

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA
QUÍMICA

ESTUDO E DESEMPENHO DE UM PROTÓTIPO DE UM REATOR
PARA DESSALINIZAÇÃO DE SOLUÇÕES SALINAS VIA
OSMOSE INVERSA

ALESSANDRO BRUNO DE SOUSA DIAS

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

JULHO DE 1999

**ESTUDO E DESEMPENHO DE UM PROTÓTIPO DE UM REATOR
PARA DESSALINIZAÇÃO DE SOLUÇÕES SALINAS VIA
OSMOSE INVERSA**

ALESSANDRO BRUNO DE SOUSA DIAS

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Química da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para obtenção do
Grau de Mestre

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: OPERAÇÕES E PROCESSOS

ORIENTADOR: Prof. Kepler B. França (Ph. D)

CAMPINA GRANDE - PB

JULHO DE 1999



D541a Dias, Alessandro Bruno de Sousa.
Estudo e desempenho de um protótipo de um reator para
dessalinização de soluções salinas via osmose inversa /
Alessandro Bruno de Sousa Dias. - Campina Grande, 1999.
118 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) -
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e
Tecnologia, 1999.
"Orientação : Prof. Dr. Kepler Borges França".
Referências.

1. Reator - Protótipo. 2. Dessalinização - Soluções
Salinas. 3. Osmose Inversa. 4. Dissertação - Engenharia
Química. I. França, Kepler Borges. II. Universidade Federal
da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 66.023.2(043)

ESTUDO E DESEMPENHO DE UM PROTÓTIPO DE UM REATOR
PARA DESSALINIZAÇÃO DE SOLUÇÕES SALINAS VIA
OSMOSE INVERSA

ALESSANDRO BRUNO DE SOUSA DIAS

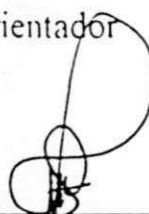
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23, 07, 1999

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Kepler B. França (Ph. D)

Orientador



Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva

Componente da banca



Prof. Dr. Severino Rodrigues de Farias Neto

Componente da banca

CAMPINA GRANDE - PB

JULHO DE 1999

DEDICATÓRIA

A memória de Severino Alves Dias,
meu pai

A Jandira de Sousa Dias, minha mãe

A meus irmãos e sobrinhos

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade do término desse trabalho.

Aos meus pais, pelo incentivo e atenção.

Ao professor Kepler Borges França, pela orientação e empenho no desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao amigo Magnus Melo, pelo companheirismo de todas as horas.

Ao professor Severino Ermenegildo pelo apoio e informações cedidas ao longo do curso.

A Maria José B. Cavalcanti e Maricé P. da Silva pela colaboração prestada.

A todos os amigos que deram sua parcela de contribuição.

Aos professores do mestrado em Engenharia Química.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro.

Ao apoio da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal em nome do Coordenador Geral de Articulação e Implementação de Planos e Programas e Coordenador do Programa Água Boa, Dr. Herbert Eugênio de Araújo Cardoso.

ÍNDICE

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	vii
SIMBOLOGIA	xv
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 - Histórico.....	2
2.2 - Processos de separação por membranas.....	3
2.2.1 - Principais aplicações de processos com membranas.....	4
2.2.2 - Processos cuja força motriz é o gradiente de pressão.....	5
2.2.3 - Microfiltração	6
2.2.4 - Ultrafiltração.....	7
2.2.5 - Aplicações da ultrafiltração	7
2.2.6 - Nonafiltração	8
2.2.7 - Osmose inversa.....	8
2.2.8 - Aplicações da osmose inversa	9
2.3 - Processo de osmose inversa	11
2.3.1 - Classificação dos processos de dessalinização	12
2.4 - Tipos de membranas existentes.....	15
2.4.1 - Membranas assimétricas.....	15
2.4.2 - Membranas de película fina composta	16
2.4.3 - Membranas de acetato de celulose.....	17
2.4.4 - Membranas de poliamida aromática.....	17
2.5 - Concentração de polarização.....	18
2.5.1 - Agentes Incrustantes (Fouling e Scaling).....	19
2.7 - Pré-tratamento	20
2.8 - Diretrizes básicas para especificações de sistemas de pré-tratamento	22
2.8.1 - Limitações impostas pelo tipo de membrana envolvida	23
2.8.2 - Limitações impostas pelo processo.....	23

2.9 - Seleção de sistemas de pré-tratamento	24
2.10 - Principais parâmetros do processo de dessalinização	24
2.10.1 - Taxa de rejeição de sais.....	24
2.10.2 - Taxa de passagem de sais.....	25
2.10.3 - Recuperação do sistema	25
2.10.4 - Balanço de massa.....	26
2.10.5 - Pressão osmótica	26
2.10.6 - Transporte de água	27
2.10.7 - Consumo de energia.....	28
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 - Material utilizado	30
3.2 - Sistema de dessalinização.....	31
3.2.1 - Soluções de estudo	31
3.2.2 - Fonte de alimentação	32
3.2.3 - Unidades de medidas.....	32
3.2.4 - Características e composição das membranas utilizadas	32
3.3 - Metodologia	33
3.3.1 - Modelos de corridas experimentais.....	33
3.3.2 - Processo de dessalinização.....	35
3.3.3 - Obtenção dos dados experimentais.....	37
3.3.4 - Conversão da condutividade elétrica para concentração em ppm ou mg/l.....	37
CAPÍTULO IV - RESULTADO E DISCUSSÕES.....	38
4.1 - Avaliação do processo de dessalinização em função da concentração e vazão.....	38
4.2 - Parâmetros do sistema de dessalinização via osmose inversa.....	41
4.2.1 - Taxa de rejeição de sais.....	41
4.2.2 - Taxa de passagem de sais.....	43
4.2.3 - Recuperação do sistema	43
4.3 - Balanço de massa.....	45
4.4 - Efeito da pressão de operação sob a concentração inicial da solução de alimentação do sistema de dessalinização.....	45
4.4.1 - Coeficiente de transferência de massa.....	58
4.5 - Variação do Potencial Hidrogeniônico	61
4.6 - Consumo e Custo de energia	64

CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	66
CAPÍTULO VI - PERSPECTIVAS	67
CAPÍTULO VII - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
APÊNDICE 1 - TABELAS	71
APÊNDICE 2 - ESPECIFICAÇÃO DA MEMBRANA.....	110
APÊNDICE 3 - PROGRAMA FORTRAN.....	112
APÊNDICE 4 - ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA.....	117

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de dessalinização via osmose inversa para soluções de cloreto de sódio e águas salobras oriundas de poços tubulares. O sistema foi testado em função da concentração dos sais dissolvidos da solução de alimentação sob diferentes gradientes de pressão. Os resultados foram obtidos a partir de dois tipos de elementos de membranas, BW2514-S e BW2514, Fluid Systems e Hydranautics, respectivamente. Foram estudados os seguintes parâmetros; taxa de rejeição de sais para cada elemento de membrana, recuperação, consumo de energia e o custo. Observou-se que o rendimento do sistema depende da concentração dos íons presentes na solução de alimentação e do gradiente de pressão que atuam no elemento de membrana. Em termos de consumo de energia e custo o sistema apresentou resultados da ordem de $1,5 \text{ kWh/m}^3$ e $\text{R\$ } 0,20/\text{m}^3$, considerados satisfatórios de acordo com a literatura.

ABSTRACT

The present work has the objective to evaluate the performance of desalination system by reverse osmosis to sodium chloride solutions and brakish water from wells. The system was tested as function of dissolved salts concentration of the feed solution under different pressure gradient. The results were obtained from two types of membranes, BW2514-S and BW2514, Fluid Systems and Hydranautics, respectively. Were studied the following parameters; rate of salt rejection of each element of membrane, recovery, consumption of energy and the cost. It was observed that the production of the system depends of the ions concentration in the solution and the pressure gradient on the element of membrane. Consumption of energy and cost provided from the system was 1.5 kWh/m³ and RS 0.20/m³, which are satisfactory according with the literature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Sistema de dessalinização	31
Figura 3.2- Sistema de dessalinização com reciclo (modelo I)	34
Figura 3.3- Sistema de dessalinização sem reciclo (modelo II)	35
Figura 4.1 - Representação da variação da T.R.S.% em função da concentração inicial de cloreto de sódio, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$ e $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.	42
Figura 4.2 - Representação da variação da T.R.S.% em função da pressão de alimentação aplicado ao sistema de dessalinização, sob as seguintes condições: $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.	42
Figura 4.3 - Representação da variação da recuperação em função da concentração inicial de cloreto de sódio, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.	44
Figura 4.4 - Representação da variação da recuperação em função da pressão de alimentação aplicada ao sistema de dessalinização, sob as seguintes condições: $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.	44
Figura 4.5 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1378 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.	46
Figura 4.6 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1378 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.	47
Figura 4.7 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1482 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.	47
Figura 4.8 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1482 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.	48
Figura 4.9 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1570 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.	48

Figura 4.10 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições:
 $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1570 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 49

Figura 4.11 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições:
 $P_a = 3,2 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$
 $C_a = 2176 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 49

Figura 4.12 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições:
 $P_a = 3,2 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$
 $C_a = 2176 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 50

Figura 4.13 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições:
 $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$
 $C_a = 2348 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 50

Figura 4.14 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições:
 $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$
 $C_a = 2348 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 51

Figura 4.15 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições:
 $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2827 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 51

Figura 4.16 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições:
 $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2827 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 52

Figura 4.17 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições:
 $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2979 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 52

Figura 4.18 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições:
 $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2979 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 53

- Figura 4.19 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 3449 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 53
- Figura 4.20 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 3449 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 54
- Figura 4.21 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 2240 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 54
- Figura 4.22 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 2240 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 55
- Figura 4.23 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 2348 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 55
- Figura 4.24 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 2348 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 56
- Figura 4.25 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 56
- Figura 4.26 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 57
- Figura 4.27 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 57
- Figura 4.28 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $Ca = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 58

Figura 4.29 - Representação da variação do fluxo de água através da membrana, em função da concentração, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 59

Figura 4.30 - Representação da variação do fluxo de água através da membrana, em função da pressão de alimentação, sob as seguintes condições: $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 59

Figura 4.31 - Representação da variação do coeficiente de transferência de massa da água, em função da concentração, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 60

Figura 4.32 - Representação da variação do coeficiente de transferência de massa da água, em função da pressão de alimentação, sob as seguintes condições: $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 60

Figura 4.33 - Potencial de hidrogênio em função da concentração de alimentação, sob as seguintes condições: $C_a = 942 \text{ mg/l}$; $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$; $\text{pHi} = 6,07$; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 62

Figura 4.34 - Potencial de hidrogênio em função da pressão de alimentação, sob as seguintes condições: $C_a = 942 \text{ mg/l}$; $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$; $\text{pHi} = 6,07$; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 62

Figura 4.35 - Potencial de hidrogênio em função da concentração de alimentação, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $\text{pHi}_{1378} = 5,81$, $\text{pHi}_{1482} = 5,83$, $\text{pHi}_{2348} = 6,07$, $\text{pHi}_{2979} = 6,10$, $\text{pHi}_{3449} = 6,12$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 63

Figura 4.36 - Potencial de hidrogênio em função da concentração de alimentação, sob as seguintes condições: $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $\text{pHi}_{1378} = 5,81$, $\text{pHi}_{2176} = 6,05$, $\text{pHi}_{2348} = 6,07$, $\text{pHi}_{2827} = 6,09$, $\text{pHi}_{2979} = 6,10$, $\text{pHi}_{3449} = 6,12$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 63

Figura 4.37- Potencial de hidrogênio em função da concentração de alimentação, sob as seguintes condições: $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $\text{pHi}_{1482} = 5,83$, $\text{pHi}_{2348} = 6,07$, $\text{pHi}_{2979} = 6,10$, $\text{pHi}_{3449} = 6,12$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Principais eventos que contribuíram para o desenvolvimento da ciência e tecnologia de membranas.	2
Tabela 2.2 - Principais processos de separação por membranas.	5
Tabela 2.3 - Aplicações da osmose inversa na indústria de alimentos.	10
Tabela 2.4 - Sumário de plantas para dessalinização por cada processo (para sistemas maiores que 25.000 galões por dia).	13
Tabela 2.5- Consumo de energia para destilação e osmose inversa para dessalinização da água do mar.	13
Tabela 2.6 - Porcentagem da Capacidade mundial (mgd) dos processos de dessalinização.	14
Tabela 2.7 - Consumo específico de dessalinização por osmose inversa e potência total instalada.	15
Tabela 4.1 - Concentração inicial, pressão de alimentação, vazão do produto e concentrado. Membrana utilizada: Hydranautics (HPMP).	39
Tabela 4.2 - Concentração inicial, pressão de alimentação, vazão do produto e concentrado. Membrana utilizada: Fluid Systems (TFC S).	40
Tabela 4.3 - Concentração inicial da amostra, pressão de alimentação, recuperação, consumo de energia e custo por metro cúbico dessalinizado. Membrana utilizada: Fluid Systems (TFC S).	65
Tabela 4.4 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,10$ l/min; $Q_c = 3,50$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 1378$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}$ C. (Membrana utilizada da Hydranautics)	72
Tabela 4.5 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,20$ l/min; $Q_c = 3,40$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 1378$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}$ C. (Membrana utilizada da Hydranautics).	72

Tabela 4.6 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,22$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm ² ; $Ca = 1378$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	73
Tabela 4.7- Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,09$ l/min; $Q_c = 3,10$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm ² ; $Ca = 1482$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	73
Tabela 4.8 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,12$ l/min; $Q_c = 2,90$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm ² ; $Ca = 1482$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	74
Tabela 4.9 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,20$ l/min; $Q_c = 2,80$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm ² ; $Ca = 1482$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	74
Tabela 4.10 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,068$ l/min; $Q_c = 3,30$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm ² ; $Ca = 1570$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	75
Tabela 4.11 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,068$ l/min; $Q_c = 3,30$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm ² ; $Ca = 1570$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	76
Tabela 4.12 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,108$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm ² ; $Ca = 1570$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	76
Tabela 4.13 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,108$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm ² ; $Ca = 1570$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	77

Tabela 4.14 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,06$ l/min; $Q_c = 3,60$ l/min; $P_a = 3,20$ kgf/cm ² ; $C_a = 2176$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	78
Tabela 4.15 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,098$ l/min; $Q_c = 3,18$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2176$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	79
Tabela 4.16 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,175$ l/min; $Q_c = 2,90$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2176$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	80
Tabela 4.17 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,23$ l/min; $Q_c = 2,78$ l/min; $P_a = 8,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2176$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	81
Tabela 4.18 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,06$ l/min; $Q_c = 3,60$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics).	82
Tabela 4.19 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,09$ l/min; $Q_c = 3,50$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2348$ mg/l, $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	82
Tabela 4.20 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,12$ l/min; $Q_c = 3,40$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	83
Tabela 4.21 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,16$ l/min; $Q_c = 3,35$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	83

Tabela 4.22 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,07$ l/min; $Q_c = 3,00$ l/min; $Q_{it} = 16,33$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2827$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	84
Tabela 4.23 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,14$ l/min; $Q_c = 2,90$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2827$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	85
Tabela 4.24 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,22$ l/min; $Q_c = 2,80$ l/min; $P_a = 8,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2827$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	86
Tabela 4.25 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,06$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2979$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	87
Tabela 4.26 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,10$ l/min; $Q_c = 3,10$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2979$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	87
Tabela 4.27 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,13$ l/min; $Q_c = 3,00$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2979$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	88
Tabela 4.28 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,06$ l/min; $Q_c = 3,30$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 3449$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	88
Tabela 4.29 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,09$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 3449$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	89

Tabela 4.30 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,12$ l/min; $Q_c = 3,10$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 3449$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)	89
Tabela 4.31 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,24$ l/min; $Q_c = 3,10$ l/min; $P_a = 2,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	90
Tabela 4.32 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,36$ l/min; $Q_c = 2,90$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems).	90
Tabela 4.33 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,47$ l/min; $Q_c = 2,75$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	91
Tabela 4.34 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,38$ l/min; $Q_c = 2,80$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2240$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	91
Tabela 4.35 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,65$ l/min; $Q_c = 2,61$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2240$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	92
Tabela 4.36 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,82$ l/min; $Q_c = 2,31$ l/min; $P_a = 8,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2240$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	93

Tabela 4.37 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Erro em função da vazão de alimentação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,13$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 1,0$ kgf/cm ² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	94
Tabela 4.38 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,28$ l/min; $Q_c = 3,00$ l/min; $P_a = 2,0$ kgf/cm ² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	95
Tabela 4.39 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,40$ l/min; $Q_c = 2,80$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm ² , $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	96
Tabela 4.40 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,53$ l/min; $Q_c = 2,60$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm ² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	97
Tabela 4.41 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,60$ l/min; $Q_c = 2,55$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm ² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	98
Tabela 4.42- Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,62$ l/min; $Q_c = 2,50$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm ² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	99
Tabela 4.43 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,41$ l/min; $Q_c = 2,75$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm ² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	100

Tabela 4.44 - Condutividade elétrica do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, pH do produto e concentrado, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,65$ l/min; $Q_c = 2,61$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2881$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	101
Tabela 4.45 - Condutividade elétrica do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, pH do produto e concentrado, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,82$ l/min; $Q_c = 2,31$ l/min; $P_a = 8,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 2881$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)	102
Tabela 4.46 - Condutividade elétrica do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, pH do produto e concentrado, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,60$ l/min; $Q_c = 2,31$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 980$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems) *Água de poço (Zabelê - PB)	103
Tabela 4.47- Condutividade elétrica do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, pH do produto e concentrado, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,60$ l/min; $Q_c = 2,73$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm ² ; $C_a = 980$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}C$. (Membrana utilizada da Fluid Systems) *Água de poço (Zabelê - PB)	104
Tabela 4.48 - Concentração inicial, Vazão do produto, Pressão de alimentação, Fluxo de água através da membrana, Variação da pressão osmótica, Gradiente de pressão, Coeficiente de transferência de massa da água: (Membrana utilizada da Hydranautics).	105
Tabela 4.49 - Concentração inicial, Vazão do produto, Pressão de alimentação, Fluxo de água através da membrana, Variação da pressão osmótica, Gradiente de pressão, Coeficiente de transferência de massa da água, sob as seguintes condições: $C_a = 942$ mg/l, $T = 25 \pm 1^{\circ}C$ (Membrana utilizada da Fluid Systems)	106

Tabela 4.50 - Concentração inicial, Vazão do produto, Pressão de alimentação, Fluxo de água através da membrana , Variação da pressão osmótica, Gradiente de pressão, Coeficiente de transferência de massa da água, sob as seguintes condições: Ca = 980 mg/l, T = 25 ±1 ⁰ C. (Poço de Zabelê - PB) ,: (Membrana utilizada da Fluid Systems)	106
Tabela 4.51 - Variação do pH do produto e concentrado para uma solução de NaCl de 942 mg/l sob as seguintes condições: Pa = 7,0 kgf/cm ² , pH _i = 6,07 ,T = 2±1 ⁰ C (Membrana utilizada da Fluid Systems)	107
Tabela 4.52 - Concentração de alimentação, Pressão de alimentação, Variação do pH do produto e do concentrado, pH inicial. (Membrana utilizada da Hydranautics)	108
Tabela 4.53 - Concentração de alimentação, Pressão de alimentação, pH do produto e concentrado sob as seguintes condições: Ca = 942 mg/l , pH _i = 6,07 T = 25 ±1 ⁰ C (Membrana utilizada da Fluid Systems)	109

SIMBOLOGIA

Ae	- Área efetiva da membrana (cm ²)
Ce	- Custo de energia (R\$)
C	- Concentração do produto (mg/l)
Co	- Concentração inicial de alimentação (mg/l)
Cl	- Concentração do concentrado (mg/l)
Ca	- Concentração de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/l)
Cc	- Concentração de sais dissolvidos na corrente de concentrado (mg/l)
Ci	- Concentração molar do soluto (mg/l)
Cp	- Concentração de sais dissolvidos na corrente do produto (mg/l)
cm	- Centímetro
DP	- Desvio padrão
E	- Consumo de energia (kWh/m ³)
EP	- Erro padrão (%)
g	- Grama
H	- Altura do nível da coluna de alimentação (ft)
h	- Hora
Jw	- Taxa da vazão do produto através da membrana (cm ³ / cm ² .s)
K	- Condutividade elétrica lida em temperatura ambiente (Ms/cm)
Kw	- Coeficiente de transferência de massa do solvente (cm ³ /kgf.s)
Kc	- Condutividade elétrica do concentrado (Ms/cm)
Kp	- Condutividade elétrica do produto (Ms/cm)
kW	- Quilowatt
kWh	- Quilowatt-hora
kgf	- Quilograma-força
l	- Litro
m	- Metro
mg	- Miligrama
min	- Minuto
ml	- Mililitro

- n_B - Eficiência da bomba
 n_M - Eficiência do motor
 n_R - Eficiência da recuperação do sistema de dessalinização
 P_a - Pressão de alimentação (kgf/cm^2)
 P_c - Pressão do concentrado (kgf/cm^2)
 P_p - Pressão do produto (kgf/cm^2)
 pH - Potencial Hidrogeniônico
 pH_i - Potencial Hidrogeniônico inicial
 PM - Peso molecular (mol)
 $P.S$ - Taxa de passagem de sais (%)
 P_1 - Pressão de entrada (kgf/cm^2)
 P_2 - Pressão de saída (kgf/cm^2)
 Q_{it} - Vazão teórica (l/min)
 $p.p.m$ - Partes por milhão
 Q_a - Vazão de alimentação (l/min)
 Q_c - Vazão do concentrado (l/min)
 Q_p - Vazão do produto (l/min)
 R_c - Constante dos gases ideais (atm.l/mol.K).
 R - Recuperação do sistema (%)
 t - Tempo de dessalinização (min)
 TDS_A - Totais de sólidos dissolvidos na alimentação (mg/l)
 TDS_C - Totais de sólidos dissolvidos do concentrado (mg/l)
 TDS_P - Totais de sólidos dissolvidos do produto (mg/l)
 T - Temperatura de trabalho ($^{\circ}\text{C}$)
 T_a - Temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$)
 $T.R.S$ - Taxa de rejeição de sais (%)

Letras Gregas

- ΔP - Gradiente de pressão (kgf/cm^2).
 $\Delta \Pi$ - Variação da pressão osmótica (kgf/cm^2).
 Π - Pressão osmótica (kgf/cm^2)

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte anos, verificou-se um aumento significativo no consumo de água potável, devido ao aumento populacional e ao avanço tecnológico das grandes indústrias de transformação localizadas nos centros urbanos. Entretanto, não há uma reserva de água potável que venha suprir a necessidade de melhoria e qualidade de vida da população, principalmente na região Nordeste, a qual é conhecida pelos seus baixos índices pluviométricos.

