TABELA 01 – Faixas de pressão de operação de sistemas de osmose inversa para águas com diferentes níveis de salinidade Fonte: Schneider e Tsutiya (2001).

Tipo de água	Faixa de salinidade STD (mg/L)	Recuperação (%)	Pressão de operação (kgf/cm ²)
Salobra	Até 10.000	Até 80	5,00 a 20,00
Marinha	10.000 – 100.000	≤ 40	51,00 a 71,00
Salmora	> 100.000	≤ 20	-

STD = Sólidos Totais Dissolvidos

2.1 - Parâmetros de Projeto para Sistema de Osmose Inversa

Os principais parâmetros do processo de dessalinização via OI são aqueles que estão relacionados com a produtividade do sistema, quantidade de sais extraída em função da qualidade da água de alimentação, faixa de pressão de operação e consumo de energia.

2.1.1 - Pressão Osmótica

A pressão osmótica depende da concentração de solutos, temperatura da solução e do tipo de íons presentes. Quanto maior for a concentração da solução, maior será o valor da pressão osmótica dessa solução. Para soluções diluídas, a pressão osmótica pode ser calculada pela equação de Van't Hoff (Equação 2.1), Brandt et al. (1993).

$$\pi = \sum v_i c_i RT \quad (01)$$

onde: π , pressão osmótica da solução iônica (kgf/cm²); v_i , nº de íons formados na dissociação do soluto; c_i , concentração molar do soluto (mol/L); R, constante dos gases ideais (kgf.L/cm²mol.K) e T, temperatura absoluta (K).

2.1.2 - Fluxo do Permeado

O fluxo do permeado do processo de dessalinização depende diretamente de vários fatores como, por exemplo: a qualidade da água de alimentação em termos de concentração de sais dissolvidos e outras substâncias de ordem orgânica. A formação dessas substâncias próxima à superfície da membrana impede a permeação durante o processo, conseqüentemente altera as diferenças de pressões da alimentação e osmótica do sistema.

O fluxo do permeado através de uma membrana de osmose inversa é proporcional à variação de pressão osmótica e hidráulica e pode ser representado pela Equação 02, Taylor e Jacobs (1996); Dow Latin America (1996):

$$J_p = K_a (\Delta P - \Delta \pi) = \frac{Q_p}{A} \quad (02)$$

onde: J_p , fluxo do permeado (L/m² h); K_a , coeficiente de permeação de água (L/m² h kgf/cm²); ΔP , gradiente de pressão hidráulica (kgf/cm²); $\Delta \pi$, gradiente de pressão osmótica (kgf/cm²); Q_p , vazão de permeado e A, área ativa da membrana (m²).

O transporte de sais através da membrana é proporcional à concentração ou diferença de potencial químico, depende da diferença de concentração e independe da pressão aplicada ao sistema, que pode ser representado pela seguinte Equação:

$$J_s = K_s \Delta C \quad (03)$$

onde: J_s , fluxo mássico do soluto (kg/m² h); K_s coeficiente de permeação do soluto (m/s); ΔC : diferença de concentração de sais (mg/L).

ΔP , $\Delta \pi$ e ΔC são dados por:

$$\Delta P = \left[\frac{(P_a + P_c)}{2} - P_p \right] \quad (04)$$

$$\Delta\pi = \left[\frac{\pi_a + \pi_c}{2} - \pi_p \right] \quad (05)$$

$$\Delta C = \left[\frac{(C_a + C_c)}{2} - C_p \right] \quad (06)$$

na qual: P_a , P_c e P_p são as pressões de alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente (kgf/cm^2). π_a , π_c e π_p são as pressões osmóticas da alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente (kgf/cm^2). C_a , C_c e C_p são as concentrações da alimentação, do concentrado e do permeado, respectivamente (mg/L), Taylor e Jacobs (1996).

2.1.3 - Recuperação

A recuperação do sistema refere-se à percentagem da água de alimentação convertida em água permeada e depende de vários fatores, como a formação de incrustação na superfície das membranas, a pressão osmótica e a qualidade da água de alimentação do sistema.