A maior parte da formação do subsolo dos estados do Nordeste provém de rochas cristalinas e sedimentáreas, as quais favorecem a salinização dos mananciais hídricos formados ao longo do tempo.

Os poços perfurados nessa região apresentam, na maioria das vezes, águas de altos níveis de sais dissolvidos, chegando alguns poços a se compararem à salinidade de águas oriundas do oceano, que são impróprias para o consumo humano, animal e para a irrigação.

A técnica de dessalinização que vem sendo utilizada para diminuir o índice de concentração de sais dessas águas é a osmose inversa. A mesma que vem sendo empregada, com bastante sucesso, em determinadas regiões de outros países, principalmente nas regiões áridas dos Estados Unidos e no deserto da Arábia Saudita, que apresentam o mesmo problema de águas subterrâneas com altos índices de salobridade.

A osmose inversa é um processo de separação em fase líquida que permite a eliminação de um solvente (água na maioria dos casos), de uma solução por permeação seletiva através de uma membrana sobre a ação de um gradiente de pressão.

A presente pesquisa, apresenta o estudo de um sistema de dessalinização via osmose inversa, utilizando-se um elemento de membrana semi-permeável, para dessalinizar diferentes concentrações de soluções de cloreto de sódio e água oriunda de poço, em função da pressão, com o objetivo de determinar a melhor faixa de operação, em termos de taxa de recuperação, rejeição e passagem de sais.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Histórico

As membranas sintéticas surgem como uma iniciativa de se imitar as membranas naturais, em particular quanto as suas características únicas de seletividade e permeabilidade. Para tanto, houve a necessidade da observação e compreensão do fenômeno da permeação e do desenvolvimento de técnicas de preparos de membranas sintéticas.

O primeiro registro que se tem notícia, sobre um estudo relativo a fenômenos que ocorrem com membranas data de 1748 e se deve a um abade Francês de nome Nollet. Em sua experiência, Nollet observou o transporte de água por intermédio de uma bexiga.

A Tabela 1.1 apresenta uma relação cronológica dos eventos que mais contribuíram para o desenvolvimento e da tecnologia de membranas.

Tabela 2.1 - Principais eventos que contribuíram para o desenvolvimento da ciência e tecnologia de membranas

Ano	Autores	Eventos
1748	Nollet	utilizou o termo osmose para descrever o transporte de água
1823	Dutrochell	explicação sobre osmose e difusão
1840	Mitchell	permeação H ₂ e CO ₂
1866	Graham	mecanismo solução difusão
1877	Traube-Pfeffer	estudos quantitativos sobre osmose
1887	Van'Hoff	comportamento de solução diluída
1906	Bechhold	técnica de preparo membranas microporosas de nitrocelulose
1930	"Sartorius"	utilização comercial de membranas microporosas
1944	Kolff	desenvolvimento do primeiro hemodializador
1960		desenvolvimento da base para a tecnologia e ciência de membrana (Loeb e Sourirajan, Riley, etc). U.S. Department of interior; Office of saline Water.

2.2 - Processos de separação por membranas

No início da década de 70, em adição aos processos clássicos de separação como: Destilação, filtração, absorção, centrifugação e outros, surge uma nova classe de processos que utiliza membranas como barreira seletiva.

Membranas são películas utilizadas na separação seletiva que purificam correntes fluidas (líquidas ou gasosas), sem mudança de fase. A tecnologia de membranas é um marco tecnológico que se tornou comercialmente viável nos últimos 20 anos.

Os processos de separação por membranas, atingiram o status de processos comerciais, apresentando uma série de vantagens que os permite competir com as técnicas clássicas de separação. Podemos citar algumas dessas vantagens:

- Economia de energia

Os processos de separação por membranas, promovem a separação sem que ocorra a mudança de fase, consequentemente estes processos tornam-se energeticamente favoráveis.

- Seletividade

Os processos híbridos, envolvendo processos com membranas tem se mostrado como a opção mais econômica e eficiente de separação.

- Separação de termolábeis

Os processos com membranas operam a temperatura ambiente, por este motivo eles têm sido largamente empregados na indústria farmacêutica e de alimentos.

- Simplicidade de operação e “scale up”

Os processos com membranas apresentam a vantagem de serem extremamente simples do ponto de vista operacional e em termos de “scale up”. Os sistemas são modulares e os dados para o dimensionamento de uma planta podem ser obtidos a partir de equipamentos pilotos operando com módulos de membrana de mesma dimensão daqueles utilizados industrialmente. Além disso, a operação dos equipamentos com membranas é simples e não precisa de mão de obra especializada e intensiva.

2.2.1 - Principais aplicações de processos com membranas

- Química
 - Fracionamento do ar: obtenção de gás inerte
 - Fracionamento CO₂/CH₄
 - Quebra do azeótropo benzeno/hexano
 - Recuperação de H₂ - Síntese da amônia
- Tratamento de águas
 - Dessalinização de águas salobras
 - Eliminação de traços de orgânicos
 - Tratamento de esgotos municipais
 - Água ultrapura para indústria eletrônica
 - Desmineração de águas para caldeiras
- Biotecnologia e Farmacêutica
 - Separação de substância termolábeis
 - Purificação de enzimas
 - Desidratação de etanol
 - Fracionamento de proteínas
 - Bio-reatores a membranas
- Medicina
 - Esterilização de substâncias injetáveis
 - Dosagem controlada de remédios
 - Rim artificial - Hemodiálise
 - Pulmão artificial - Oxigenadores
 - Ar enriquecido em oxigênio

- Alimentícia e bebidas
 - Clarificação de vinhos e cervejas
 - Concentração de sucos de frutas
 - Desalcoolização de vinhos e cervejas
 - Concentração de leite
 - Concentração do soro de queijo

- Tratamento de despejos industriais
 - Recuperação de índigo - Têxtil
 - Recuperação de PVA - Têxtil
 - Recuperação de íons metálicos - Couro
 - Recuperação de proteínas - Laticínio
 - Separação água/ óleo
 - Tratamento de água - Papel e Celulose

2.2.2 - Processos cuja força motriz é o gradiente de pressão

A Tabela 2.2, relaciona os principais processos de separação por membranas, força motriz e material retido. (Habert, Borges & Nobrega, 1997).

Tabela 2.2 - Principais processos de separação por membranas.

Processo	Força Motriz	Material retido
Microfiltração	(0,5 a 2 atm)	Material em suspensão, bactérias. PM>500.000
Ultrafiltração	(1 a 7 atm)	Coloides, Macromoléculas. PM>5000
Nanofiltração	(5 a 25 atm)	Moléculas de peso molecular médio. 500<PM<2000
Osmose Inversa	(15 a 80 atm)	Todo material solúvel ou em suspensão.

Os processos com membranas onde a força motriz é a diferença de pressão têm sido utilizados para concentrar, fracionar e purificar soluções diluídas ou soluções aquosas.

Em função da natureza e do tipo de solutos e da presença ou não de partículas em suspensão, membranas com diferentes tamanhos e distribuição de poros ou mesmo densas são empregadas, caracterizando os processos como microfiltração, ultrafiltração e osmose inversa. A nonafiltração é um processo com membranas capaz de efetuar separações de moléculas de peso molecular médio (entre 500 e 2000 Daltons), situando-se entre o limite superior da ultrafiltração e o limite inferior da osmose inversa. (Dow,1993; Nobrega,1997).

2.2.3 - Microfiltração

A microfiltração é o processo de separação com membranas mais próximo da filtração clássica. Utiliza membranas porosas com poros na faixa entre 0,1 e 10 μm , são processos indicados para retenção de materiais em suspensão e emulsão. A pressão aplicada não ultrapassa 3,06 Kgf/cm². (Dow,1992 ; Habert, Borges & Nobrega, 1997).

Na microfiltração o solvente e todo material solúvel permeia a membrana, apenas o material em suspensão é retido, removendo partículas de 0,1 a 1 micron. (Osmonics, 1989).

O mercado da microfiltração está por volta de 1 bilhão de dolares, sendo o maior mercado de processos de membranas depois da hemodiálise (rim artificial). (Gagliardo & Adham,1993; Habert, Borges & Nobrega, 1997).

Aplicações da Microfiltração:

- Esterilização
- Clarificação
- Purificação de águas

2.2.4 - Ultrafiltração

A ultrafiltração é um processo de separação com membranas utilizado quando se deseja purificar e fracionar soluções contendo macromoléculas. As membranas de ultrafiltração apresentam poros na faixa entre 1 e 100 nm, portanto mais fechadas do que as membranas de microfiltração. Soluções contendo solutos de peso molecular (10^3 a 10^6 Daltons) podem ser tratadas por este processo. Como os poros das membranas de ultrafiltração são menores, então as diferenças de pressão variam na faixa de 2 a 10 bar. A taxa de rejeição da membrana de ultrafiltração é de 95.

2.2.5 - Aplicações da ultrafiltração

As aplicações da ultrafiltração são a clarificação, concentração e fracionamento de solutos. A separação é eficiente quando existe pelo menos uma diferença de dez vezes no tamanho das espécies. Também é largamente utilizada na indústria de alimentos, bebidas e laticínios, aplicações na biotecnologia e na área médica. São exemplos de aplicações:

- Recuperação de tintas colóidais utilizadas na pintura de veículos
- Recuperação de proteínas do soro de queijo
- Produção de queijo
- Recuperação da goma na indústria têxtil
- Concentração de gelatina
- Recuperação de óleos

A ultrafiltração permite a separação de macro-moléculas na faixa de 20 a 1000 ângstrons (0,002 a 0,1 micron). (Dow, 1992; Habert, Borges & Nobrega, 1997).

2.2.6 - Nanofiltração

A nanofiltração compreende um processo de membranas especiais, no qual as partículas rejeitadas situam-se na faixa de 10 Ângstrons (1nm), daí a denominação “nanofiltração”. Este processo atua no setor entre a ultrafiltração e a osmose inversa. Todas as moléculas orgânicas com elevado peso molecular são rejeitadas. Os sais dissolvidos constituídos por ânions monovalentes tem taxas de rejeição de 20 a 80%, enquanto que os constituídos por ânions divalentes possuem taxas de rejeição da ordem de 90 a 98%. (Dow, 1993; Hydranautics, 1994).

2.2.7 - Osmose inversa

Atualmente a osmose inversa vem atuando como o nível final de processos de filtração disponíveis. A membrana de osmose inversa atua como uma barreira a todos os sais dissolvidos e moléculas inorgânicas com peso molecular acima de 100. As rejeições típicas de sais dissolvidos atingem a marca de 95 a 99%. (Dow, 1993 ; Fluid Systems, 1995 ; Hydranautics, 1994).

Em resumo, podemos dizer que a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração e a osmose inversa são processos de separação por membranas, os quais diferem entre si na dimensão física do material retido pela membrana.

As membranas de osmose inversa são capazes de separar microsolutos dissolvidos com peso molecular inferior a 500 através do mecanismo de solução/difusão. Quando o peso molecular das partículas do soluto exceder este valor, o mecanismo de separação será determinado pelo tamanho das partículas presentes na solução e pelo diâmetro dos poros existentes na membrana. (Dow, 1993; Habert, Borges & Nobrega, 1997).

2.2.8 - Aplicações da osmose inversa

O desenvolvimento recente de novas gerações de membranas, resistentes à ampla faixa de pH, altas temperaturas, à presença de produtos cáusticos e fluxos dos produtos mais elevados ampliou o campo de aplicação da osmose inversa. Além de sua aplicação na dessalinização de águas salobras e do mar, a osmose inversa tem sido utilizada no tratamento de águas duras na produção de água ultrapura, na indústria alimentícia e em muitas outras aplicações. A osmose inversa pode também ser usada em combinação com a ultrafiltração, pervaporação, destilação e outros processos clássicos de separação, nos processos híbridos de separação, mais eficientes do que cada uma dessas técnicas isoladamente. (Habert, Borges & Nobrega, 1997; Malleivable, Odendaal & Wiesner, 1996; Porter, 1996)

- Dessalinização de água do mar e águas salobras

A dessalinização de águas para se produzir água potável é a grande aplicação da osmose inversa. Este processo vem sendo utilizado, nas últimas décadas em todo mundo. Levantamento recente revela que os processos de osmose inversa representam cerca de 24% dos 11,5 bilhões de m³/dia de água potável produzida no mundo por todos os processos de dessalinização. (Wangnick, 1992)

Competem com a osmose inversa, a destilação "Flash" ou instantânea, a compressão de vapor (CP), a destilação multiestágio (MED), a evaporação solar, o processo de congelamento e a eletrodialise. As vantagens da osmose inversa incluem o baixo consumo energético, custos de capital e de operação, necessidade de pequenos espaços e facilidade de construção, operação e manutenção, devido a natureza modular do processo. (Wangnick, 1992; Habert, Borges & Nobrega, 1997).

- Tratamento de águas residuais

Os processos de osmose inversa para tratamento de águas residuais têm sido aplicados nas indústrias químicas, têxtil, petroquímica, polpa, papel e alimentos, bem como em águas

municipais. Os processos com membranas vem substituindo processos tradicionais como tratamento biológico, adsorção e oxidação. (Dow, 1993; Habert, Borges & Nobrega, 1997).

- Aplicações na indústria de alimentos

A Tabela 2.3, apresenta um resumo das principais aplicações da osmose inversa na indústria de alimentos. (Winston & Silkar, 1992).

Tabela 2.3 - Aplicações da osmose inversa na indústria de alimentos

Tipo de separação	Exemplo
Tratamento de água	<ul style="list-style-type: none"> • Pré tratamento de água de caldeira • Reciclo de águas de processo • Tratamento de águas duras
Recuperação de produtos e insumos	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperação de açúcares e ácidos de águas de lavagem de frutas • Recuperação de insumos cáusticos utilizados para retirar a pele de frutas.
Concentração	<ul style="list-style-type: none"> • Concentração de sucos (tomate, laranja, maçã e uva). • Concentração de leite e de soro de queijo.
Fracionamento	<ul style="list-style-type: none"> • Clarificação de sucos de frutas • Recuperação de aromas, fragrâncias, pectinas e proteínas. • Remoção do limoneno do suco de laranja • Remoção de álcool do vinho

2.3 - Processo de osmose inversa

O fenômeno osmose é de fundamental importância na natureza já que o transporte seletivo através de membranas é essencial à vida e foi descrito pela primeira vez há mais de duzentos anos. A osmose natural, vital para os sistemas biológicos, envolve a ação da água quando duas soluções de concentrações diferentes são separadas por uma membrana semi-permeável. A água pura fluirá, através da membrana, da solução menos concentrada em direção à mais concentrada, até que as duas soluções, atinjam o equilíbrio.

Neste ponto, o nível da coluna de solução do lado da solução mais concentrada está acima do correspondente à coluna do lado da solução mais diluída. À esta diferença entre colunas de solução denominou-se pressão osmótica.

A osmose inversa é obtida através da aplicação mecânica de uma pressão superior à pressão osmótica do lado da solução mais concentrada. Assim sendo, pelo processo de osmose inversa, a água pura pode ser retirada de uma solução salina por meio de uma membrana semi-permeável, contanto que a solução em questão esteja a uma pressão superior à pressão osmótica relativa a sua concentração salina. Na prática, isto é obtido pressionando-se a solução com o auxílio de uma bomba e passando esta solução sob alta pressão por um vaso de pressão onde está contida a membrana, vaso este denominado de permeador.

A água pura e a solução agora mais concentrada são retiradas de forma contínua dos dois lados da membrana, de modo que pressão osmótica e a concentração de sais se mantenham em nível aceitável para que o processo não seja interrompido. A água assim obtida é denominada de permeado (produto) e a solução concentrada (concentrado).

Este princípio físico é utilizado na concepção dos dessalinizadores, os quais utilizam membranas sintéticas, preferencialmente de poliamida. (Buros Et Al, 1990; Dow, 1993 ; Fluid Systems, 1995 ; Habert, Borges & Nobrega, 1997; Hydranautics, 1994).

2.3.1 - Classificação dos processos de dessalinização

Atualmente, existem disponíveis comercialmente, quatro processos básicos, com suas técnicas e seus métodos específicos, para as operações de dessalinização ou de desmineralização. Esses são empregados para a obtenção de água com baixo teor salino ou mesmo potável, a partir da água do mar ou de outros mananciais hídricos.

Classificação dos processos

- Destilação
- Resina de troca iônica
- Eletrodialise
- Osmose inversa

Todos os métodos citados oferecem vantagens e desvantagens em termos de custo de instalação, operação, manutenção, volume de água tratada e do concentrado.

Dentre estes vários processos de dessalinização comercialmente disponíveis, destaca-se, assim, o de osmose inversa, de acordo com dados da literatura especializada. Os principais critérios que embasaram esta seleção foram; o nível do avanço tecnológico, a simplicidade e robustez do equipamento, o preço dos equipamentos, o custo da instalação, o custo de operação incluindo o custo de energia, a mão-de-obra na operação, o custo e a assistência de manutenção e reparos, os volumes de águas envolvidos, a recuperação, o concentrado salino, a qualidade de água tratada, a continuidade do processo, a aplicabilidade de formas de energia alternativa e a menor magnitude dos impactos ambientais negativos causados. (Applegate, 1994; Gómez, & Peral, 1993; Moch, 1993; Morin, 1996; United Nations, 1987).

Dentre todos, o sistema de osmose inversa apresentou os melhores resultados. O equipamento exige uma área de instalação reduzida e possui flexibilidade para futuras expansões. Sua operação é simples e contínua, podendo ser instalado em áreas inviáveis e de difícil acesso. A água tratada apresenta um padrão de qualidade constante e o equipamento é muito pouco sensível ao aumento dos íons dissolvidos na água com que é alimentado. (Manual de Dessalinizadores, 1972; Moch, 1993).

A Tabela 2.4, nos mostra outros processos de dessalinização, número de unidades e sua capacidade.

Através da Tabela 2.5, mostra o processo de dessalinização por membranas que vem se destacando sobre os outros processos de dessalinização devido a ser economicamente viável, ou seja, apresenta um menor custo de energia.

Tabela 2.4 - Sumário de plantas para dessalinização por cada processo (para sistemas maiores que 25.000 galões por dia) (Wangnick, 1992).

Processos de dessalinização	Número de unidades	Capacidade (milhões de galões por dia)
Eletrodiálise (ED)	1159	233
Destilação flash com múltiplo estágio (MSF)	1090	2112
Destilação por compressão de vapor	704	156
Destilação múltiplo efeito (MED)	606	192
Híbridos(MSF e RO)	8	15
Congelamento	1	0.5
Outros	97	12

Tabela 2.5- Consumo de energia para destilação e osmose inversa para dessalinização da água do mar (Amjad, 1992).

Processos	Energia total consumida (kWh/1000 galões produzido)	Temperatura máxima de operação (°C)
Osmose inversa (RO)	18	45
Destilação múltiplo efeito (MED)	26	75
Destilação por compressão de vapor (VC)	35	100
Destilação flash com múltiplo estágio (MSF)	36	95

Um relatório feito em 1990 por Klaus Wangnick indicava que a capacidade total de plantas de dessalinização no mundo estava em cerca de 3480 milhões de galões por dia. Essas plantas são usadas em 120 países; mais da metade dessas plantas são usadas para dessalinizar água do mar no Oriente Médio e Norte da África. A Arábia Saudita é o primeiro do “ranking” com 27% da capacidade total e o Estados Unidos vem em segundo com 12%.

O relatório de Wangnick indica que a capacidade dos dois processos de dessalinização que são Destilação flash com múltiplo estágio e osmose inversa respondem por 87% da capacidade total de água dessalinizada no mundo, restando 13% para os outros processos.

A Tabela 2.6, nos mostra o sumário do relatório feito por Wangnick em 1990.

Tabela 2.6 - Porcentagem da Capacidade mundial (mgd) dos processos de dessalinização

Processos de dessalinizações	% da Capacidade total mundial	Capacidade mgd
Destilação flash com múltiplo estágio	56	1950
Osmose Inversa	31	1080
Múltiplo efeito	5	180
Eletrodialise	5	160
Compressão de vapor	3	110

mgd = milhões de galões por dia

A Tabela 2.7 mostra o consumo de energia consumido pela dessalinização da água salobra e da água do mar.

Tabela 2.7 - Consumo específico de dessalinização por osmose inversa e potência total instalada (Gómez, & Peral,1993).

Capacidade instalada (m ³ /dia)	Consumo Específico (kWh/m ³)		Potência Instalada (kW)	
	Água Salobra	Água do Mar	Água Salobra	Água do Mar
5	2,00	5,50	0,42	1,20
10	2,00	5,50	0,83	2,29
20	2,00	5,50	1,67	4,58
50	1,55	4,70	3,23	9,79
100	1,50	4,50	6,25	18,75
500	1,50	4,70	31,25	93,75

2.4 - Tipos de membranas existentes

Uma membrana de osmose inversa consiste basicamente de uma película fina e densa que recobre um substrato poroso que garante sua resistência. Foram descobertos dois tipos básicos de membrana de osmose inversa: as membranas assimétricas e as membranas de película fina composta. (Dow, 1993 ; Habert, Borges & Nobrega, 1997).

2.4.1 - Membranas assimétricas

Em uma membrana assimétrica, a película fina da superfície e o substrato poroso que lhe oferece suporte são feitos do mesmo polímero e possuem composição química idêntica. Estas duas estruturas são fabricadas em uma única etapa de produção, sendo que a fina película superficial possui a capacidade de rejeitar sais dissolvidos durante a permeação da água, enquanto que o substrato poroso providencia a resistência física à estrutura, não possuindo, entretanto, a capacidade de restringir o fluxo do produto.

Este tipo de membrana possui custos de fabricação mais baixos por ser fabricada em apenas uma etapa de produção. Por este método de fabricação, tornando-se muito difícil a obtenção de um produto de elevada qualidade, devido à existência de pequenos poros formados na superfície da membrana.

Este problema só pode ser resolvido com a utilização de métodos que acabam por determinar o aumento da espessura da película fina, reduzindo, conseqüentemente, o fluxo de água do produto.

Outro problema que ocorre durante a utilização de tal tipo de membrana é a sua tendência a compactar-se em uma estrutura cada vez mais densa sob a aplicação de elevadas pressões de modo contínuo durante o regime de operação. Este fenômeno é conhecido como compactação da membrana e seus efeitos durante a vida útil da mesma devem ser levados em conta na fase do projeto do sistema. (Dow, 1993; Habert, Borges & Nobrega, 1997).

2.4.2 - Membranas de película fina composta

As membranas de películas fina composta possuem, como no caso das membranas assimétricas, duas estruturas adjacentes; uma fina película responsável pela rejeição dos sais dissolvidos e uma camada ou substrato poroso responsável pela resistência física da estrutura global. Neste caso, a diferença reside no fato de que essas duas estruturas são formadas por materiais diferentes e em duas etapas de fabricação. Este fato permite a obtenção de condições ótimas durante as etapas de produção, o que acaba por otimizar também a performance do conjunto como um todo. Assim são obtidas taxas de rejeição de sais e valores de fluxo do permeado mais elevados. O filme que funciona como suporte possui maior porosidade e resistência à compactação. (Dow, 1993; Habert, Borges & Nobrega, 1997).

2.4.3 - Membranas de acetato de celulose

As membranas de acetato de celulose são mais antigas e pertencem ao grupo das membranas assimétricas. Algumas de suas vantagens são:

- a) baixo custo de produção;
- b) resistência ao ataque por cloro.

Porém, elas possuem diversas desvantagens, entre as quais destacam-se:

- a) ocorrência de hidrólise provenientes da ação de ácidos e álcalis;
- b) biodegradação (não resistente ao ataque por bactérias)
- c) taxas de rejeição de sais mais baixas;
- d) problemas decorrentes da compactação da membrana;
- e) baixo fluxo do permeado, o que requer elevadas pressões de operação;
- f) tolerância mais estreita com relação a faixa de pH de operação a aceitável (5 a 8 para operação contínua e 3 a 9 para limpeza) e aos limites de temperatura de operação (0 a 35 °C). (Dow, 1993; Gagliardo & Adham, 1993)

2.4.4 - Membranas de poliamida aromática

As membranas de poliamida aromática possuem diversas vantagens em relação as membranas de acetato de celulose. Entre elas destacam-se:

- a) taxas de rejeição de sais superiores;
- b) taxas de rejeição a moléculas orgânicas superiores;
- c) não são bio-degradáveis;
- d) baixa taxa de compactação;
- e) limites de temperatura de operação mais largos;
- f) elevada taxa de rejeição de sílica (98%).

Porém, o problema de ataque do cloro a estrutura da membrana ainda é importante, o que exige a decloração da água de alimentação.

De maneira geral, pode-se afirmar que, tanto sob a forma de película fina composta como sob a forma assimétrica, as membranas de poliamida aromática possuem a melhor combinação de produtividade, performance e durabilidade no campo das membranas de osmose inversa. (Dow, 1993; Fluid Systems, 1995; Gagliardo & Adham, 1993; Habert, Borges & Nobrega, 1997; Hydranautics, 1994).

2.5 - Concentração de polarização

A concentração por polarização refere-se ao fenômeno no qual a concentração local de sais dissolvidos próxima à superfície da membrana é maior do que a concentração média da água que flui em volta da superfície considerada. Devido a este fato, a eficiência separativa da membrana diminui gradualmente a medida em que a camada de solução concentrada de sais vai paulatinamente aumentando de espessura. Acompanhando o aumento de sal na interface, há um aumento da pressão osmótica da solução, o que diminui a pressão que impele a água através da membrana. A concentração por polarização também leva a destruição das superfícies sensíveis da membrana.

Na operação de sistemas de separação com membranas, observa-se uma queda na vazão do produto com o tempo, onde esse fenômeno é acompanhado por um decréscimo na rejeição de sais, este comportamento é atribuído a polarização de concentração e a uma série de outros fenômenos, em sua maioria de natureza irreversível, conhecidos como “fouling”. (Clair & Adhams, 1996; Culler, 1996; Dow, 1993)

Na maioria dos casos o que se observa é um decréscimo contínuo da vazão do produto com o tempo, indicando que outros fenômenos devem estar ocorrendo além da simples e inevitável polarização de concentração. Dentre eles devem ser destacados os seguintes:

- ⇒ Adsorção das moléculas de soluto na superfície da membrana
- ⇒ Entupimento de poros por moléculas ou partículas em suspensão
- ⇒ Depósito de material em suspensão sobre a superfície da membrana

Alguns autores incluem a polarização de concentração dentro de “fouling”, assim, embora de difícil tradução para o português, o “fouling” pode ser entendido como um conjunto de fenômenos capaz de provocar uma queda da vazão do produto, podendo chegar a 5% do valor da vazão de água pura. (Dow, 1992; Fluid Systems, 1995; Hydraulics, 1994).

A queda da vazão do produto com o tempo, observada nos processos com membranas, conforme discutido, é problema inevitável. Na prática, no entanto existem algumas técnicas de operação desses sistemas que resultam em recuperação, ao menos parcial, da vazão do produto. A mais comum é o “backflushing” que é a inversão, por um intervalo curto de tempo, no sentido da vazão do produto. Mais recentemente novas técnicas estão sendo introduzidas como a variação da pressão transmembrana em alta frequência e a operação de sistemas em condições de baixa polarização. (Habert, Borges & Nobrega, 1997)

A concentração por polarização é normalmente considerada pelos fabricantes de membranas e projetistas de sistemas quando estão avaliando a possibilidade de formação de incrustação. Tipicamente a concentração de sais junto à superfície da membrana é aproximadamente de 1,2 a 1,4 vezes a concentração da corrente principal. (Dow, 1993)

2.5.1 - Agentes Incrustantes (Fouling e Scaling)

As limitações básicas do processo de osmose inversa ocorre com a presença de agentes incrustantes denominados de “foulants” e “scalants”.

Os “foulants” podem ser definidos como todos os depósitos de material suspenso na superfície da membrana de osmose inversa. Estas substâncias podem ser divididas em três grandes grupos:

- ⇒ colóides
- ⇒ sólidos suspensos
- ⇒ material biológico

Os “foulants” de forma coloidal são tipicamente encontrados nos primeiros estágios de um sistema de osmose inversa, diminuindo a sua produtividade através da queda da taxa de rejeição de sais. Os colóides podem ser definidos como partículas suspensas de tamanho superior a 1 microm, podem ser de natureza orgânica ou inorgânica e os mais comumente encontrados são os silicatos, ferro, manganês, alumínio, cobre e compostos orgânicos de peso molecular elevado. (Culler, 1996; Dow, 1993; Malleivable, Odendaal & Wiesner, 1996)

Os “foulants” de forma de sólidos suspensos podem ser definidos como material particulado suspenso de tamanho menor que os colóides e que não permanecem em suspensão caso a solução não seja agitada por um período de tempo.

Os “foulants” biológicos são encontrados em todos os estágios de um sistema de osmose inversa e podem aparecer sob a forma de microorganismos.

A passagem de sais por um sistema de osmose inversa aumenta com a incrustação das membranas, pois os “foulants” que se depositam na superfície das membranas reforçam o efeito de concentração de polarização próximo a esta superfície.

Os “scalants” são sais solúveis que se cristalizam e se precipitam na superfície de uma membrana de osmose inversa. A precipitação destes sais dissolvidos é decorrente do fato de que tais sais se encontram em concentrações superiores ao seu limite de solubilidade na solução para as condições consideradas. Logicamente, se diminuirmos ao nível de recuperação do sistema, diminuiremos também a concentração de sais na corrente do rejeito e, portanto, a possibilidade da incrustação da membrana.

Entre os principais “scalants” podemos citar o carbonato de cálcio (CaCO_3), o sulfato de cálcio (CaSO_4), o hidróxido de ferro (Fe_2O_3) e a sílica (SiO_2). (Culler, 1996; Dow, 1993; Malleivable, Odendaal & Wiesner 1996; Porter, 1996)

2.7 - Pré-tratamento

Um pré-tratamento adequado da água de alimentação de um sistema de osmose inversa é um importante fator para a operação bem sucedida de tal processo de desmineralização de água.

Como o processo de osmose inversa tornou-se nos últimos anos um dos mais utilizados em sistemas de produção de água ultrapura, os requisitos básicos de pré-tratamento devem ser cuidadosamente avaliados, e esta etapa do processo global de desmineralização deve ser considerada como o sub-sistema de maior importância dentro do sistema que constitui a instalação completa. Assim sendo, esta etapa do trabalho focaliza os requisitos básicos de pré-tratamento para um sistema de osmose inversa, assim como a tecnologia e os processos disponíveis. (Clair & Adams, 1996; Culler, 1996, Dow, 1993)

A seleção do sistema do pré-tratamento maximizará a eficiência e a estimativa da vida útil das membranas através da minimização de:

“Scaling”, ou seja, do depósito de substâncias inorgânicas ou óxidos que se precipitam na superfície da membrana e reduzem a produção de água, além de , ocasionalmente, interferirem na qualidade da água produzida.

(Prevenção: Uso de Anti-incrustante e Lavagem Química).

“Fouling”, ou seja, de materiais acumulados na superfície da membrana tais como “scale”, partículas em suspensão, ferro ou outros metais pesados, material orgânico, bactérias e outras espécies biológicas.

(Prevenção: Lavagem Química).

Degradação da membrana, ocasionada por materiais a ela nocivos ou mesmo pela saturação de sua capacidade de rejeição de sais.

O resultado imediato será, a otimização dos seguintes fatores:

- ⇒ vazão do produto, ou seja, da água purificada;
- ⇒ nível de recuperação do sistema, o que diminuirá a demanda da água de alimentação;
- ⇒ rejeição de sais dissolvidos, ou seja, melhoria na qualidade de água obtida;
- ⇒ custos operacionais, reduzindo a necessidade de freqüentes lavagens químicas, gastos com energia elétrica e freqüentes reposições das membranas degradadas;
- ⇒ tempo de parada ou de não-funcionamento do sistema, que será reduzido ao mínimo imprescindível.

As funções básicas de um sistema de pré-tratamento para um sistema de osmose inversa são:

- **Controle da fase sólida**

- ⇒ material particulado na água de alimentação;
- ⇒ precipitados devido á oxidação de ferro;
- ⇒ precipitação devido á concentração dos diversos constituintes no rejeito;

- **Controle do crescimento biológico na superfície das membranas**

- ⇒ controle do pH da água de alimentação
- ⇒ controle da temperatura da água de alimentação
- ⇒ remoção de agentes oxidantes

- **Controle do sistema de pré-tratamento da água de alimentação**

O sistema de pré-tratamento da água de alimentação é influenciado pelos seguintes fatores:

- ⇒ natureza da fonte da água de alimentação.
- ⇒ composição físico-química da água de alimentação.
- ⇒ tipo de membrana envolvida no processo.
- ⇒ aplicação e qualidade requerida para a água produzida.
- ⇒ projeto do processo (ex: nível de recuperação adotado). (Culler, 1996; Dow, 1993; Habert, Borges & Nobrega, 1997)

2.8 - Diretrizes básicas para especificações de sistemas de pré-tratamento

As diretrizes básicas de pré-tratamento para um sistema de osmose inversa podem ser classificadas em duas categorias: (Dow, 1993; Habert, Borges & Nobrega, 1997)

- ⇒ a primeira categoria engloba as limitações impostas pela membrana considerada quanto à temperatura e pH de operação e degradação por espécies químicas e biológicas;
- ⇒ a segunda categoria engloba as limitações impostas pelo sistema de osmose inversa em si, devido à presença de agentes incrustantes.

2.8.1 - Limitações impostas pelo tipo de membrana envolvida

O tipo de membrana utilizado também influencia a determinação do sistema de pré-tratamento. Para exemplificar a afirmação acima, podemos citar o caso das membranas de acetato de celulose, as quais requerem um processo de cloração para prevenir sua biodegradação, enquanto que as membranas de poliamidas, as quais são resistentes as bactérias, são degradadas pela cloração contínua da alimentação da água.

2.8.2 - Limitações impostas pelo processo

O pré-tratamento para sistemas de osmose inversa é constituída pelas limitações do processo impostas pela presença de agentes incrustantes na água de alimentação. Essas diretrizes variam de acordo com as condições específicas de cada situação, tais como:

- ⇒ o nível de recuperação do sistema de osmose inversa, o qual determina a concentração de sais na corrente do concentrado;
- ⇒ a presença de constituintes na água de alimentação que possam desempenhar a função de catalisadores no processo de incrustação das membranas;
- ⇒ a concentração de agentes incrustantes próximo à superfície das membranas, o que aumenta o efeito da concentração por polarização e inibe a difusão de agentes contaminantes de volta a corrente de alimentação;
- ⇒ o efeito de mudanças nas características da água de alimentação (sólidos totais dissolvidos, pH e temperatura) na ação de agentes incrustantes

2.9 - Seleção de sistemas de pré-tratamento

O nível de pré-tratamento e a seleção do tipo de equipamento são influenciados por diversos fatores, tais como:

- ⇒ a determinação do tipo de pré-tratamento imprescindível ao processo;
- ⇒ o impacto de cada tipo de pré-tratamento na qualidade da água produzida;
- ⇒ o custo de capital inicial envolvida na compra do equipamento;
- ⇒ os custos operacionais associados a cada tipo de pré-tratamento;
- ⇒ o espaço físico disponível.

2.10 - Principais parâmetros do processo de dessalinização

2.10.1 - Taxa de rejeição de sais

A taxa de rejeição de sais refere-se á capacidade da membrana de rejeitar sais durante a permeação de água. Esta taxa é calculada de acordo com a Equação 2.1:

$$\text{T.R.S.(\%)} = \frac{C_a - C_p}{C_a} \times 100 \quad (2.1)$$

onde:

T.R.S = taxa de rejeição de sais (%).

C_a = concentração de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/l).

C_p = concentração de sais dissolvidos na corrente do produto (mg/l).

A taxa de 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. (Dow, 1992; Hydranautics, 1994).

2.10.2 - Taxa de passagem de sais

Esta taxa é calculada de acordo com a equação 2.2:

$$P.S.(%) = \frac{C_p}{C_a} \times 100 \quad (2.2)$$

onde:

P.S = taxa de passagem de sais. (%)

Ca = concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/l).

Cp = concentração de sais dissolvidos na corrente de produto (mg/l).

2.10.3 - Recuperação do sistema

O termo recuperação do sistema refere-se à percentagem da água de alimentação convertida em água purificada.

A recuperação máxima em qualquer instalação de osmose inversa depende dos sais presentes na água de alimentação e de sua tendência a se precipitar na superfície da membrana como incrustação mineral.

Os sais com maior propensão à precipitação nesta situação são o carbonato de cálcio, o sulfato de cálcio e a sílica. (Dow, 1992; Amjad, 1992).

O nível de recuperação de um sistema pode ser definido de acordo com a Equação 2.3:

$$R = \frac{Q_p}{Q_a} \times 100 \quad (2.3)$$

onde:

R = Recuperação do sistema (%).

Qp = vazão do produto (l/min).

Qa = vazão de alimentação (l/min).

Com o aumento do nível de recuperação do sistema, mais água é convertida em produto. Isto reduz o volume de água a ser rejeitada, aumentando assim o valor da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado.

2.10.4 - Balanço de massa

A Equação 2.4, apresenta o balanço de massa para um sistema de dessalinização. (Fluid Systems, 1995)

$$Q_a C_a = Q_c C_c + Q_p C_p \quad (2.4)$$

onde:

Qa = vazão da alimentação (l/min).

Ca = concentração inicial de sais dissolvidos na corrente de alimentação (mg/l).

Qp = vazão do produto (l/min).

Cp = concentração de sais dissolvidos na corrente de produto (mg/l).

Qc = vazão do concentrado (l/min).

Cc = concentração de sais dissolvidos na corrente de concentrado (mg/l).

2.10.5 - Pressão osmótica

Em 1885, analisando dados experimentais sobre a pressão osmótica, Van't Hoff notou uma grande semelhança entre os comportamentos de uma solução e de um gás ideal e, por esse

motivo, propôs a determinação da pressão osmótica (Π) através da seguinte equação dos gases ideais: (Amjad 1992; Porter, 1996)

$$\Pi = i.Ci.Rc.Ta \quad (2.5)$$

onde:

Π = pressão osmótica (kgf/cm^2).

i = (fator de Van't Hoff) - número de íons formados (p.ex. para NaCl , $i = 2$; para BaCl_2 , $i = 3$).

Ci = concentração molar do soluto (moles/l).

Ta = temperatura absoluta ($^{\circ}\text{K}$).

Rc = constante de gases ($\text{kgf/cm}^2.\text{l/mol.K}$).

A pressão osmótica depende da concentração da solução de sais e moléculas orgânicas contidas na água de alimentação. Quanto maior a concentração da solução, mais acentuado será o valor da pressão osmótica dessa solução. (Porter, 1996)

2.10.6 - Transporte de água

O vazão do produto a temperatura constante através de uma membrana de osmose inversa é proporcional a área da membrana e a variação da pressão hidráulica e osmótica, e pode ser descrita pela equação (2.6): (Malleivable, Odendaal & Wiesner, 1996)

$$J_w = K_w(\Delta P - \Delta \Pi) = \frac{Q_p}{A_e} \quad (2.6)$$

$$\Delta P = [(P_a + P_c)/2 - P_p] \quad (2.7)$$

$$\Delta \Pi = [(TDS_A + TDS_c)/2 - TDS_p] * (7 \times 10^{-4}) \quad (2.8)$$

onde:

Q_p = vazão do produto (cm^3/min).

A_e = área efetiva da membrana (cm^2).

J_w = taxa da vazão do produto através da membrana ($\text{cm}^3/\text{cm}^2.\text{s}$).

K_w = coeficiente de transferência de massa do solvente ($\text{cm}^3/\text{kgf.s}$).

P_a = pressão de alimentação (kgf/cm^2).

P_p = pressão do produto (kgf/cm^2).

P_c = pressão do concentrado (kgf/cm^2).

ΔP = gradiente de pressão (kgf/cm^2).

$\Delta \Pi$ = variação da pressão osmótica (kgf/cm^2).

TDS_A = totais de sólidos dissolvidos na alimentação (mg/l)

TDS_C = totais de sólidos dissolvidos do concentrado (mg/l)

TDS_P = totais de sólidos dissolvidos do produto (mg/l)

(7×10^{-4}) = é um fator aproximado de conversão de (mg/l) para (kgf/cm^2). (Malleivable,

1996)

2.10.7 - Consumo de energia

A maior parte do consumo de energia em um sistema de dessalinização é devido à energia necessária para transferir as espécies iônicas da solução através das membranas e a energia despendida para bombear as soluções através da unidade de dessalinização. (Malleivable, Odendaal & Wiesner, 1996)

O processo variável que foi previamente descrito conforme mencionado na seção 2.10, são os parâmetros usados para controle de plantas de osmose inversa. Estas variáveis são usualmente monitoradas por sistemas de computação e o processo é automaticamente controlado. Os processos de osmose inversa também podem ser monitorados manualmente em plantas pequenas.

Há muitos tipos diferentes de sistemas de controle que podem ser usados em esboço de planta de osmose inversa. Como exemplo, usa-se diferentes tipos de controle em diferentes pontos dentro do processo de dessalinização sobre uma faixa proporcional que pode ser usada

para controlar o nível do tanque de alimentação. (Gómez, & Peral, 1993; Malleivable, Odendaal & Wiesner, 1996)

O consumo de energia está diretamente relacionado com o nível de recuperação do sistema de dessalinização e a eficiência da bomba e do motor trabalhados, como também o número de membranas envolvidas e das soluções no interior do dessalinizador.

A energia trifásica é usada para plantas que utilizam a osmose inversa como processo de separação. (Malleivable, Odendaal & Wiesner, 1996)

A Equação 2.9 é geralmente usada para calcular energia gasta durante o processo de dessalinização: (Malleivable, Odendaal & Wiesner, 1996)

$$E = \frac{(H \times 0,30) \times (0,00315)}{n_R n_B n_M} \quad (2.9)$$

onde:

E = consumo de energia (kWh/m³).

H = altura do nível da coluna de alimentação (ft).

(0,00315) = fator de conversão de energia para plantas de osmose inversa (kWh/m³).

(0,30) = fator de conversão de ft para m.

n_R = eficiência da recuperação do sistema de dessalinização.

n_B = eficiência da bomba.

n_M = eficiência do motor.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Material utilizado

- ⇒ Cloreto de sódio grupo Química Industrial Ltda.
- ⇒ Água destilada
- ⇒ Filtro de acetato de celulose com resina melamínica (Aqualar- AP 110 H/C 5 micra nominal)
- ⇒ Membranas de dessalinização manufaturadas pelas seguintes empresas:
Hydranautics “High Performance Membrane Products”, USA
Fluid Systems TFC^R S, “Thin Film Composite”, USA
- ⇒ Vaso de alta pressão para a membrana de dessalinização
- ⇒ Válvula de controle de pressão Deca (½ polegadas)
- ⇒ Mangueiras de alta pressão Spiraflex SPT 250 de 1/2 e 3/8 polegadas
- ⇒ Mangueiras comuns de ½ polegadas
- ⇒ Bomba de alta pressão de (1/4) CV modelo B48 0596 motor de indução monofásico, Fabricante (WEG)
- ⇒ Tanque de alimentação com capacidade máxima de 50 litros
- ⇒ Tubos e conexões de PVC 1/2 polegadas rígido de 20mm

3.2 - Sistema de dessalinização

O sistema de dessalinização é composto das seguintes unidades principais: Um vaso de alta pressão, uma membrana para dessalinização, um sistema de filtro, rotômetros, manômetros e bomba de alta pressão (1/4) CV, conforme mostra a Figura 3.1.