A recuperação de um sistema pode ser definida de acordo com a Equação 07, Taylor e Jacobs (1996).

$$r(\%) = \frac{Q_p}{Q_a} \times 100 = \frac{Q_p}{Q_p + Q_c} \times 100 \quad (07)$$

onde: r , recuperação do sistema (%); Q_p , vazão de permeado (m^3/h); Q_a , vazão de alimentação (m^3/h) e Q_c , vazão do concentrado (m^3/h).

A recuperação máxima em qualquer instalação de OI, depende dos sais presentes na água de alimentação e de sua tendência a se precipitar na superfície da membrana. Com o aumento do nível de recuperação do sistema, mais água é convertida em produto. Isto reduz o volume da água a ser rejeitada e, conseqüentemente, aumenta o valor da concentração de sais dissolvidos na corrente de rejeito, assim como a possibilidade de sua precipitação na superfície da membrana (Dow Latin America (1996).

2.1.4 - Balanço de Massa

A Equação 08 apresenta o balanço de massa para um sistema de dessalinização.

$$Q_a C_a = Q_p C_p + Q_c C_c \quad (08)$$

onde: Q_a , é a vazão de alimentação (m^3/h); C_a , é a concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/L); Q_p , é a vazão do produto (m^3/h); C_p , é a concentração de sais dissolvidos na corrente de produto (mg/L); Q_c , é a vazão do concentrado (m^3/h) e C_c é a concentração de sais dissolvidos na corrente de concentrado (mg/L)

A concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado é matematicamente estimada, a partir da Equação 09:

$$C_c = \frac{Q_a C_a - Q_p C_p}{Q_c} = \frac{C_a - r C_p}{Q_c / Q_a} \quad (09)$$

Logo, temos a concentração de sais na corrente do concentrado, estimada pela equação abaixo:

$$C_c = \frac{C_a - r C_p}{1 - r} \quad (10)$$

onde: C_c é a concentração do concentrado (mg/L); C_a é a concentração de alimentação (mg/L) e r é a recuperação do sistema (%).

2.1.5 - Rejeição de Sais

A rejeição de sais (RS) fornece a capacidade da membrana de rejeitar os sais dissolvidos durante a permeação da água, Silveira (1999) e pode ser definida como:

$$RS(\%) = \frac{C_a - C_p}{C_a} \times 100 = \left(1 - \frac{C_p}{C_a} \right) \times 100 \quad (11)$$

onde: RS, é a rejeição de sais (%), C_a , é a concentração de alimentação (mg/L) e C_p , é a concentração do permeado (mg/L).

A rejeição de sais indica a efetividade de remoção de sais e outras espécies químicas pela membrana, possuindo valores que variam de 90 a 99,8 % para a maioria dos íons existentes na água, Hydranautics (2002).

Uma grande variedade de fatores influencia a rejeição de solutos por membranas: dimensões do soluto, morfologia dos componentes retidos pela membrana, tamanho dos poros da membrana, propriedades químicas da solução a ser filtrada e fatores hidrodinâmicos, que determinam a tensão de arraste e as forças de cisalhamento na superfície da membrana, Schneider e Tsutiya (2001).

2.1.5 Passagem de Sais (PS)

É oposta a rejeição de sais e representa a porcentagem do sal na água de alimentação que atravessa a membrana, ela é calculada de acordo com a Equação 3.12, Brandt et al. (1993):

$$PS(\%) = \left(\frac{C_p}{C_a} \right) * 100 \quad (12)$$

onde: PS, taxa de passagem de sais (%); C_a , concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/l); C_p , concentração de soluto na corrente de permeado (mg/L).