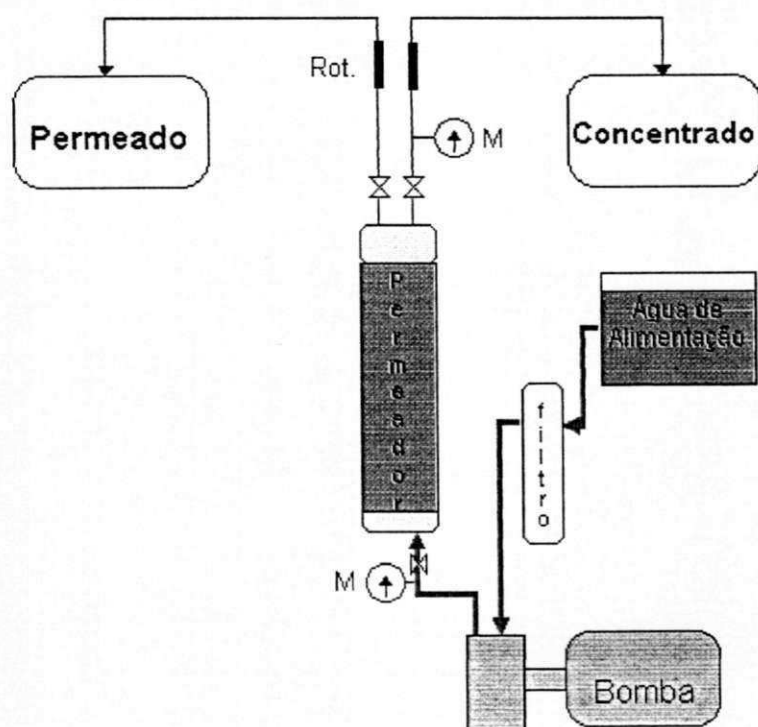


Figura 3.1 - Sistema de dessalinização

3.2.1 - Soluções de estudo

- Soluções de cloreto de sódio (NaCl) que variaram de 900 até 3500 mg/l
- Água proveniente de poço tubular da localidade do Sítio Logradouro Município de Zabelê-PB (Ca = 980 mg/l), onde Ca representa a concentração da água de alimentação do sistema.

3.2.2 - Fonte de alimentação

Foi utilizado uma bomba de (¼) CV modelo B48 0596 marca WEG, motor de indução monofásico, conectado a um tanque de alimentação com capacidade máxima de 50 litros de solução e a um pré-filtro de acetato de celulose com resina melamínica por onde passa a solução antes de chegar ao vaso de alta pressão onde se encontra a membrana.

3.2.3 - Unidades de medidas

Foram utilizados seis unidades de registro assim como segue; um condutivímetro modelo CD-20 da Digimed e um eletrodo do tipo DMC-01-K= 1cm⁻¹, a variação da concentração da solução do permeado e concentrado foi observada em função dos intervalos de tempo. Para medir a variação do potencial hidrogeniônico do permeado e do concentrado foi utilizado um medidor de pH modelo DMPH-2 da Digimed. Para as vazões do permeado e concentrado foram utilizados dois rotâmetros modelo 45375 da Blue Write Industries e para as leituras das pressões de entrada e saída foram utilizados dois manômetros da Records de escala variando de 0 a 10 kgf/cm².

3.2.4 - Características e composição das membranas utilizadas

Tipos de membranas:

1) HYDRANAUTICS “High Performance Membrane Products”, maiores informações sobre especificações da membrana ver Apêndice 2.

Tipo:

Configuração: Espiral

Composição da membrana: Poliamida

Recuperação do produto: 5%

2) Fluid Systems - TFC S

Tipo:

Configuração: Espiral

Composição da membrana: Poliamida

Capacidade:

Vazão do produto: 0,68 m³ / dia

Rejeição de sais: 99%

Área efetiva: 6,0 ft²

Condições de teste: 500 mg/l de uma solução de cloreto de sódio

Solução de NaCl: 500 mg/l

Pressão aplicada: 80 psi

Temperatura aplicada: 25 °C (77 °F)

Recuperação do produto: 5%

pH padrão: 7,5

3.3 - Metodologia

3.3.1 - Modelos de corridas experimentais

Foram utilizados dois modelos para processar a dessalinização: um com reciclo de efluentes, produto e concentrado (modelo I) e o outro sem reciclo, (modelo II), conforme mostram as Figuras 3.2 e 3.3.

A Figura 3.2 mostra o processo de dessalinização com reciclo (modelo I), no qual o fluxo do produto e do concentrado são retornados simultaneamente ao tanque de alimentação.

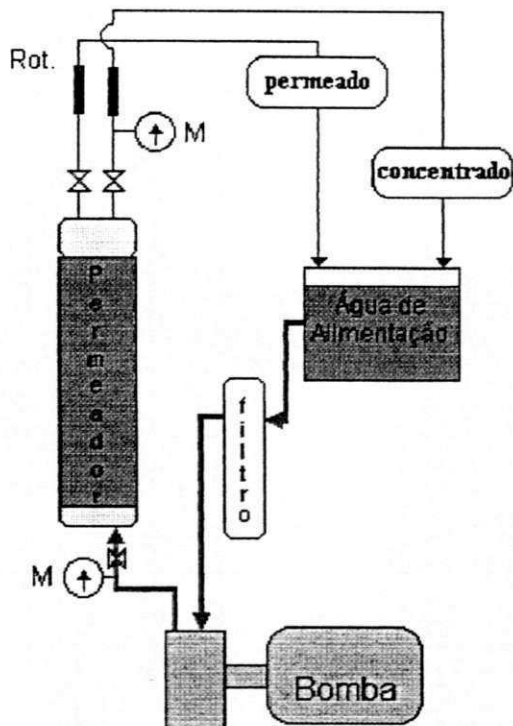


Figura 3.2- Sistema de dessalinização com reciclo (modelo I)

A Figura 3.3 mostra o processo de dessalinização sem reciclo (modelo II), ou seja, o fluxo do produto e do concentrado são coletados em dois recipientes de PVC de 20 litros. Após cada corrida os volumes coletados foram misturados para a próxima corrida.

Para ambos os modelos foram utilizados 45 litros, tanto para água de poço, bem como para soluções de cloreto de sódio.

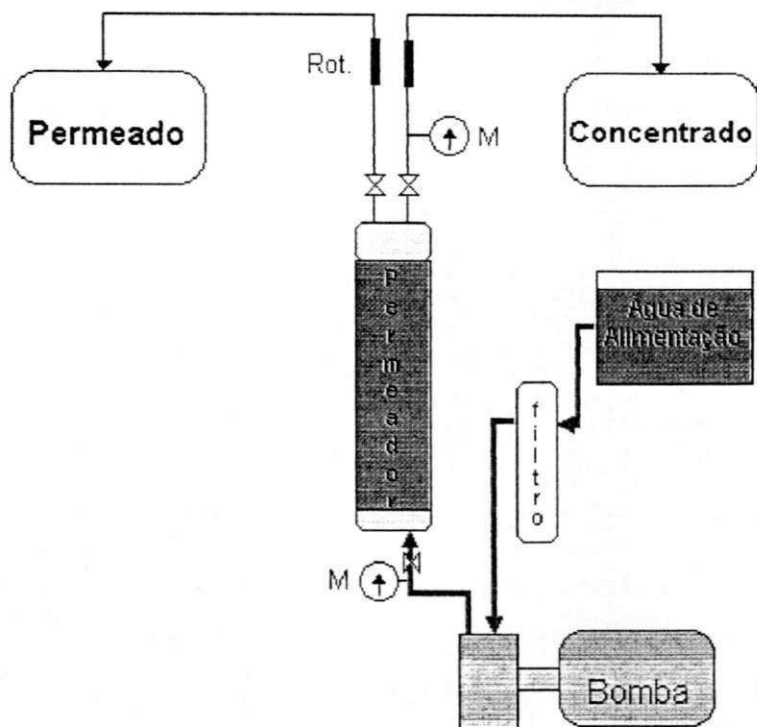


Figura 3.3- Sistema de dessalinização sem reciclo (modelo II)

3.3.2 - Processo de dessalinização

Para o processo de dessalinização foi utilizado dois tipos de sistemas, conforme mencionado anteriormente, o primeiro para diferentes soluções de NaCl na faixa de 900 a 3500 mg/l, e o segundo com água oriunda de poço tubular na seguinte localidade; Sítio Logradouro no Município de Zabelê-PB, TDS (totais de sólidos dissolvidos): 980 mg/l.

Antes de iniciar o processo de dessalinização, se faz necessário uma recirculação da solução por alguns minutos através da membrana antes do processo de dessalinização. Esta etapa foi realizada durante 3 a 5 minutos com o objetivo de homogeneizar o meio.

Depois desta etapa, toma-se uma amostra de 50 ml da solução e com o auxílio da condutividade elétrica obtêm-se a concentração de sais dissolvidos real, a qual foi denominada de concentração inicial da amostra.

Convém salientar que antes da realização da homogeneização da solução, verifica-se se todas as válvulas de controle de pressão que compõem o sistema estão abertas, visando proteger as tubulações contra efeitos da pressão aplicada nos primeiros instantes do processo.

O processo de dessalinização ocorreu assim:

- Ajuste da pressão de operação de entrada e saída da membrana
- Coleta de amostras de ambos os efluentes, produto e concentrado
- Análise da condutividade elétrica das amostras
- Análise do pH das amostras

(Estes dois últimos pontos foram tomados em função do tempo)

Em função do volume disponível (50 litros) algumas corridas do tipo modelo II, foram realizadas em pequenos espaços de tempo, aproximadamente de 10 a 13 minutos, quanto àquelas do tipo modelo I, estas tiveram um tempo mais longo, chegando até 120 minutos.

Para as várias concentrações iniciais utilizadas no processo de dessalinização com concentrações de 900 a 3500 mg/l, foram realizadas em média 3 a 4 corridas, de mesma concentração, variando apenas as pressões de entrada e saída do sistema. Esse estudo tem como objetivo observar a variação da condutividade elétrica, pH e a recuperação do sistema.

Os valores da condutividade elétrica de cada corrida experimental foram convertidos para concentração em mg/l, através das Equações 3.1 e 3.2 expostos em gráficos na forma de concentração, em função do tempo.

Após a dessalinização teve-se o cuidado de tomar um volume aproximado de 10 litros de água destilada, no tanque de alimentação, e durante 5 minutos sob uma vazão de 3,5 l/min. a 3,0 kgf/cm², a mesma foi bombeada através da membrana com o objetivo de além de expulsar toda solução remanescente dentro da membrana e conseqüentemente, evitar que ocorra uma possível proliferação de bactérias. Essa etapa é de fundamental importância, devido a formação de "fouling" na superfície da membrana, a qual geralmente depende da quantidade de sais dissolvidos e bactérias presente na solução de trabalho. Esse tipo de operação de certa forma protege a membrana e prolonga a vida útil.

3.3.3 - Obtenção dos dados experimentais

Para cada corrida foram realizadas leituras de pressões de entrada e de saída, de vazões, da condutividade elétrica e do potencial hidrogeniônico (pH), das amostras do produto e do concentrado.

As leituras das vazões do produto e do concentrado eram feitas observando a indicação dos rotômetros acoplados ao sistema com escala máxima de 0,55 l/min para o produto e 4,00 l/min para o concentrado.

3.3.4 - Conversão da condutividade elétrica para concentração em ppm ou mg/l.

A conversão da condutividade elétrica para concentração em partes por milhão (ppm), foi calculada através das Equações 3.1 e 3.2, sendo que a primeira corresponde as concentrações de 100 a 10.000 mg/l e a segunda para concentrações de 20 a 100 mg/l.

$$C = 453,45 \cdot (K^{1,095}) \quad (3.1)$$

$$C = 90,732 \cdot (\ln K) + 218,001 \quad (3.2)$$

onde, K corresponde á condutividade elétrica lida durante as corridas em ms/cm, e C a concentração da solução no instante “t”, em ppm.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão avaliados e discutidos os principais parâmetros da dessalinização via osmose inversa:

- Taxa de rejeição de sais
- Taxa de passagem de sais
- Recuperação do sistema

Para análise destes parâmetros, foi necessária a utilização de gráficos e tabelas relacionados com o comportamento da variação da concentração do produto e concentrado, durante o processo de dessalinização. As tabelas referentes as figuras se encontram no Apêndice 1.

4.1 - Avaliação do processo de dessalinização em função da concentração e vazão.

O capítulo anterior descreve os modelos I e II do sistema de dessalinização. A partir desse estudo, foram analisadas as melhores corridas em função das concentrações do produto e concentrado para diferentes vazões de alimentação.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam dados do comportamento das vazões dos efluentes para respectiva pressão aplicada ao sistema supra-mencionado referentes às membranas utilizadas, conforme descritas no Capítulo III.

Tabela 4.1 - Concentração inicial, pressão de alimentação, vazão do produto e concentrado.
 Membrana utilizada: Hydranautics (HP).

Concentração (mg/l)	Pressão - Pa Kgf/cm ²	vazão - Qp l/min	vazão - Qc l/min
1378	3,0	0,100	3,50
	5,0	0,200	3,40
	6,0	0,220	3,20
1482	4,0	0,090	3,10
	5,0	0,120	2,90
	7,0	0,200	2,80
1570	3,0	0,068	3,30
	3,0	0,068	3,30
	4,0	0,108	3,20
	4,0	0,108	3,20
2176	3,2	0,060	3,60
	4,0	0,098	3,18
	6,0	0,175	2,90
	8,0	0,230	2,78
2348	4,0	0,060	3,60
	5,0	0,090	3,50
	6,0	0,120	3,40
	7,0	0,160	3,35
2827	4,0	0,070	3,00
	6,0	0,140	2,90
	8,0	0,220	2,80
2979	5,0	0,060	3,20
	6,0	0,100	3,10
	7,0	0,130	3,00
3449	5,0	0,060	3,30
	6,0	0,090	3,20
	7,0	0,120	3,10

4.2 - Parâmetros do sistema de dessalinização via osmose inversa

4.2.1 - Taxa de rejeição de sais

Este estudo foi dividido em duas etapas. A primeira, utilizando-se a membrana da Hydranautics (Tabelas 4.4 a 4.30, Apêndice 1) e a segunda utilizando a membrana da Fluid Systems (Tabelas 4.31 a 4.47, Apêndice 1), para ambas foram utilizados os modelos I e II para processar a dessalinização, conforme mencionado na seção 3.3.1 do Capítulo 3.

A Figura 4.1 representa o comportamento da T.R.S.% em função da concentração inicial de cloreto de sódio, variando entre 1378 a 3449 mg/l, para diferentes pressões de alimentação aplicadas ao sistema de dessalinização.

Observa-se que a T.R.S.% diminui a medida que a concentração inicial da solução aumenta. Já na Figura 4.2 a T.R.S.% aumenta a medida que a pressão aumenta.

A membrana da Hydranautics apresentou os melhores resultados, onde seu valor máximo alcançado foi de 97,68%. Em função dessa informação, os valores da T.R.S.% estão de acordo com os padrões adotados pela (Hydranautics,1994), que foi dimensionada a T.R.S. de 98%.

Para a membrana da Fluid Systems, foi observado que a taxa de rejeição de sais possui melhores resultados para baixa concentração, conforme mostrado no Apêndice 1, temos uma corrida com uma concentração a 942 mg/l de cloreto de sódio, apresentando um T.R.S de 88,85%.

Em todas as etapas e modelos foram observados, também, que as concentrações do produto tendem a diminuir e as concentrações do concentrado tendem a aumentar até se estabilizarem em função da pressão de alimentação aplicada ao sistema de dessalinização.

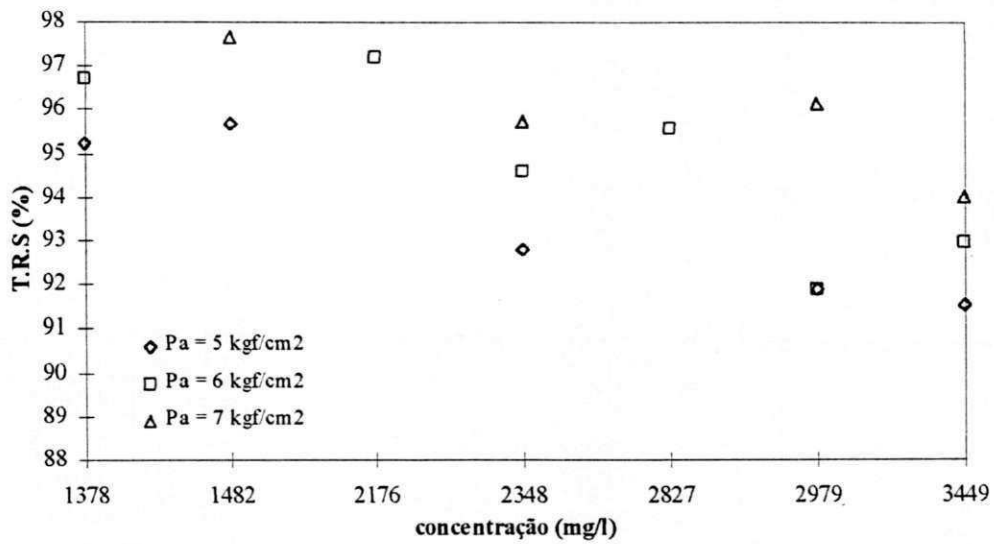


Figura 4.1 - Representação da variação da T.R.S.% em função da concentração inicial de cloreto de sódio, sob as seguintes condições: Pa = 5,0 kgf/cm² e Pa = 6,0 kgf/cm², Pa = 7,0 kgf/cm², T = 25 ± 1°C.

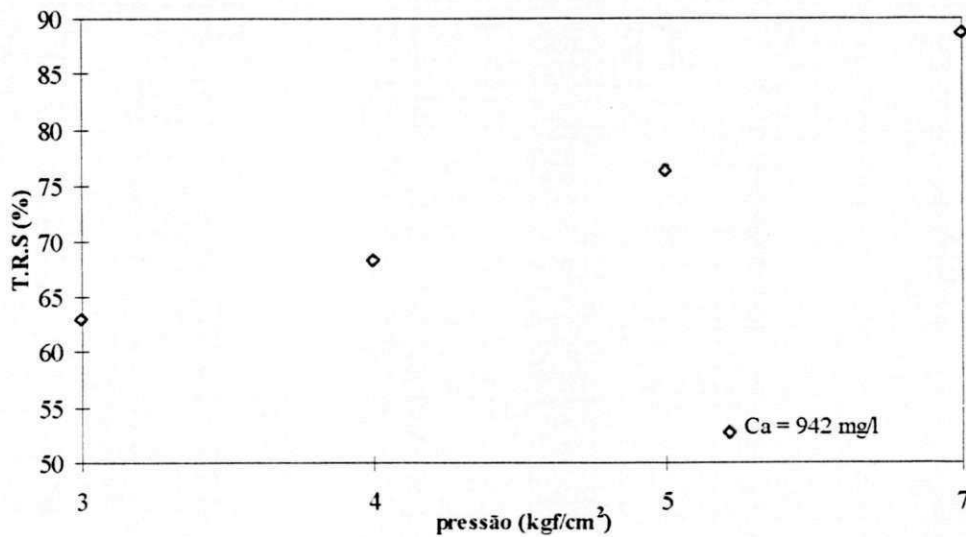


Figura 4.2 - Representação da variação da T.R.S.% em função da pressão de alimentação aplicado ao sistema de dessalinização, sob as seguintes condições: Ca = 942 mg/l T = 25 ± 1°C.

4.2.2 - Taxa de passagem de sais

A taxa de passagem de sais foi analisada nas mesmas condições do item 4.2.1. As Tabelas do Apêndice I mostram que a efetividade máxima de passagem de sais no elemento de membrana da Hydranautics foi de 2,32%, para uma concentração inicial de cloreto de sódio igual a 1482 mg/l e de 11,15% (Fluid Systems), para uma concentração inicial de cloreto de sódio igual a 942 mg/l, e uma pressão de alimentação de 7,0 kgf/cm².

4.2.3 - Recuperação do sistema

As Tabelas do Apêndice I apresentam os valores da condutividade elétrica, concentração e vazão do produto e concentrado, taxa de rejeição e passagem de sais, vazão de alimentação e recuperação do sistema de dessalinização.

A Figura 4.3 mostra o desempenho da recuperação do sistema em função da variação da concentração inicial de cloreto de sódio, com diferentes pressões de alimentação aplicadas. Nota-se que a recuperação diminui conforme a concentração inicial aumenta. Obviamente para uma dada concentração a recuperação aumenta a medida que aumentou a pressão, conforme pode-se observar na Figura 4.4.

Os melhores resultados encontrados para a taxa de recuperação do produto foram de 3,14% a 7,43%, para as concentrações iniciais de cloreto de sódio, variando entre 1378 a 3449 mg/l. Para a membrana da Fluid Systems, a taxa de recuperação do produto foi de 18,37%, para concentração de 942 mg/l.