2.1.6 Considerações para projeto de sistema de dessalinização por Simulação

O projeto de sistema de dessalinização via osmose inversa é realizado em função da qualidade da água e da disponibilidade da vazão da fonte. No caso para poços tubulares, é importante a informação da vazão máxima para que o sistema seja projetado para uma vazão de entrada ligeiramente menor. Com as informações iniciais de qualidade em termos de concentração em partes por milhão (ppm ou mg/L) de sais totais, ou também concentração discreta de cada componente como sódio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato entre outros íons e a quantidade de água a ser produzida, simuladores comerciais podem ser utilizados para estimar o melhor arranjo em função das membranas a serem utilizadas. A disponibilidade de simuladores livres como o Software ROSA da Filmtec®, Filmtec (2007), são utilizados com frequência para construção do sistema físico de dessalinização.

São várias as medidas preventivas aplicadas a sistemas de dessalinização. A inicial diz respeito a pré-tratamentos físicos e químicos. Os pré-tratamentos físicos são realizados por sistemas de filtros, os mesmos diminuem a presença de partículas dispersas como matéria orgânica, argilas e outras partículas sólidas. No pré-tratamento químico são utilizados inibidores para prevenir a deposição de incrustantes do tipo carbonatos, sulfatos e por sílica.

Pelo fato de a água a ser tratada, ter que fluir através de passagens muito pequenas, (poros da membrana) durante o processo, um pré-tratamento se faz necessário para remoção de eventuais sólidos em suspensão e para que não ocorra precipitação de sais ou crescimento de microorganismos sobre as membranas. Atualmente o pré-tratamento consiste de filtração fina e a adição de ácidos ou outros produtos químicos para inibir aquela precipitação, constituindo na remoção de gases e ajuste do pH, Lopes (2004).

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os dois poços estudados na simulação dos projetos de dessalinização estão situados no município de Riacho de Santo Antônio. Os poços nomeados de Poço I e Poço II, estão localizados na sede do município e no sítio Tanque Raso. Foram tomados dados das vazões máximas de ambos os poços.

Foram realizadas coletas das águas para realização de análises da qualidade das águas. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Referência em Dessalinização para obtenção dos parâmetros físico-químicos tomados como base de simulação de projeto dos sistemas de dessalinização.

A simulação dos projetos de dessalinização foi realizada utilizando o Software livre ROSA da Filmtec®. O procedimento para obtenção do melhor arranjo de membranas e do tipo de membrana foi realizado nas seguintes etapas: nome do projeto, base de cálculo de balanço de massa, especificação dos parâmetros físico-químico em miligrama por litro, escolha da recuperação do sistema, produção desejada, escolha do tipo de membrana e por fim análise do melhor arranjo em função das especificações de projeto disponível pelo software.

Os sistemas de dessalinização estudados neste trabalho, são compostos por: 3 membranas do tipo BW30-4040, uma Bomba monofásica auxiliar SCHNEIDER, modelo bc-98 SC 1/3CV; três filtros de acetado de celulose de 1 micro; bomba controle de dosagem de pré-tratamento químico (bomba dosadora); Bomba de alta pressão DANCOR, modelo 3.2-B-20-2,0 CV; Bomba centrífuga de retro-lavagem DANCOR de 1/3 CV, três elementos de membranas de osmose inversa em espiral com 40 polegadas de comprimento e 4 polegadas de diâmetro cada. Os sistemas

foram projetados para operar com essa água de concentração entre 1.000mg/l a 10.000mg/l.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os projetos dos sistemas de dessalinização via osmose inversa, foram realizados com dados das vazões dos poços e concentrações em miligramas por litro (mg/L) de sais. O poço I (Sede do município Riacho de Santo Antônio) apresentava uma vazão média de 2,0 m³/h, e o poço II (Sítio Tanque Raso) uma vazão média de 2,4 m³/h. As concentrações médias dos respectivos sais nas águas dos dois poços citados no trabalho estão apresentadas no Tabela 02.

As qualidades das águas dos poços apresentam valores acima do permissível para sódio e cloreto em ambos, e sulfato para o poço I. Essas são características das águas da região Nordeste, devido à geoquímica do solo.

Tabela 02 – Valores dos parâmetros físico-químico dos Poços I e II

Parâmetros Físico-químicos	Poço I	Poço II	*VMP
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,4	7,6	6,0 a 9,5
Dureza em Cálcio, mg/L Ca ²⁺	527,0	593,0	---
Dureza em Magnésio, mg/L Mg ²⁺	432,6	490,2	---
Sódio, mg/L Na ⁺	1.396,5	1.250,4	200,0
Potássio, mg/L K ⁺	34,0	27,4	---
Carbonatos, mg/L CaCO ₃	50,0	42,0	---
Bicarbonatos, mg/L CaCO ₃	400,0	356,8	---
Sulfato, mg/L SO ₄ ²⁻	578,4	492,5	250,0
Cloreto, mg/L Cl ⁻	3.486,1	3.761,2	250,0
Nitrato, mg/L NO ₃ ⁻	0,09	0,04	10,0
Sílica, mg/L SiO ₂	21,0	37,0	---

(*)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 518/04 MS).

Utilizando o Software citado anteriormente, foi obtido o tipo de membrana, a BW30 – 4040, e o arranjo em um estágio com três membranas. A configuração para ambos os sistemas está mostrado na Figura 03. A produção de água para fins de avaliação do arranjo em série com três membranas do tipo já citado, foi de 0,48 m³/h para o sistema do poço I e 0,5 m³/h para o poço II. Os sistemas operaram a faixa de pressão próxima de 15 Kgf/cm² para o sistema I e 20 Kgf/cm².

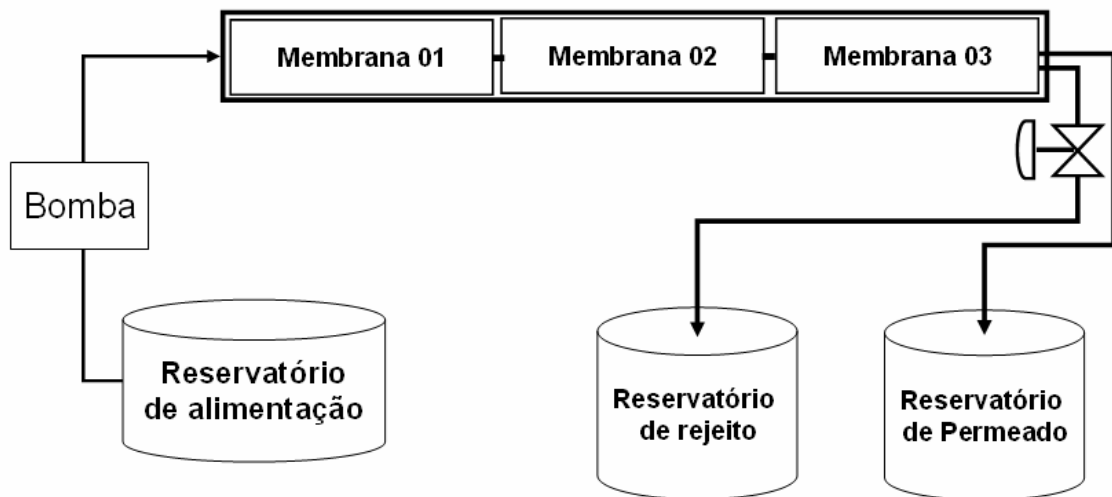


Figura 03 – Diagrama simplificado para os sistemas de dessalinização estudados

Os dados obtidos para a qualidade da água produzida por simulação e a qualidade da água para o sistema em funcionamento estão relacionado no gráfico da concentração dos componentes para ambas as correntes nas Figura 04 e 05.