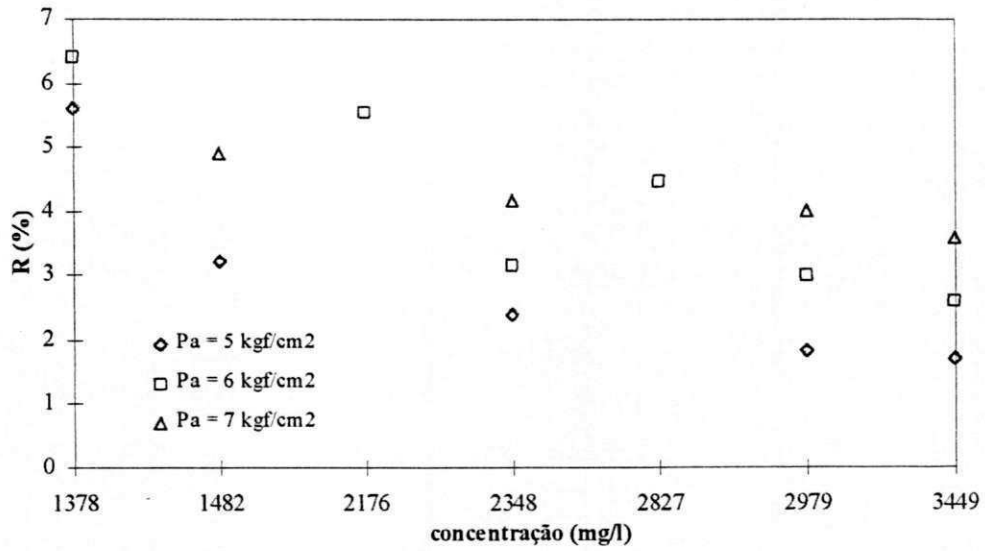


Figura 4.3 - Representação da variação da recuperação em função da concentração inicial de cloreto de sódio, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

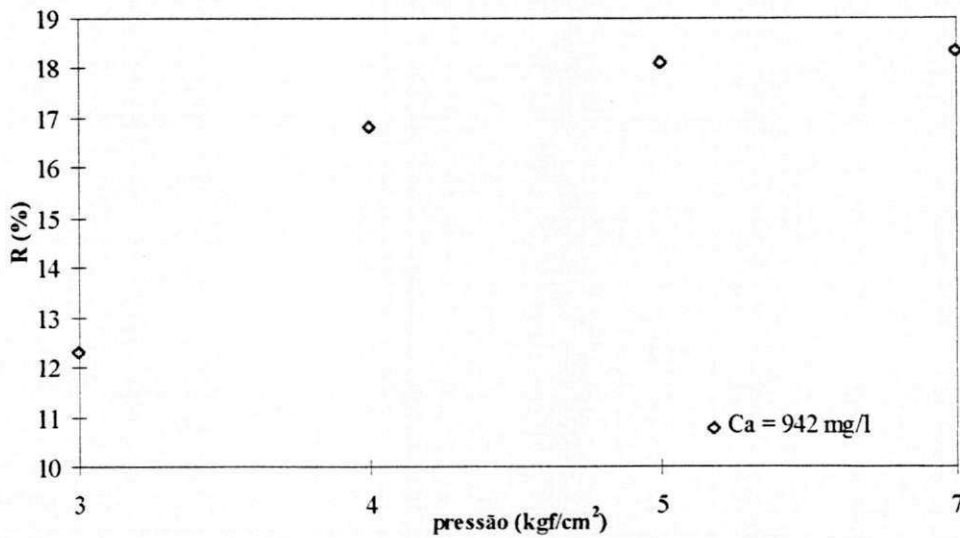


Figura 4.4 - Representação da variação da recuperação em função da pressão de alimentação aplicada ao sistema de dessalinização, sob as seguintes condições: $Ca = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

4.3 - Balanço de massa

A lei da conservação da massa afirma que a massa total de todas as substâncias que tomam parte de um processo se mantém constante, embora existam exceções a essa lei nas reações químicas e nos processos nucleares, onde ocorre transformações significativas de massa em energia, a lei é válida em geral para os objetivos da engenharia.

Assumindo que as leituras obtidas nos rotômetros para o produto e o concentrado permaneceram constantes durante a corrida, foi possível estudar o desempenho do elemento de membrana, através de um balanço de massa (Equação 2.4). Nesse caso foi considerado somente a variação da condutividade elétrica para os efluentes. Conforme é observado no Apêndice 3, o erro padrão médio e desvio padrão foi de 1,27% e 0,0083 respectivamente. Esses dados foram calculados com o auxílio de um programa na linguagem Fortran, demonstrando que pode ocorrer durante o processo a formação de substâncias que aderem a superfície da membrana, "scaling /e ou "fouling", omitindo assim melhores informações em termos de condutividade elétrica.

4.4 – Efeito da pressão de operação sob a concentração inicial da solução de alimentação do sistema de dessalinização.

As Figuras 4.5 a 4.20 correspondem as corridas realizadas com a membrana do tipo BW-2514-HP da Hydranautics, e as Figuras 4.21 a 4.28 foram feitas com a membrana BW-2514-TFC-S da Fluid Systems. Para todos os casos estudados observou-se o mesmo comportamento em relação a variação da concentração do produto e concentrado, ou seja a condutividade elétrica do produto diminui em função da pressão aplicada ao elemento de membrana e em consequência a condutividade do concentrado aumenta.

De acordo com as informações técnicas da Empresa Hydranautics, a membrana BW-2514-HP, apresenta condições de permeação para concentrações elevadas, é tanto que os resultados obtidos no final das corridas a condutividade elétrica do produto apresentou-se

dentro dos padrões de potabilidade até 500 mg/l (Organização Mundial de Saúde). Todavia foi observado que a recuperação foi menor do que a recuperação obtida com a membrana da Fluid Systems. Isso se deve ao fato que a membrana da Fluid por se tratar de um elemento de membrana para águas leves (softening), apresenta uma área de permeação para íons divalentes, ou seja mais aberta, oferecendo assim maior fluxo e a passagem de outros íons. A faixa de pressão que apresentou melhor resultados foi de 6,0 a 7,0 kgf/cm². Isso foi observado para os dois tipos de elementos de membranas, para concentrações abaixo de 1000 mg/l, a membrana da Fluid Systems mostrou-se, mesmo para uma água salobra proveniente de um poço tubular, resultados satisfatórios. A Figura 4.29 ou a Tabela 4.48, mostram que o J_w , apresenta um comportamento semelhante para diferentes pressões de operação. Pode ser observado para uma dada concentração, que o fluxo de água que atravessa a membrana diminui a medida a pressão no elemento de membrana diminui. Por outro lado, pode ser visto na Figura 4.30 para uma solução de NaCl de 942 mg/l que o fluxo aumentar quando o gradiente de pressão aumentar no elemento de membrana. Convém ressaltar que cada elemento de membrana apresenta uma área efetiva de transferência definida pelo seu fabricante e conseqüentemente a pressão máxima de trabalho. Para esse tipo de membrana o valor desta pressão é de 21,0 kgf/cm², quando a pressão de operação se aproxima deste valor, deve-se considerar que o elemento de membrana está operando próximo das suas condições limites (Hydranautics, 1994).

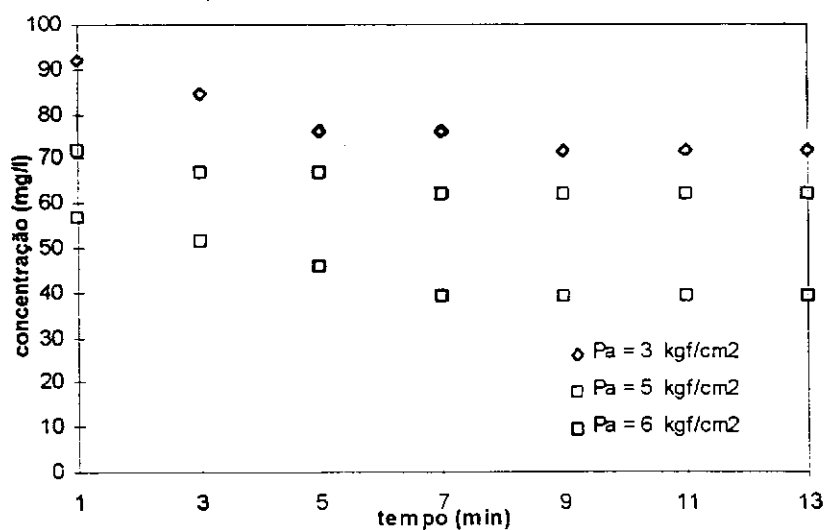


Figura 4.5 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: Pa = 3,0 kgf/cm², Pa = 5,0 kgf/cm², Pa = 6,0 kgf/cm², Ca = 1378 mg/l, T = 25 ± 1°C.

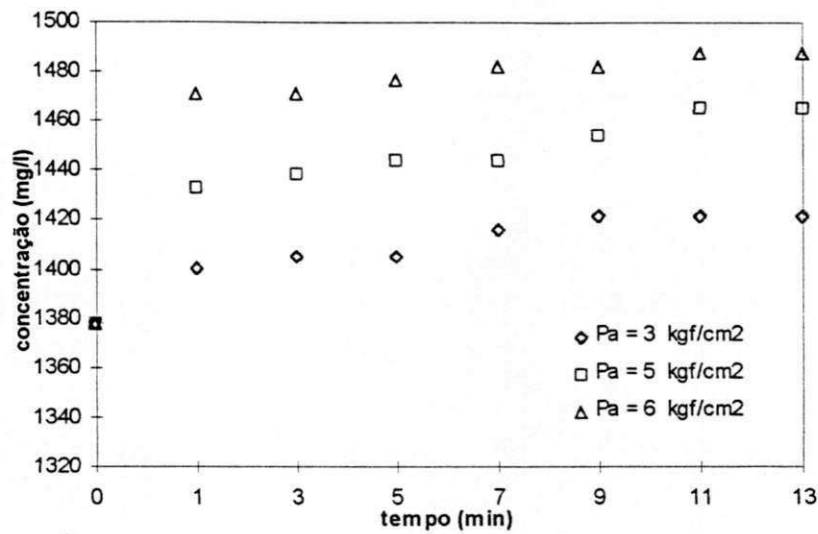


Figura 4.6 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1378 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

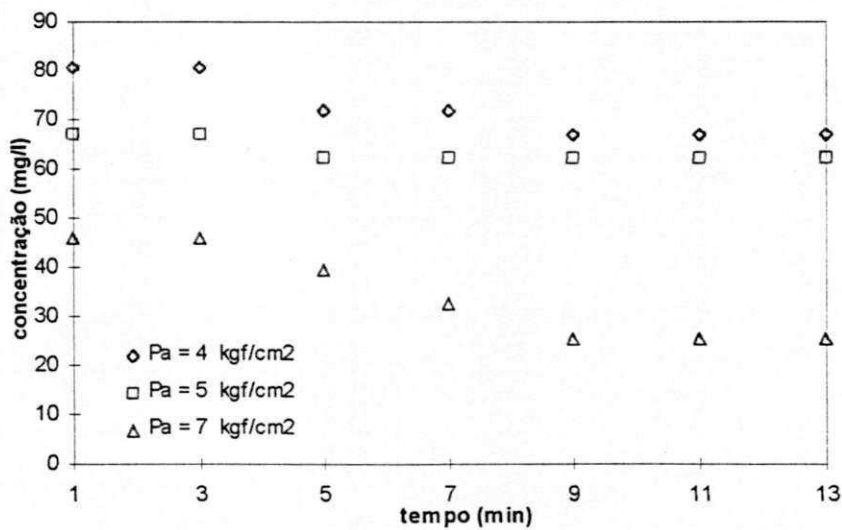


Figura 4.7 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1482 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

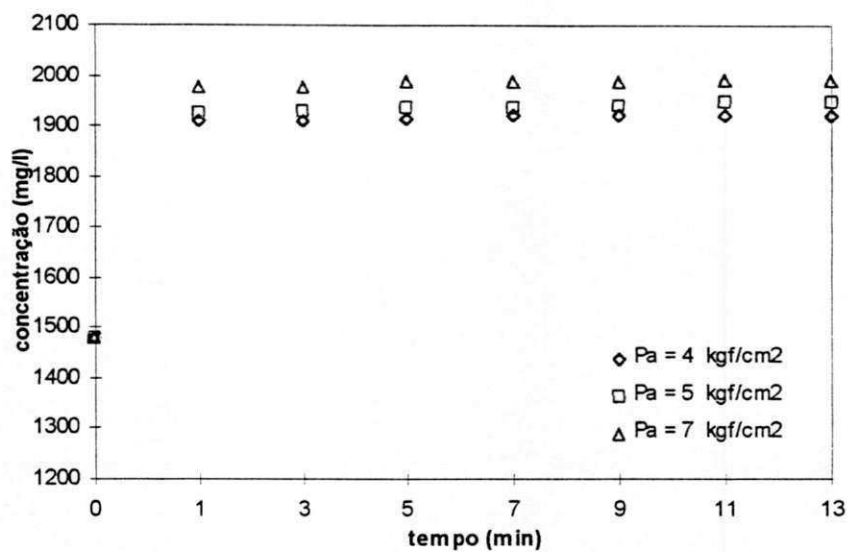


Figura 4.8 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1482 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

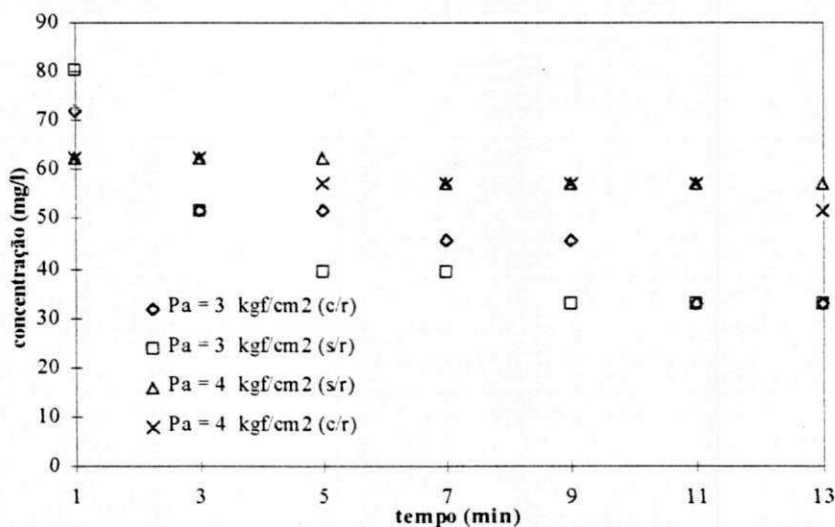


Figura 4.9 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1570 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

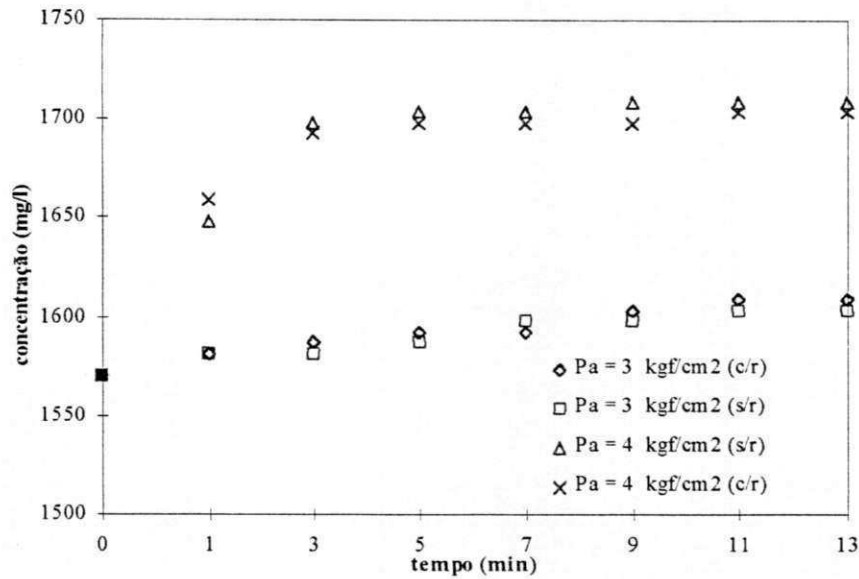


Figura 4.10 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 1570 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

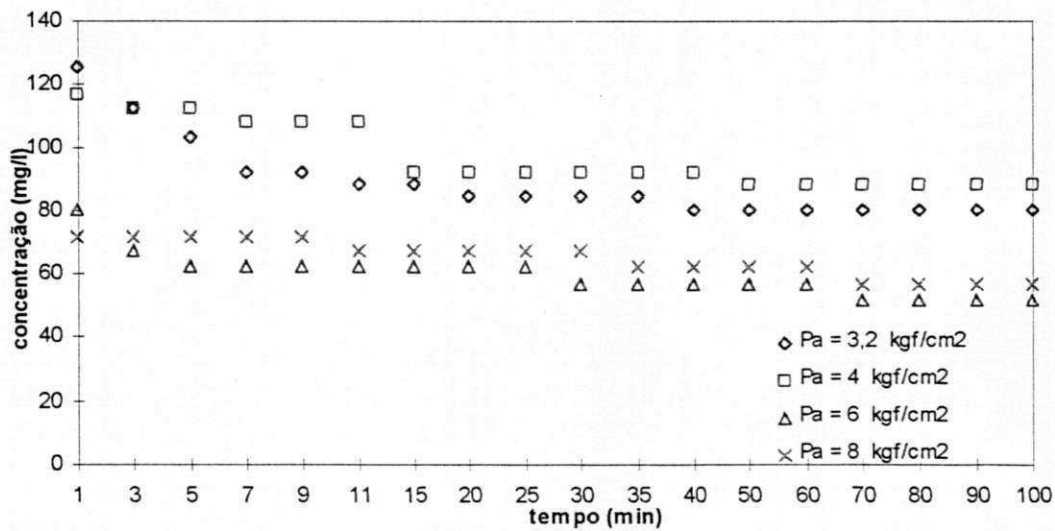


Figura 4.11 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,2 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2176 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

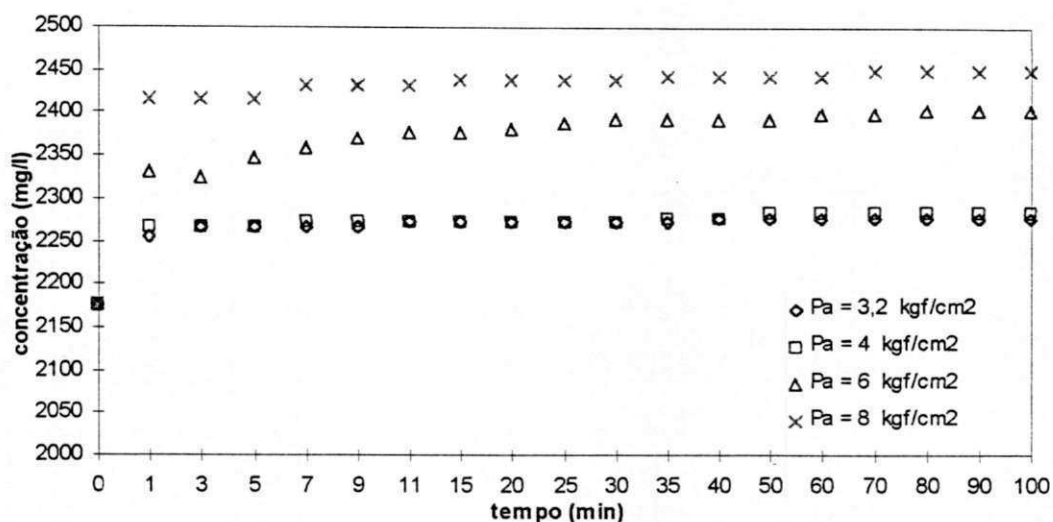


Figura 4.12 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: Pa = 3,2 kgf/cm², Pa = 4,0 kgf/cm², Pa = 6,0 kgf/cm², Pa = 8,0 kgf/cm², Ca = 2176 mg/l, T = 25 ± 1^oC.

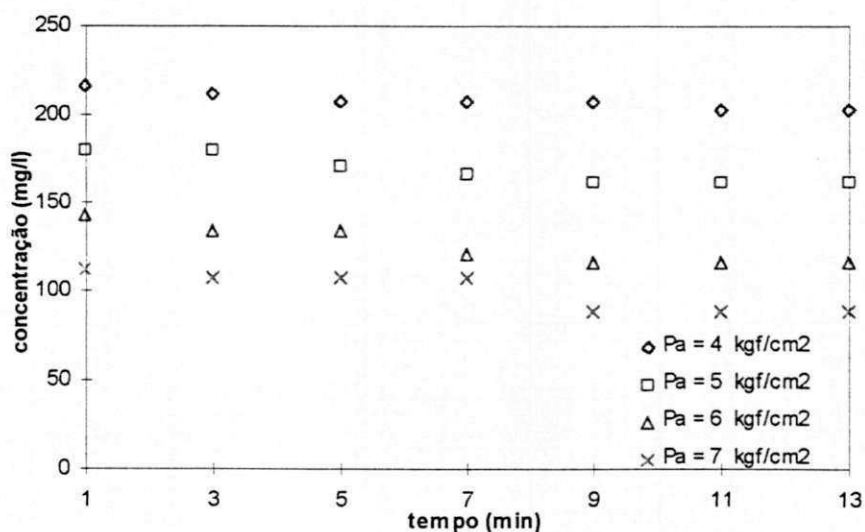


Figura 4.13 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: Pa = 4,0 kgf/cm², Pa = 5,0 kgf/cm², Pa = 6,0 kgf/cm², Pa = 7,0 kgf/cm², Ca = 2348 mg/l, T = 25 ± 1^oC.