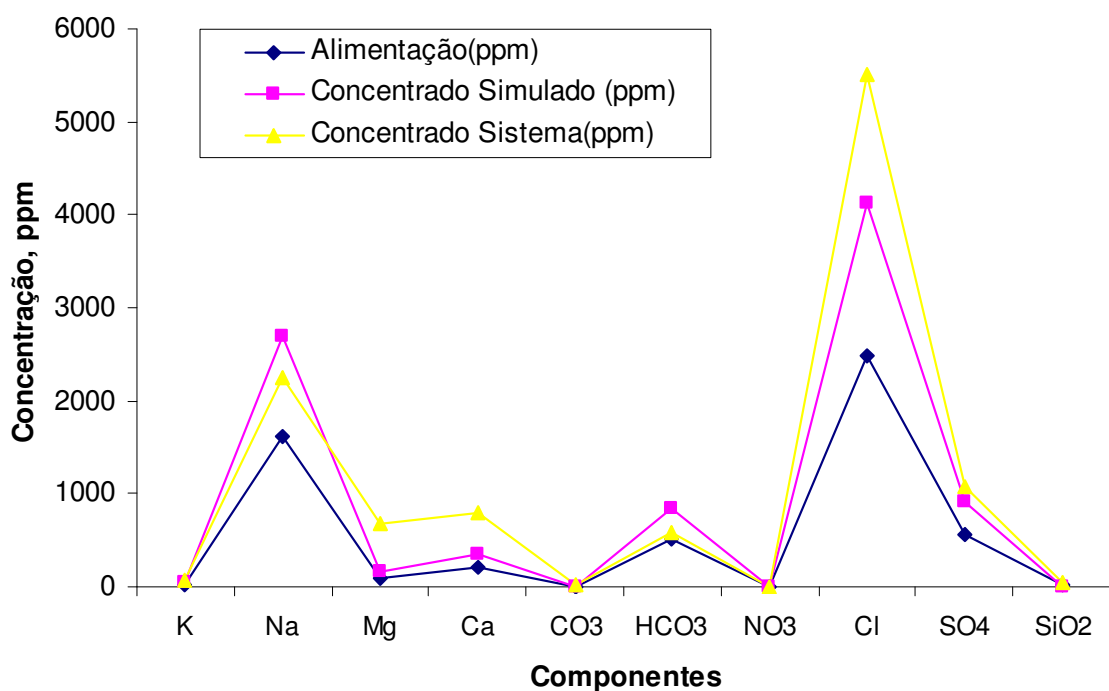


Figura 04 – Comparação entre as concentrações dos parâmetros físico-químicos simulados e do sistema em funcionamento para a corrente alimentação e dos concentrados

Na Figura 04, observa-se afastamentos entre os valores simulados e os obtidos do sistema e funcionamento. A diferença esta na concentração de cloreto, sendo ele maior que o do simulado significativamente. Mas tal afastamento é justificado pelo uso de pré-tratamento a base de cloreto, no caso do sistema projetado para o poço, foi utilizado o ácido clorídrico para ajuste do pH, com isso aumentando a concentração de cloreto na corrente do concentrado.

Na Figura 05, observa-se o mesmo comportamento citado anteriormente. Para os parâmetros cálcio, magnésio, carbonato, nitrato, e sílica, os valores sofreram desvios relativamente pequenos comparados com os demais. O aumento de cloreto no permeado, também é justificado pelo uso de pré-tratamento químico.