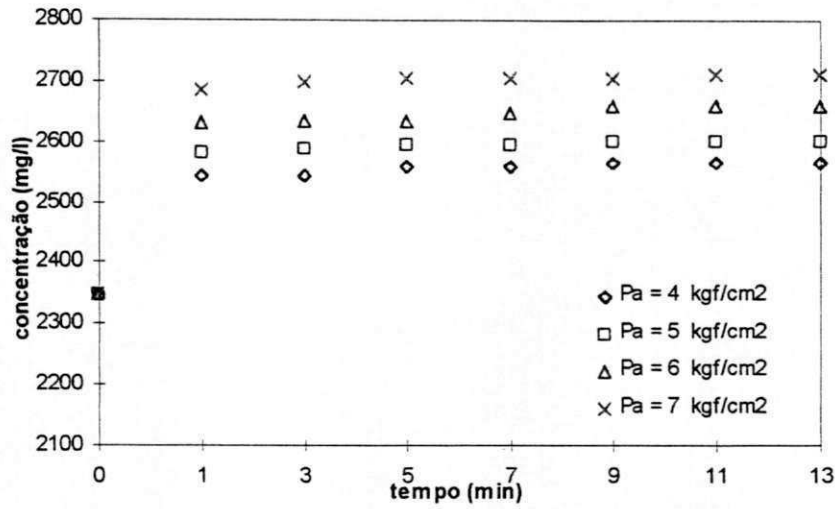


Figura 4.14 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2348 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

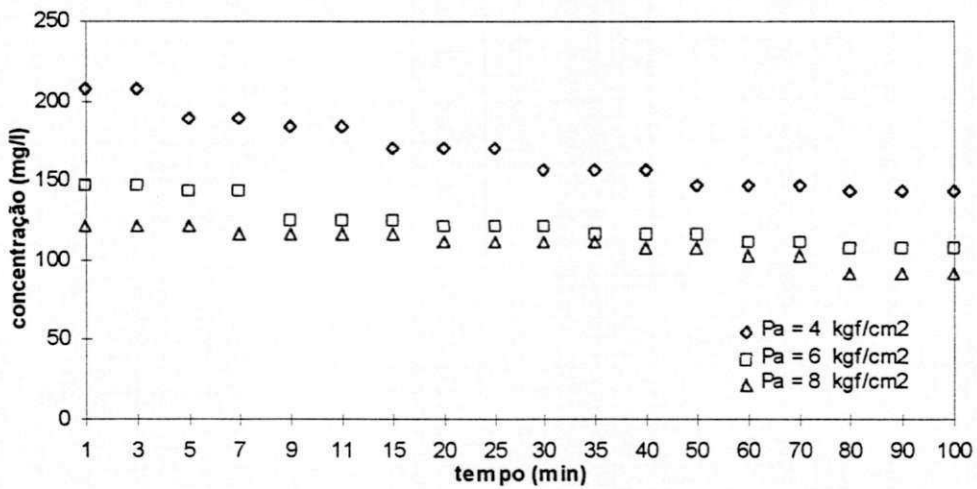


Figura 4.15 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2827 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

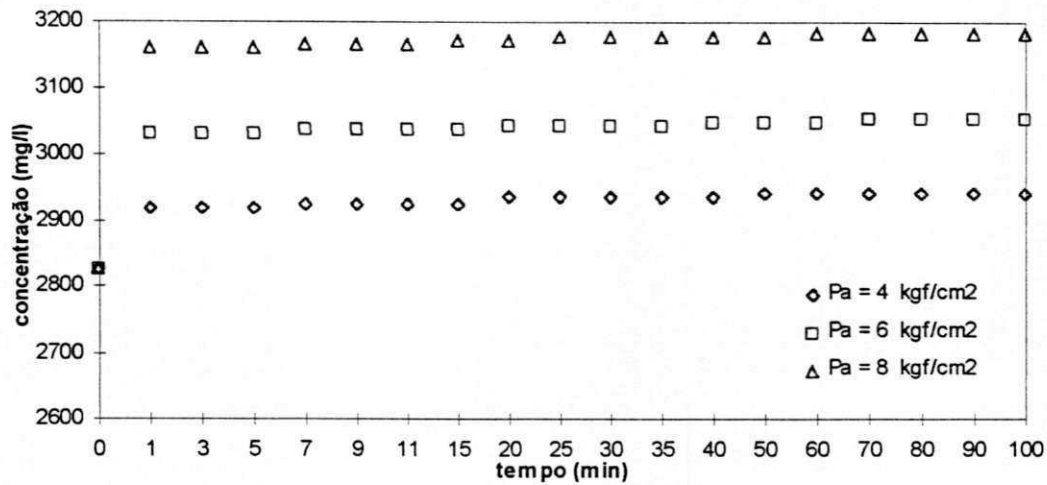


Figura 4.16 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2827 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

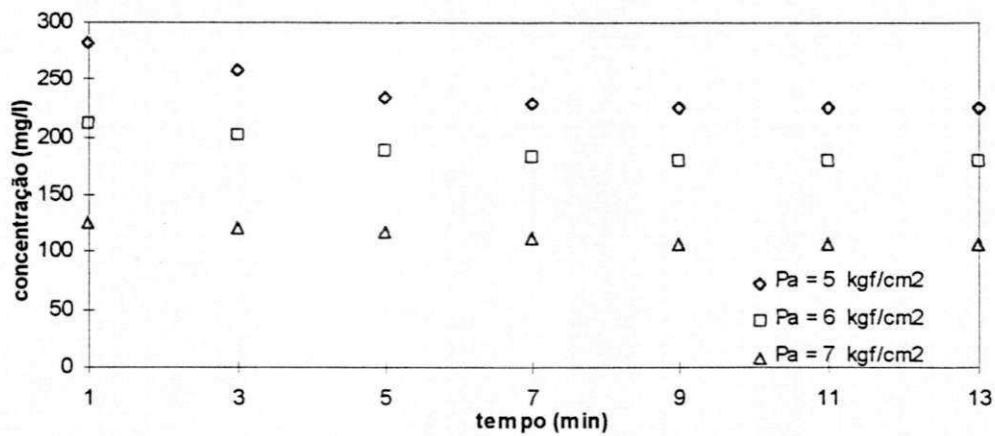


Figura 4.17 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2979 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

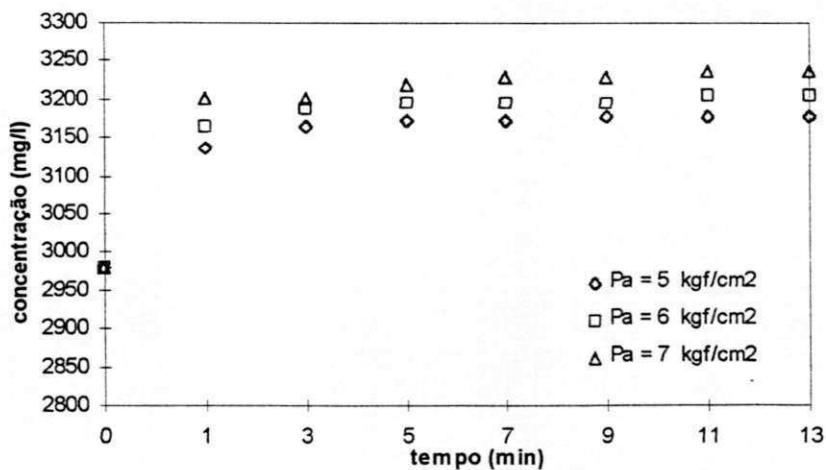


Figura 4.18 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2979 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

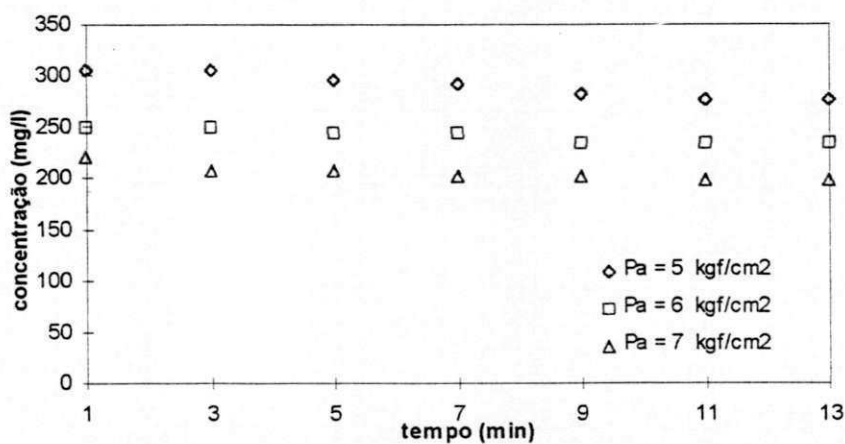


Figura 4.19 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 3449 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

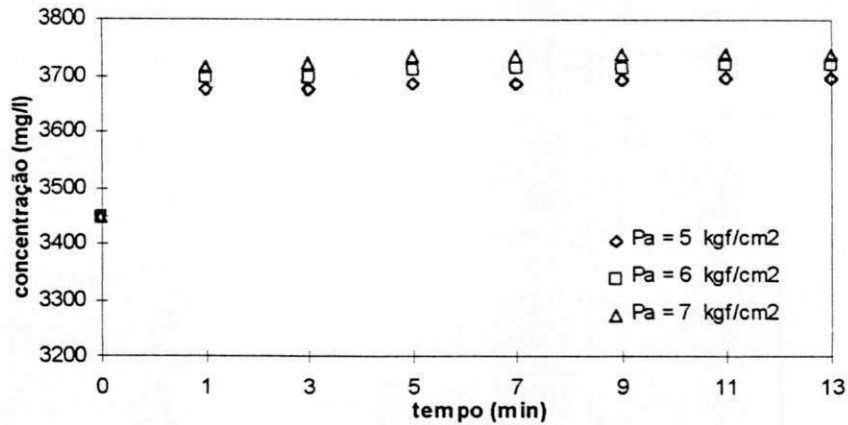


Figura 4.20 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 3449 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

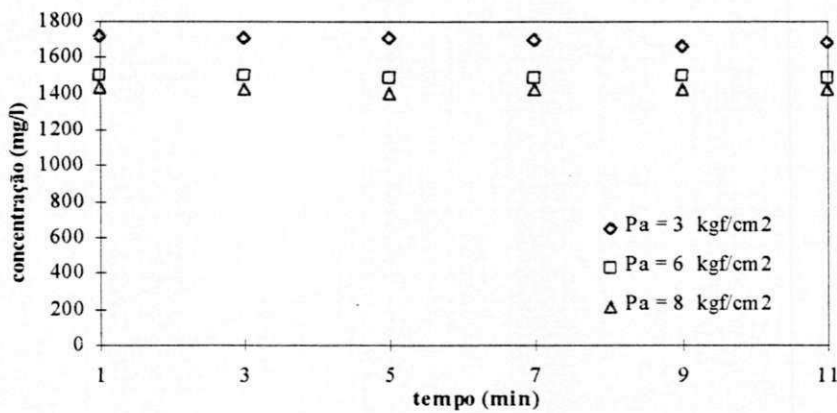


Figura 4.21 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 8,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2240 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

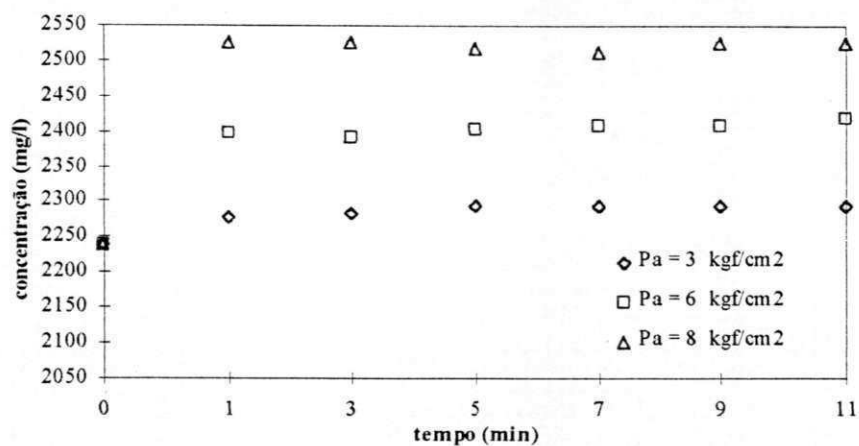


Figura 4.22 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: Pa = 3,0 kgf/cm², Pa = 6,0 kgf/cm², Pa = 8,0 kgf/cm², Ca = 2240 mg/l, T = 25 ± 1°C.

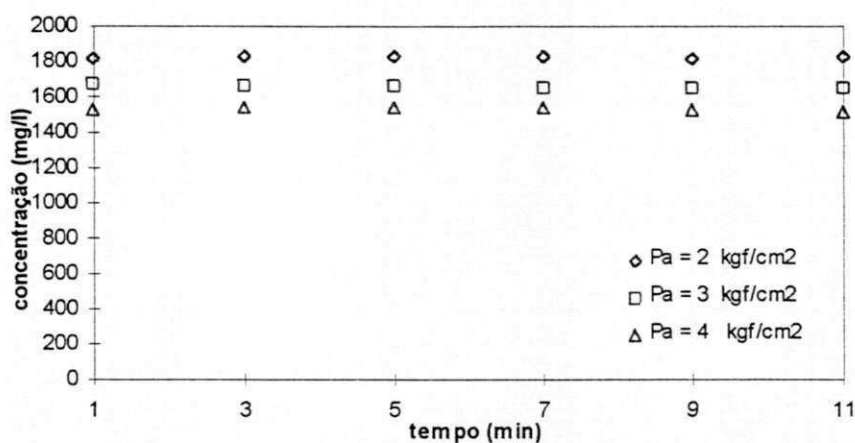


Figura 4.23 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: Pa = 2,0 kgf/cm², Pa = 3,0 kgf/cm², Pa = 4,0 kgf/cm², Ca = 2348 mg/l, T = 25 ± 1°C.

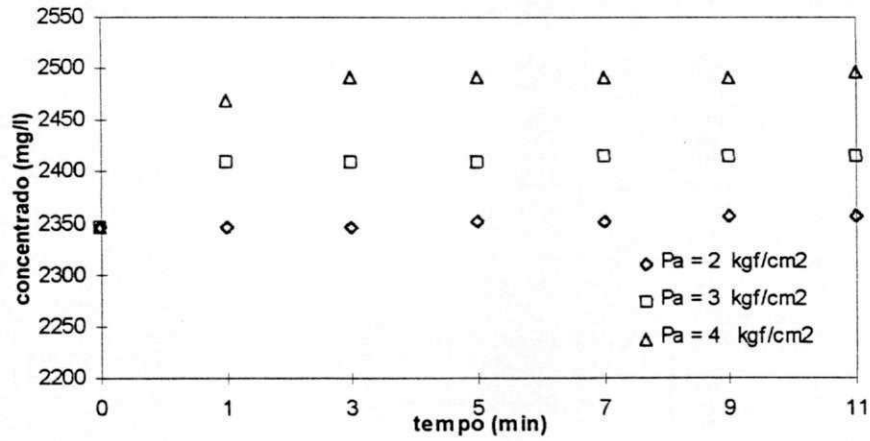


Figura 4.24 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 2348 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

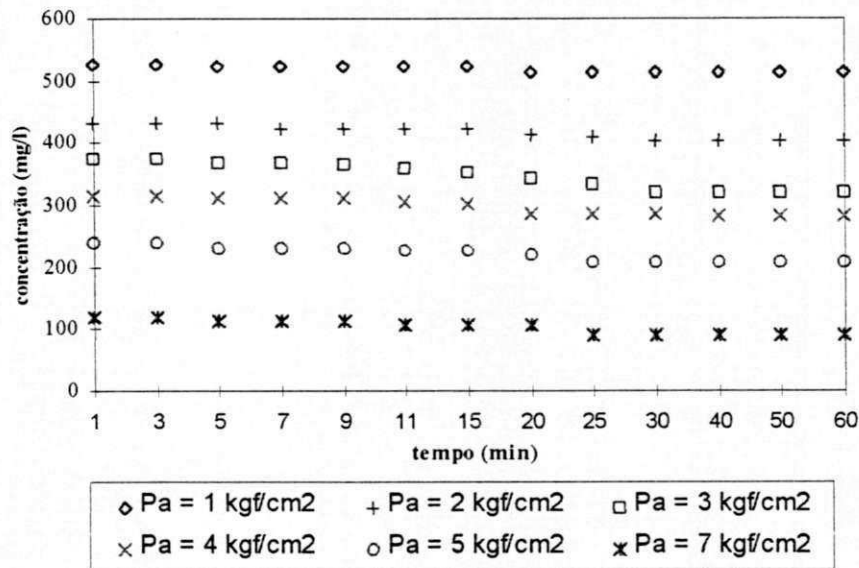


Figura 4.25 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

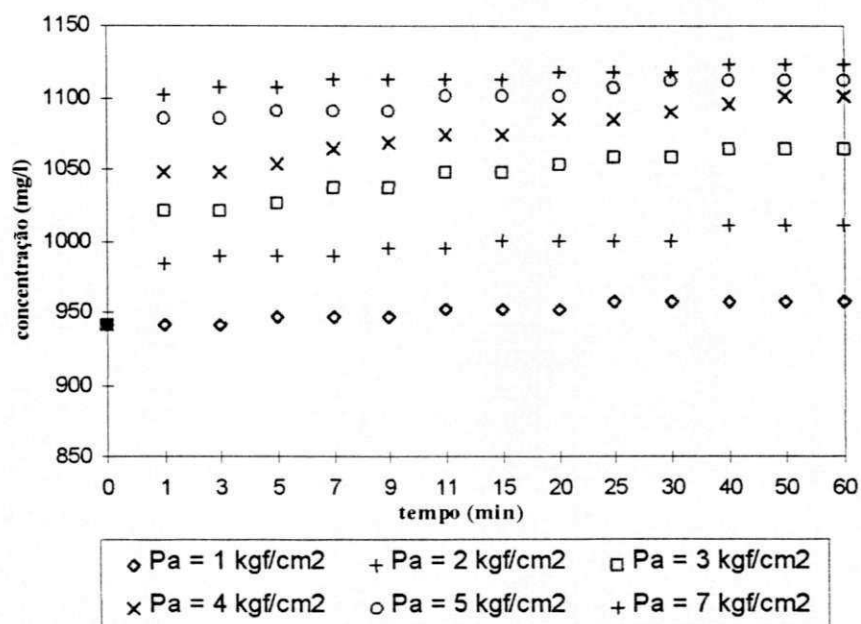


Figura 4.26 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 2,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 4,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

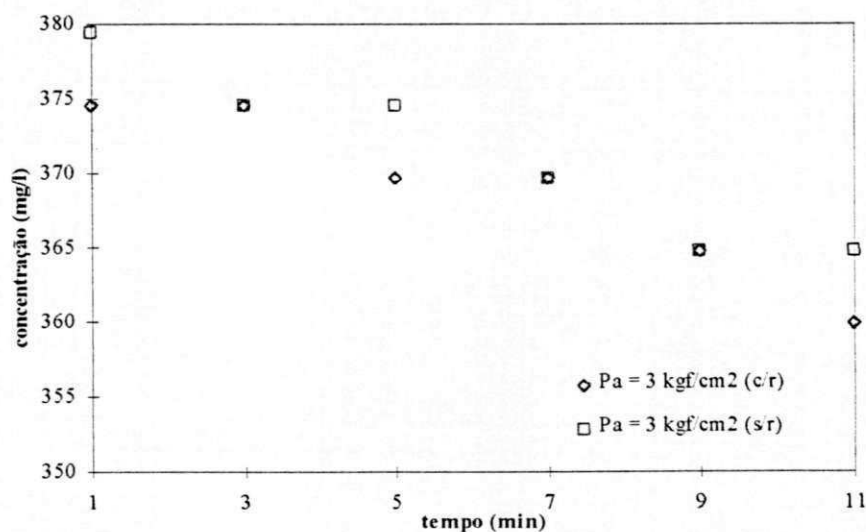


Figura 4.27 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do produto, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

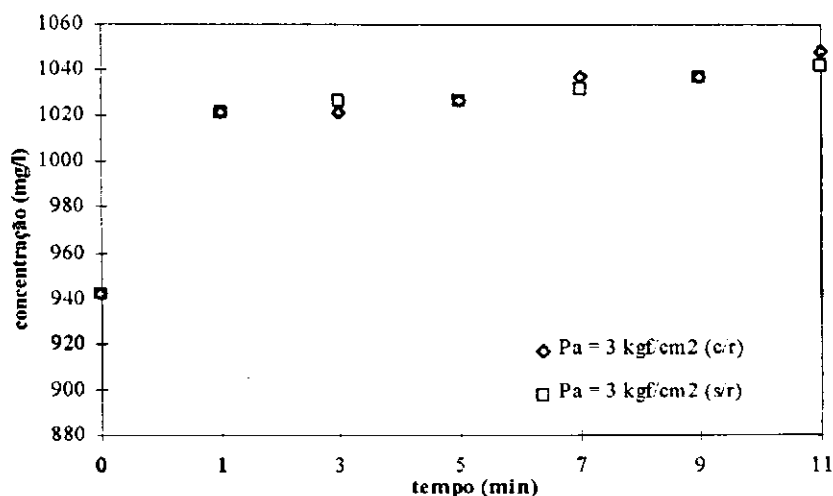


Figura 4.28 - Representação da variação da concentração de sais dissolvidos na corrente do concentrado, em função do tempo, sob as seguintes condições: $P_a = 3,0 \text{ kgf/cm}^2$, $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

4.4.1 - Coeficiente de transferência de massa

Para calcular o coeficiente de transferência de massa da água (K_w), para as duas membranas em estudo, foi com auxílio de dados experimentais e das Equações 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8. As Tabelas 4.48 e 4.49 (Apêndice 1), além de apresentarem os valores obtidos de J_w , mostram os de K_w para uma faixa de concentração de 942 a 3449 mg/l de NaCl. De acordo com a Equação 2.6, observa-se que o fluxo de água através da membrana depende da diferença entre o gradiente de pressão que atua no elemento de membrana, durante o processo, e o gradiente da pressão osmótica da solução, bem como do coeficiente de transferência de massa da água. Este coeficiente é um parâmetro que depende da característica de cada membrana, ou seja, a taxa de oferta de transferência do soluto através de seus poros, para gerar a melhor oferta de produto. A grandeza deste coeficiente depende de outros segmentos que são: o potencial iônico da solução, a pressão de operação e os outros interferentes que possam diminuir a permeação. Observa-se que o coeficiente de transferência de massa da água diminui a medida que o gradiente de pressão aumenta no elemento de membrana para uma dada concentração. Esse caso pode ser visto nas Figuras 4.31 e 4.32.

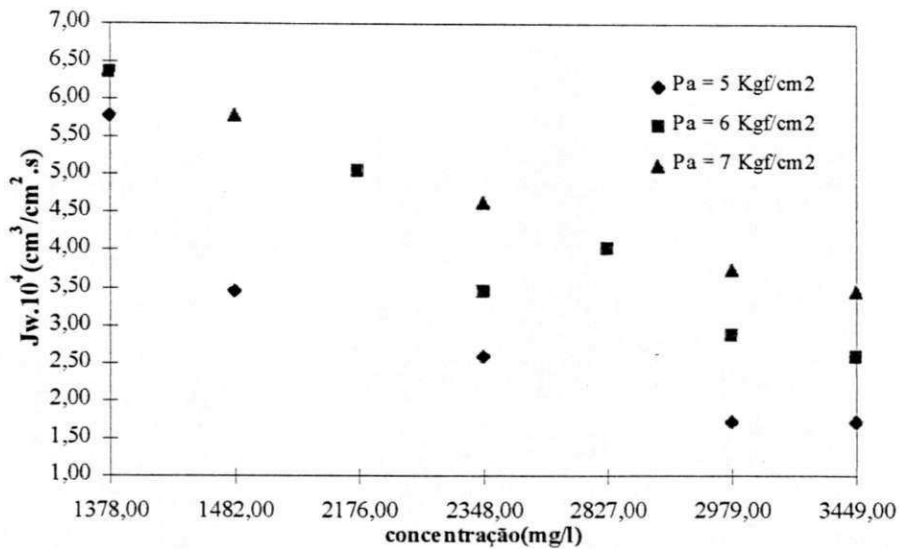


Figura 4.29 - Representação da variação do fluxo de água através da membrana, em função da concentração, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

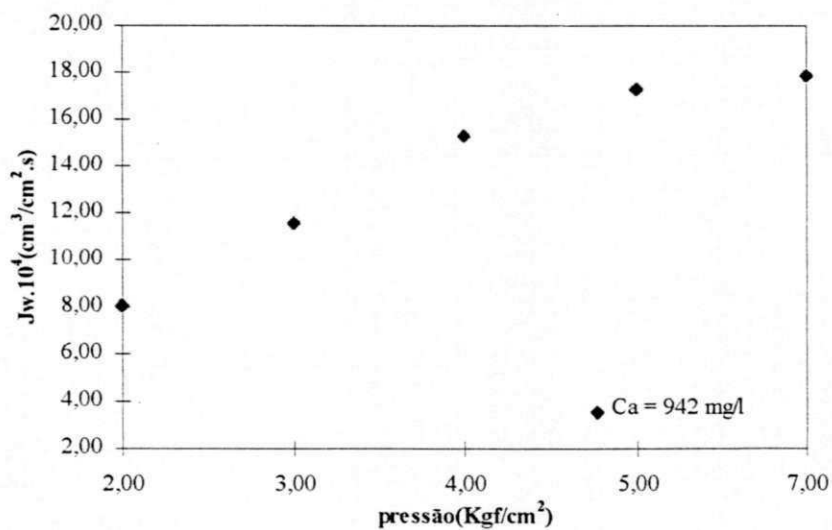


Figura 4.30 - Representação da variação do fluxo de água através da membrana, em função da pressão de alimentação, sob as seguintes condições: $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

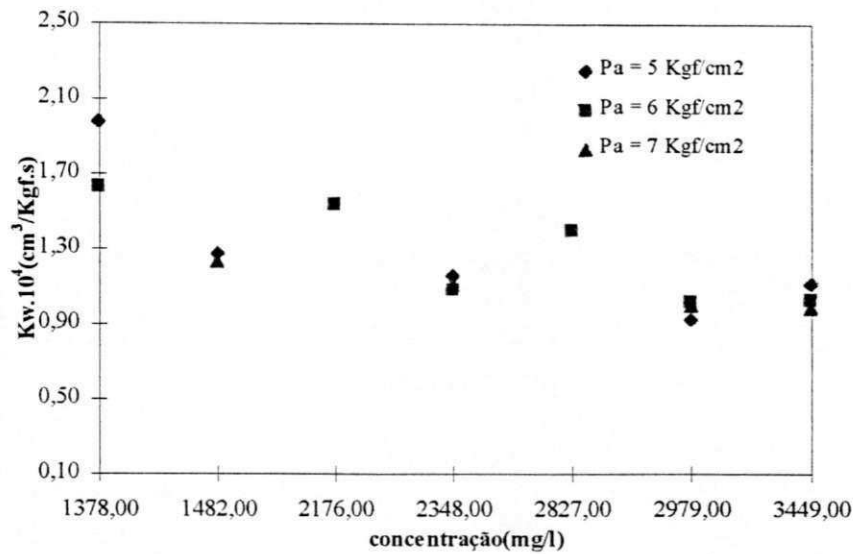


Figura 4.31 - Representação da variação do coeficiente de transferência de massa da água, em função da concentração, sob as seguintes condições: Pa = 5,0 kgf/cm², Pa = 6,0 kgf/cm², Pa = 7,0 kgf/cm², T = 25 ± 1^oC.

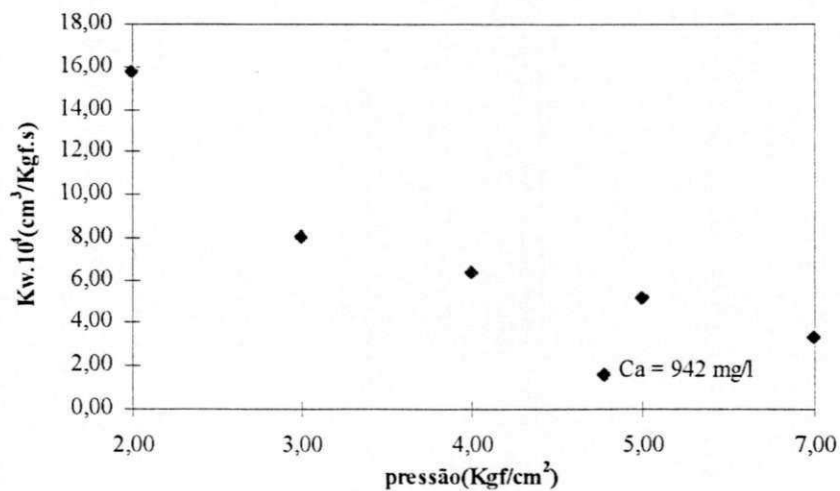


Figura 4.32 - Representação da variação do coeficiente de transferência de massa da água, em função da pressão de alimentação, sob as seguintes condições: Ca = 942 mg/l, T = 25 ± 1^oC.

4.5 - Variação do Potencial Hidrogeniônico

As Figuras 4.33 a 4.37 (ou Tabelas 4.51 a 4.53, conforme mostra o Apêndice 1) mostram o comportamento, ao final de cada corrida, do pH do concentrado e do produto.

A Figura 4.33 mostra a variação do pH do concentrado e do produto durante o processo de dessalinização para uma solução de cloreto de sódio de 942 mg/l. Nota-se que o pH do produto foi reduzido somente 3,0% do pH inicial, já para água salobra do poço do Município de Zabelê-PB essa redução foi para 12,5%, conforme mostra a análise físico-química da água que se encontra no Apêndice 4. Isso mostra que ocorreu uma redução significativa de espécies iônicas levando a redução do pH.

Considerando que durante o processo o pH variou lentamente, tomou-se o pH médio de cada corrida, com o objetivo de comparar o efeito da pressão aplicada para uma dada concentração. Conforme pode ser observado na Figura 4.34, o pH do produto e do concentrado ficaram praticamente constante, independente da pressão usada. Esse fato está relacionado com a taxa de rejeição de sais (T.R.S%) da membrana, que de acordo com o fabricante a T.R.S é de 98%, sob uma pressão de operação até 21,0 kgf/cm². Ficando assim, a qualidade do produto em termos de sais dissolvidos praticamente a mesma independente do valor da recuperação. As Figuras 4.35 a 4.37 mostram as curvas de corridas de concentrações diferentes sob o efeito das pressões de 5,0; 6,0 e 7,0 kgf/cm². Nota-se que o comportamento foi semelhante, o pH do concentrado no final é superior ao pH do produto. A importância deste estudo é mostrar que, tanto a corrente da alimentação como a do produto, podem ser ajustadas com adição de produtos químicos (ácidos ou bases). Isso direciona a um pré tratamento da água de alimentação, visando assim a formação de substâncias aderentes à superfície da membrana e conseqüentemente aumentando a vida útil da membrana.

No Apêndice 4 se encontra a análise físico-químico de água de poço do Município de Zabelê - PB, a uma concentração de 980 mg/l, que mostra um pH inicial de 8,0 e após a dessalinização o pH do concentrado e do produto foram 9,0 e 7,0 respectivamente. Para este caso o pH final se mostrou excelente para água de consumo humano, mas deve-se considerar que a presença de carbonatos e bicarbonatos poderão no futuro comprometer o desempenho da membrana.

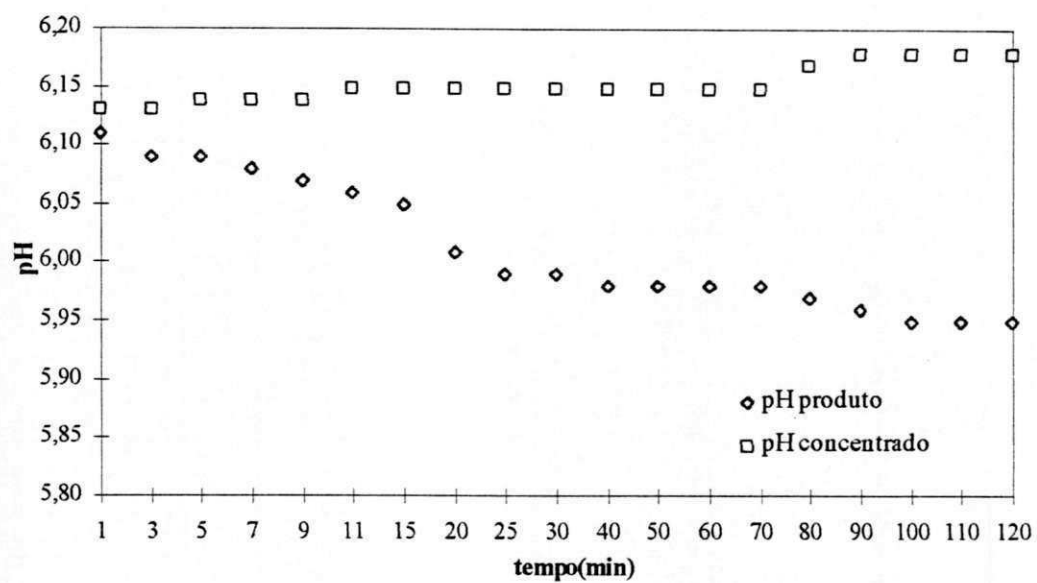


Figura 4.33 - Potencial de hidrogênio em função da concentração de alimentação, sob as seguintes condições: $Ca = 942 \text{ mg/l}$; $Pa = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$; $pHi = 6,07$; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

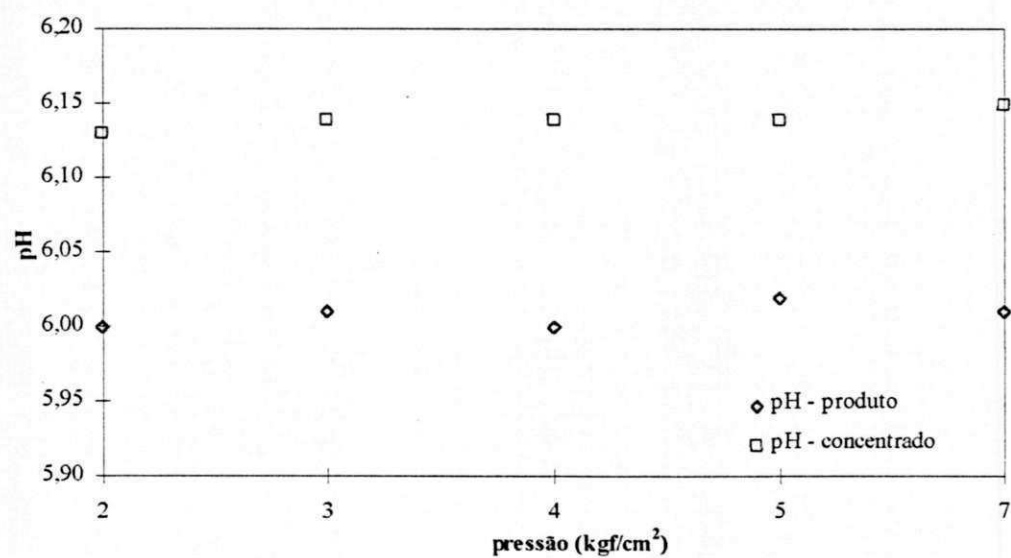


Figura 4.34 - Potencial de hidrogênio em função da pressão de alimentação, sob as seguintes condições: $Ca = 942 \text{ mg/l}$; $pHi = 6,07$; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

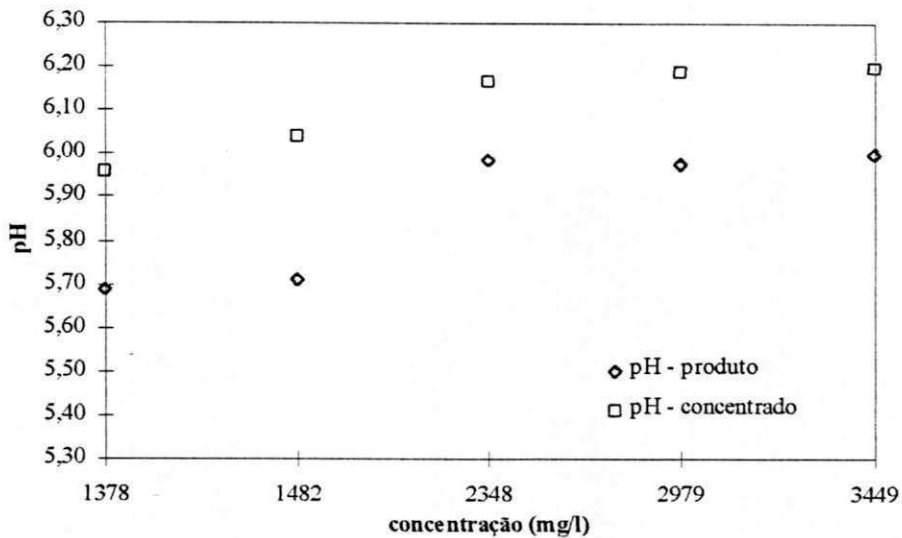


Figura 4.35 - Potencial de hidrogênio em função da concentração de alimentação, sob as seguintes condições: $P_a = 5,0 \text{ kgf/cm}^2$, $\text{pHi}_{1378} = 5,81$, $\text{pHi}_{1482} = 5,83$, $\text{pHi}_{2348} = 6,07$, $\text{pHi}_{2979} = 6,10$, $\text{pHi}_{3449} = 6,12$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

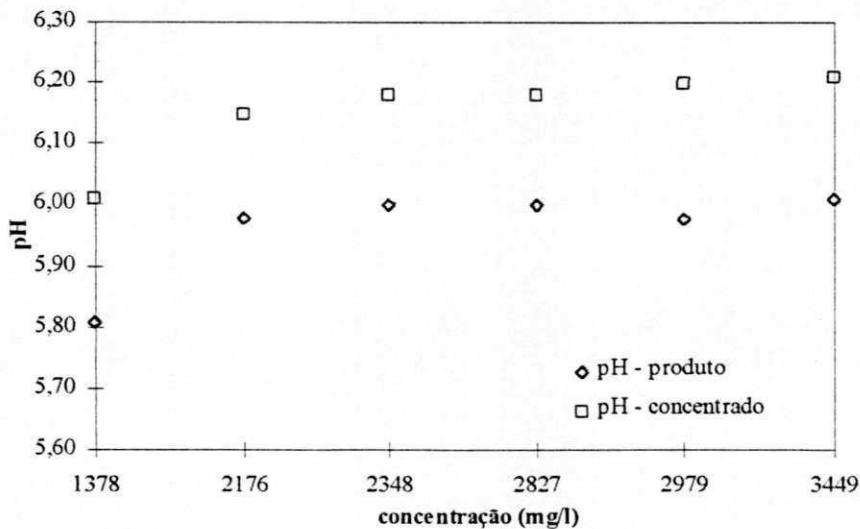


Figura 4.36 - Potencial de hidrogênio em função da concentração de alimentação, sob as seguintes condições: $P_a = 6,0 \text{ kgf/cm}^2$, $\text{pHi}_{1378} = 5,81$, $\text{pHi}_{2176} = 6,05$, $\text{pHi}_{2348} = 6,07$, $\text{pHi}_{2827} = 6,09$, $\text{pHi}_{2979} = 6,10$, $\text{pHi}_{3449} = 6,12$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

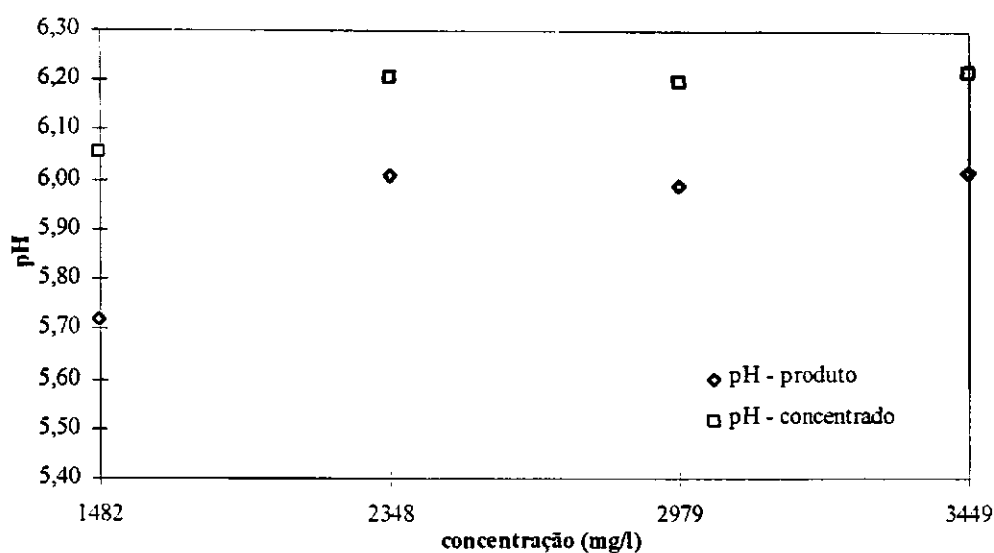


Figura 4.37- Potencial de hidrogênio em função da concentração de alimentação, sob as seguintes condições: $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $\text{pHi}_{1482} = 5,83$, $\text{pHi}_{2348} = 6,07$, $\text{pHi}_{2979} = 6,10$, $\text{pHi}_{3449} = 6,12$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

4.6 – Consumo e Custo de energia

Sabe-se que os custos das plantas de osmose inversa são geralmente estimados em função da capacidade de produção de água potável, total de sólidos dissolvidos (TDS) ou a pressão (Morin, 1994). Os cálculos obtidos para os custos tem mostrado que o custo da água ($\text{R}\$/\text{m}^3$) diminui em função da produção da planta. Por exemplo, para uma planta que produz 1 milhão de metros cúbicos por dia (mm^3/d) de água dessalinizada apresenta um custo de $\text{R}\$ 0,50/\text{m}^3$, enquanto que uma planta produzindo 5 (mm^3/d) o custo da água diminui para a ordem de $\text{R}\$ 0,26 /\text{m}^3$, obviamente para estes valores foram considerados vários parâmetros de projetos como; custos diretos de construção, custo capital indireto e custo de operação (Malleviable, Odendaal & Wiesner, 1996)

Para estudar o consumo de uma forma simplificada. Para este tipo de sistema o elemento básico de consumo de energia está ligado com a potência da bomba, a eficiência da membrana e eficiência do motor.

A Tabela 4.3 apresenta para as soluções de NaCl o consumo de energia durante o processo e custo da água dessalinizada. O consumo de energia foi obtido através da Equação 2.9, observa-se que o consumo de energia aumenta em função da recuperação, bem como o custo de produção de água dessalinizada. Os valores obtidos tanto para o consumo e o custo de energia se encontram dentro da faixa atribuída pela literatura que é de 1,0 a 1,5 kWh/m³ (Amjad,1992).

Também foi observado que o custo e o consumo de energia para a dessalinização da água do poço do Município de Zabelê -PB foram de 0,93 kWh/m³ e R\$ 0,12/m³. Para calcular o custo de energia foi considerado que 1kWh custa R\$0,13, segundo a Companhia Energética da Borborema do Estado da Paraíba.

Tabela 4.3 - Concentração inicial da amostra, pressão de alimentação, recuperação, consumo de energia e custo por metro cúbico dessalinizado. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

Ca mg/l	Pa kgf/cm ²	R %	E kWh/m ³	Custo (Ce) R\$/m ³
942	2,0	8,40	0,91	0,12
	3,0	12,30	0,92	0,12
	4,0	16,80	0,90	0,12
	5,0	18,10	1,04	0,14
	7,0	18,40	1,44	0,19
2240	3,0	11,90	0,95	0,12
	6,0	20,10	1,13	0,15
	8,0	19,60	1,55	0,20
2348	2,0	7,30	1,04	0,14
	3,0	11,10	1,02	0,13
	4,0	14,50	1,05	0,14

* Custo do kWh = R\$ 0,13 - Companhia Energética da Borborema- PB

CAPÍTULO VI

PERSPECTIVAS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, pode-se apresentar as seguintes sugestões:

1. Estudar a dessalinização com maior número de amostras de soluções de NaCl e de poços tubulares.
2. Desenvolver um projeto que ofereça melhores condições de controle do pH dos afluentes e efluentes durante os experimentos.
3. Introduzir unidades de medidas que possam controlar as vazões do sistema.
4. Com as informações obtidas dos itens 2 e 3 procurar interligar o sistema a uma placa de aquisição de dados de forma que o processo seja controlado via computador e, conseqüentemente venha gerar um banco de dados para futuras simulações.