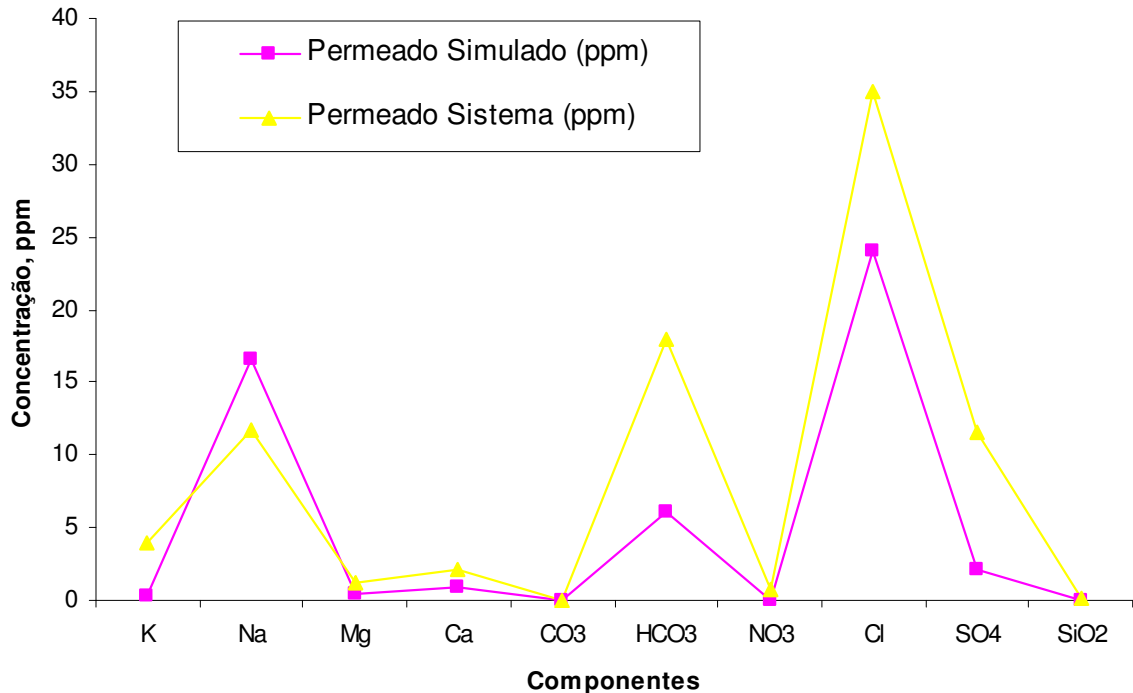


Figura 05 – Comparação entre as concentrações dos parâmetros físico-químicos simulados e do sistema em funcionamento das correntes de permeado

Ambos os gráficos mostrados na Figura 04 e 05, são representativos para os processos de simulação dos dois sistemas analisados, foi observado o mesmo comportamento, uma vez que a qualidade das águas de alimentação dos mesmos apresentam características semelhantes.

Em ambos os sistemas a qualidade da água simulada e a obtida pelo sistema se enquadram nas especificações dos valores máximos permissíveis.

De uma maneira geral, os desvios obtidos entre os valores simulados e os de funcionamento devem sempre existir, pois a simulação apenas é uma aproximação do comportamento natural do processo.

5 – CONCLUSÕES

A simulação para os sistemas de dessalinização a partir da qualidade da água dos poços em estudo, pode ser utilizada para prever a qualidade da água produto e também a água concentrada. Após instalação dos sistemas de dessalinização, o comportamento dos mesmos pode ser avaliado a partir dos parâmetros definidos pela simulação. A qualidade da água prevista pela simulação pode ser tomada como base de testes futuros para ajuste de recuperação dos parâmetros de funcionamento dos sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

BRANDT, D. C., LEITNER, G. F., LEITNER, W.E., Reverse osmosis membrane states of the art. In Zahid Amjad (ed), *Reverse Osmosis: Membrane Technology, Water Chemistry & Industrial Applications*, Van Nostrand-Reinold, New York, 1993.

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

FILMTEC, *Tech Manual*, Dow Chemical Company, 2007.

FILMTEC, *Tech Manual*, Dow Chemical Company, 1995.

FRANÇA, K. B. Projeto: *Programa Água Doce*. Universidade Federal de Campina Grande, Ministério do Meio Ambiente e Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.

LOPES, J. T., *Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido*. Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica, UEC, Campinas-SP, 2004.

HYDRANAUTICS. Technical Service Bulletin, 2002.

SATTAMINI, LUIZ E LUCIO., *Sistemas de osmose inversa*, AQUANET-Engenharia de aplicações em dessalinização-Manual técnico, 1999.

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

SILVEIRA, M. C., *Avaliação de sistema híbrido para dessalinização de águas salinas pelo processo de osmose inversa*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, Campina Grande – PB, 1999.

TAYLOR, J.S., JACOBS, E. P., *Reverse osmosis and nanofiltration*. In: Joel Mallevialle et al (ed), *Water Treatment Membrane Processes*, pp. 9.1-9.70. McGraw Hill, New York, 1996.