CAPÍTULO VII

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMJAD, Z. Reverse Osmose: Membrane tecnologia, water chemistry & industrial applications 1992.

APPLEGATE, L.E. Membrane separation process. Chemical engineering. 1994.

BUROS, E. A. The Usaid desalination manual. Produced by CH2M HILL international for the U.S. Agency for international development. 1990.

CLAIR, D.H. & ADAMS P.V. Microfiltracion of a high-turbidity surface water with post-treatment by nonafiltration and reverse osmosis. 1996.

CULLER, P.L. Pretreatment for sea water desalination & Post-treatment of desalted sea water. 1996.

DOW, Europe separation systems filmtec membranes technical Manual. 1992.

DOW ,Latin América, A tecnologia de membranas de Osmose Reversa. 1993.

FLUID SYSTEMS, Reverse osmosis seminar workbook. 1995.

GAGLIARDO, P & ADHAM S. Water repurification using reverse osmosis: Thin film composite vs. cellulose acetate membranes. City of San Diego. 1993.

GÓMEZ, C. & PERAL, J.M.A Desalinizacion por osmosis inversa: La Alternativa Fotovoltaica. 1993.

HABERT, A. C., BORGES, C. P. & NOBREGA, R. Escola Piloto em Engenharia Química. Processos de separação com membranas. COPPE/UFRJ, março 1997.

HYDRANAUTICS, Membrane Element, Copyright, All Rights Reserved, 1994.

MALLEVIALLE, J. , ODENDAAL, P.E & WIESNER, M.R. Water Treatment Membrane Processes. 1996.

MANUAL DE DESSALINIZADORES PARA PLANEJADORES, realizada pela secretaria de recuperação, Engenharia e centro de pesquisa de Denver, Colorado, 1^o edição maio de 1972.

MOCH, I.J.R. Comparing costs of reverse osmosis versus single and dual purpose thermal plants. Bechtel Corporation, San Francisco, CA 1993.

MORIN, O. J. September, 1994. Proceedings of Ida annual conference, west Palm Beach, Fla.

MORIN, P.E. Principles of seawater desalting. 1996.

OSMONICS. Separation, filtration and fluid handling equipment. Minneapolis, 1989.

PORTER, M.C. Membrane Filtration. Vice president of Research Development, Nucleopore Corporation, Pleasanton, California 1996.

UNITED NATIONS. Non-conventional water resource. Use in developing countries. (UN Pub no. E.87.ii.A20.1987).

WANGNICK, K. Ida world wide desalting plants inventory. Produced by Wangnick consulting for the international desalination association. 1990.

WANGNICK , K.. 1992. Ida world wide desalting plants inventory, Report 12, december 31, 1991. Topsfield, Mass: International desalination association.

S. WINSTON HO & K.K. SILKAR. Membrane Handbook, 1992.

APÊNDICE 1
TABELAS

Tabela 4.4 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,10$ l/min; $Q_c = 3,50$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm²; $C_a = 1378$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		2,76		1378,24				
1,00	0,25	2,80	92,22	1400,13	3,56	93,31	6,69	2,81
3,00	0,23	2,81	84,65	1405,60	3,57	93,86	6,14	2,80
5,00	0,21	2,81	76,40	1405,60	3,57	94,46	5,54	2,80
7,00	0,21	2,83	76,40	1416,56	3,60	94,46	5,54	2,78
9,00	0,20	2,84	71,97	1422,04	3,61	94,78	5,22	2,77
11,00	0,20	2,84	71,97	1422,04	3,61	94,78	5,22	2,77
13,00	0,20	2,84	71,97	1422,04	3,61	94,78	5,22	2,77

Tabela 4.5 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,20$ l/min; $Q_c = 3,40$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm²; $C_a = 1378$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		2,76		1378,24				
1,00	0,20	2,86	71,97	1433,01	3,54	94,78	5,22	5,68
3,00	0,19	2,87	67,32	1438,50	3,55	95,12	4,88	5,66
5,00	0,19	2,88	67,32	1443,99	3,56	95,12	4,88	5,64
7,00	0,18	2,88	62,41	1443,99	3,56	95,47	4,53	5,64
9,00	0,18	2,90	62,41	1454,97	3,59	95,47	4,53	5,61
11,00	0,18	2,92	62,41	1465,97	3,61	95,47	4,53	5,57
13,00	0,18	2,92	62,41	1465,97	3,61	95,47	4,53	5,57

Tabela 4.6 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,22$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm²; $C_a = 1378$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0		2,76		1378,24				
1,00	0,17	2,93	57,23	1471,46	3,41	95,85	4,15	6,45
3,00	0,16	2,93	51,73	1471,46	3,41	96,25	3,75	6,45
5,00	0,15	2,94	45,87	1476,96	3,42	96,67	3,33	6,43
7,00	0,14	2,95	39,61	1482,47	3,43	97,13	2,87	6,41
9,00	0,14	2,95	39,61	1482,47	3,43	97,13	2,87	6,41
11,00	0,14	2,96	39,61	1487,97	3,44	97,13	2,87	6,39
13,00	0,14	2,96	39,61	1487,97	3,44	97,13	2,87	6,39

Tabela 4.7- Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,09$ l/min; $Q_c = 3,10$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm²; $C_a = 1482$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		2,95		1482,47				
1,00	0,22	3,72	80,62	1911,06	3,54	94,56	5,44	2,60
3,00	0,22	3,72	80,62	1911,06	3,54	94,56	5,44	2,60
5,00	0,20	3,73	71,97	1916,68	3,55	95,15	4,85	2,59
7,00	0,20	3,74	71,97	1922,31	3,56	95,15	4,85	2,59
9,00	0,19	3,74	67,32	1922,31	3,56	95,46	4,54	2,59
11,00	0,19	3,74	67,32	1922,31	3,56	95,46	4,54	2,59
13,00	0,19	3,74	67,32	1922,31	3,56	95,46	4,54	2,59

Tabela 4.8 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,12$ l/min; $Q_c = 2,90$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm²; $C_a = 1482$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0		2,95		1482,47				
1	0,19	3,75	67,32	1927,94	3,69	95,46	4,54	3,25
3	0,19	3,76	67,32	1933,57	3,70	95,46	4,54	3,24
5	0,18	3,77	62,41	1939,20	3,71	95,79	4,21	3,23
7	0,18	3,77	62,41	1939,20	3,71	95,79	4,21	3,23
9	0,18	3,78	62,41	1944,84	3,72	95,79	4,21	3,22
11	0,18	3,79	62,41	1950,47	3,73	95,79	4,21	3,21
13	0,18	3,79	62,41	1950,47	3,73	95,79	4,21	3,21

Tabela 4.9 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,20$ l/min; $Q_c = 2,80$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm²; $C_a = 1482$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0		2,95		1482,47				
1	0,15	3,84	45,87	1978,66	4,05	96,91	3,09	4,94
3	0,15	3,84	45,87	1978,66	4,05	96,91	3,09	4,94
5	0,14	3,86	39,61	1989,95	4,07	97,33	2,67	4,92
7	0,13	3,86	32,89	1989,95	4,07	97,78	2,22	4,92
9	0,12	3,86	25,63	1989,95	4,06	98,27	1,73	4,92
11	0,12	3,87	25,63	1995,60	4,07	98,27	1,73	4,91
13	0,12	3,87	25,63	1995,60	4,07	98,27	1,73	4,91

Tabela 4.10 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições:
 $Q_p = 0,068$ l/min; $Q_c = 3,30$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm²; $C_a = 1570$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.
 (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0		3,11		1570,73				
1,00	0,20	3,13	71,97	1581,80	3,33	95,42	4,58	2,0447
3,00	0,16	3,14	51,73	1587,33	3,34	96,71	3,29	2,0388
5,00	0,16	3,15	51,73	1592,87	3,35	96,71	3,29	2,0323
7,00	0,15	3,15	45,87	1592,87	3,35	97,08	2,92	2,0324
9,00	0,15	3,17	45,87	1603,94	3,37	97,08	2,92	2,0196
11,00	0,13	3,18	32,89	1609,49	3,38	97,91	2,09	2,0136
13,00	0,13	3,18	32,89	1609,49	3,38	97,91	2,09	2,0136
15,00	0,13	3,18	32,89	1609,49	3,38	97,91	2,09	2,0136
20,00	0,13	3,19	32,89	1615,03	3,39	97,91	2,09	2,0072
25,00	0,12	3,19	25,63	1615,03	3,39	98,37	1,63	2,0074
30,00	0,12	3,19	25,63	1615,03	3,39	98,37	1,63	2,0074

Tabela 4.11 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,068$ l/min; $Q_c = 3,30$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm²; $C_a = 1570$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		3,11		1570,73				
1,00	0,22	3,13	80,62	1581,80	3,33	94,87	5,13	2,04
3,00	0,16	3,13	51,73	1581,80	3,32	96,71	3,29	2,05
5,00	0,14	3,14	39,61	1587,33	3,33	97,48	2,52	2,04
7,00	0,14	3,16	39,61	1598,40	3,36	97,48	2,52	2,03
9,00	0,13	3,16	32,89	1598,40	3,36	97,91	2,09	2,03
11,00	0,13	3,17	32,89	1603,94	3,37	97,91	2,09	2,02
13,00	0,13	3,17	32,89	1603,94	3,37	97,91	2,09	2,02

Tabela 4.12 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,108$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm²; $C_a = 1570$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		3,11		1570,73				
1,00	0,18	3,25	62,41	1648,32	3,35	96,03	3,97	3,22
3,00	0,18	3,34	62,41	1698,37	3,44	96,03	3,97	3,14
5,00	0,18	3,35	62,41	1703,94	3,45	96,03	3,97	3,13
7,00	0,17	3,35	57,23	1703,94	3,45	96,36	3,64	3,13
9,00	0,17	3,36	57,23	1709,51	3,46	96,36	3,64	3,12
11,00	0,17	3,36	57,23	1709,51	3,46	96,36	3,64	3,12
13,00	0,17	3,36	57,23	1709,51	3,46	96,36	3,64	3,12

Tabela 4.13 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições:
 $Q_p = 0,108$ l/min, $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm²; $C_a = 1570$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.
 (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0		3,11		1570,73				
1,00	0,18	3,27	62,41	1659,43	3,37	96,03	3,97	3,2039
3,00	0,18	3,33	62,41	1692,80	3,43	96,03	3,97	3,1463
5,00	0,17	3,34	57,23	1698,37	3,44	96,36	3,64	3,1372
7,00	0,17	3,34	57,23	1698,37	3,44	96,36	3,64	3,1372
9,00	0,17	3,34	57,23	1698,37	3,44	96,36	3,64	3,1372
11,00	0,17	3,35	57,23	1703,94	3,45	96,36	3,64	3,1279
13,00	0,16	3,35	51,73	1703,94	3,45	96,71	3,29	3,1282
15,00	0,16	3,35	51,73	1703,94	3,45	96,71	3,29	3,1282
20,00	0,15	3,36	45,87	1709,51	3,46	97,08	2,92	3,1192
25,00	0,15	3,36	45,87	1709,51	3,46	97,08	2,92	3,1192
30,00	0,15	3,36	45,87	1709,51	3,46	97,08	2,92	3,1192

Tabela 4.14 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições:

$Q_p = 0,06$ l/min; $Q_c = 3,60$ l/min; $P_a = 3,20$ kg/cm²; $C_a = 2176$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.

(Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0		4,19		2176,98				
1,00	0,31	4,33	125,77	2256,75	3,72	94,22	5,78	1,61
3,00	0,28	4,35	112,50	2268,17	3,74	94,83	5,17	1,60
5,00	0,26	4,35	103,73	2268,17	3,74	95,23	4,77	1,60
7,00	0,25	4,35	92,22	2268,17	3,74	95,76	4,24	1,60
9,00	0,25	4,35	92,22	2268,17	3,74	95,76	4,24	1,60
11,00	0,24	4,36	88,52	2273,88	3,75	95,93	4,07	1,60
15,00	0,24	4,36	88,52	2273,88	3,75	95,93	4,07	1,60
20,00	0,23	4,36	84,65	2273,88	3,75	96,11	3,89	1,60
25,00	0,23	4,36	84,65	2273,88	3,75	96,11	3,89	1,60
30,00	0,23	4,36	84,65	2273,88	3,75	96,11	3,89	1,60
35,00	0,23	4,36	84,65	2273,88	3,75	96,11	3,89	1,60
40,00	0,22	4,37	80,62	2279,59	3,76	96,30	3,70	1,60
50,00	0,22	4,37	80,62	2279,59	3,76	96,30	3,70	1,60
60,00	0,22	4,37	80,62	2279,59	3,76	96,30	3,70	1,60
70,00	0,22	4,37	80,62	2279,59	3,76	96,30	3,70	1,60
80,00	0,22	4,37	80,62	2279,59	3,76	96,30	3,70	1,60
90,00	0,22	4,37	80,62	2279,59	3,76	96,30	3,70	1,60
100,00	0,22	4,37	80,62	2279,59	3,76	96,30	3,70	1,60

Tabela 4.15 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições:
 $Q_p = 0,098$ l/min; $Q_c = 3,18$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm²; $C_a = 2176$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.
 (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0		4,19		2176,98				
1	0,29	4,35	116,91	2268,17	3,31	94,63	5,37	2,96
3	0,28	4,35	112,50	2268,17	3,31	94,83	5,17	2,96
5	0,28	4,35	112,50	2268,17	3,31	94,83	5,17	2,96
7	0,27	4,36	108,11	2273,88	3,32	95,03	4,97	2,96
9	0,27	4,36	108,11	2273,88	3,32	95,03	4,97	2,96
11	0,27	4,36	108,11	2273,88	3,32	95,03	4,97	2,96
15	0,25	4,36	92,22	2273,88	3,31	95,76	4,24	2,96
20	0,25	4,36	92,22	2273,88	3,31	95,76	4,24	2,96
25	0,25	4,36	92,22	2273,88	3,31	95,76	4,24	2,96
30	0,25	4,36	92,22	2273,88	3,31	95,76	4,24	2,96
35	0,25	4,37	92,22	2279,59	3,32	95,76	4,24	2,95
40	0,25	4,37	92,22	2279,59	3,32	95,76	4,24	2,95
50	0,24	4,38	88,52	2285,30	3,33	95,93	4,07	2,94
60	0,24	4,38	88,52	2285,30	3,33	95,93	4,07	2,94
70	0,24	4,38	88,52	2285,30	3,33	95,93	4,07	2,94
80	0,24	4,38	88,52	2285,30	3,33	95,93	4,07	2,94
90	0,24	4,38	88,52	2285,30	3,33	95,93	4,07	2,94
100	0,24	4,38	88,52	2285,30	3,33	95,93	4,07	2,94

Tabela 4.16 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,175$ l/min; $Q_c = 2,90$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm²; $C_a = 2176$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0		4,19		2176,98				
1	0,22	4,46	80,62	2331,05	3,10	96,30	3,70	5,65
3	0,19	4,45	67,32	2325,32	3,09	96,91	3,09	5,67
5	0,18	4,49	62,41	2348,22	3,12	97,13	2,87	5,62
7	0,18	4,51	62,41	2359,68	3,13	97,13	2,87	5,59
9	0,18	4,53	62,41	2371,14	3,14	97,13	2,87	5,57
11	0,18	4,54	62,41	2376,87	3,15	97,13	2,87	5,56
15	0,18	4,54	62,41	2376,87	3,15	97,13	2,87	5,56
20	0,18	4,55	62,41	2382,60	3,16	97,13	2,87	5,54
25	0,18	4,56	62,41	2388,34	3,16	97,13	2,87	5,53
30	0,17	4,57	57,23	2394,07	3,17	97,37	2,63	5,52
35	0,17	4,57	57,23	2394,07	3,17	97,37	2,63	5,52
40	0,17	4,57	57,23	2394,07	3,17	97,37	2,63	5,52
50	0,17	4,57	57,23	2394,07	3,17	97,37	2,63	5,52
60	0,17	4,58	57,23	2399,81	3,18	97,37	2,63	5,51
70	0,16	4,58	51,73	2399,81	3,18	97,62	2,38	5,51
80	0,16	4,59	51,73	2405,55	3,18	97,62	2,38	5,50
90	0,16	4,59	51,73	2405,55	3,18	97,62	2,38	5,50
100	0,16	4,59	51,73	2405,55	3,18	97,62	2,38	5,50

Tabela 4.17 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,23$ l/min; $Q_c = 2,78$ l/min; $P_a = 8,0$ kgf/cm²; $C_a = 2176$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.
(Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0		4,19		2176,98				
1	0,20	4,61	71,97	2417,03	3,07	96,69	3,31	7,49
3	0,20	4,61	71,97	2417,03	3,07	96,69	3,31	7,49
5	0,20	4,61	71,97	2417,03	3,07	96,69	3,31	7,49
7	0,20	4,64	71,97	2434,26	3,09	96,69	3,31	7,44
9	0,20	4,64	71,97	2434,26	3,09	96,69	3,31	7,44
11	0,19	4,64	67,32	2434,26	3,09	96,91	3,09	7,45
15	0,19	4,65	67,32	2440,00	3,10	96,91	3,09	7,43
20	0,19	4,65	67,32	2440,00	3,10	96,91	3,09	7,43
25	0,19	4,65	67,32	2440,00	3,10	96,91	3,09	7,43
30	0,19	4,65	67,32	2440,00	3,10	96,91	3,09	7,43
35	0,18	4,66	62,41	2445,75	3,10	97,13	2,87	7,42
40	0,18	4,66	62,41	2445,75	3,10	97,13	2,87	7,42
50	0,18	4,66	62,41	2445,75	3,10	97,13	2,87	7,42
60	0,18	4,66	62,41	2445,75	3,10	97,13	2,87	7,42
70	0,17	4,67	57,23	2451,50	3,11	97,37	2,63	7,40
80	0,17	4,67	57,23	2451,50	3,11	97,37	2,63	7,40
90	0,17	4,67	57,23	2451,50	3,11	97,37	2,63	7,40
100	0,17	4,67	57,23	2451,50	3,11	97,37	2,63	7,40

Tabela 4.18 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,06$ l/min; $Q_c = 3,60$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm²; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.
(Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,49		2348,22				
1,00	0,51	4,83	216,93	2543,62	3,88	90,76	9,24	1,55
3,00	0,50	4,83	212,28	2543,62	3,88	90,96	9,04	1,55
5,00	0,49	4,86	207,63	2560,92	3,90	91,16	8,84	1,54
7,00	0,49	4,86	207,63	2560,92	3,90	91,16	8,84	1,54
9,00	0,49	4,87	207,63	2566,69	3,91	91,16	8,84	1,53
11,00	0,48	4,87	203,00	2566,69	3,91	91,36	8,64	1,53
13,00	0,48	4,87	203,00	2566,69	3,91	91,36	8,64	1,53

Tabela 4.19 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,09$ l/min; $Q_c = 3,50$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm²; $C_a = 2348$ mg/l, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.
(Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,49		2348,22				
1,00	0,43	4,90	179,96	2584,01	3,83	92,34	7,66	2,40
3,00	0,43	4,91	179,96	2589,78	3,84	92,34	7,66	2,40
5,00	0,41	4,92	170,82	2595,56	3,84	92,73	7,27	2,39
7,00	0,40	4,92	166,26	2595,56	3,84	92,92	7,08	2,39
9,00	0,39	4,93	161,71	2601,34	3,85	93,11	6,89	2,39
11,00	0,39	4,93	161,71	2601,34	3,85	93,11	6,89	2,39
13,00	0,39	4,93	161,71	2601,34	3,85	93,11	6,89	2,39

Tabela 4.20 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,12$ l/min; $Q_c = 3,40$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm²; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.
(Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,49		2348,22				
1,00	0,35	4,98	143,64	2630,24	3,78	93,88	6,12	3,17
3,00	0,33	4,99	134,68	2636,02	3,79	94,26	5,74	3,17
5,00	0,33	4,99	134,68	2636,02	3,79	94,26	5,74	3,17
7,00	0,30	5,01	121,33	2647,60	3,80	94,83	5,17	3,16
9,00	0,29	5,03	116,91	2659,17	3,82	95,02	4,98	3,14
11,00	0,29	5,03	116,91	2659,17	3,82	95,02	4,98	3,14
13,00	0,29	5,03	116,91	2659,17	3,82	95,02	4,98	3,14

Tabela 4.21 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,16$ l/min; $Q_c = 3,35$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm²; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$.
(Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,49		2348,22				
1,00	0,28	5,08	112,50	2688,13	3,80	95,21	4,79	4,21
3,00	0,27	5,10	108,11	2699,72	3,81	95,40	4,60	4,19
5,00	0,27	5,11	108,11	2705,52	3,82	95,40	4,60	4,19
7,00	0,27	5,11	108,11	2705,52	3,82	95,40	4,60	4,19
9,00	0,24	5,11	88,52	2705,52	3,82	96,23	3,77	4,19
11,00	0,24	5,12	88,52	2711,32	3,83	96,23	3,77	4,18
13,00	0,24	5,12	88,52	2711,32	3,83	96,23	3,77	4,18

Tabela 4.22 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,07$ l/min; $Q_c = 3,00$ l/min; $Q_{it} = 16,33$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm² $C_a = 2827$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0		5,32		2827,50				
1,00	0,49	5,48	207,63	2920,75	3,10	92,66	7,34	2,16
3,00	0,49	5,48	207,63	2920,75	3,10	92,66	7,34	2,16
5,00	0,45	5,48	189,15	2920,75	3,10	93,31	6,69	2,16
7,00	0,45	5,49	189,15	2926,58	3,10	93,31	6,69	2,16
9,00	0,44	5,49	184,55	2926,58	3,10	93,47	6,53	2,16
11,00	0,44	5,49	184,55	2926,58	3,10	93,47	6,53	2,16
15,00	0,41	5,49	170,82	2926,58	3,10	93,96	6,04	2,16
20,00	0,41	5,51	170,82	2938,26	3,11	93,96	6,04	2,15
25,00	0,41	5,51	170,82	2938,26	3,11	93,96	6,04	2,15
30,00	0,38	5,51	157,18	2938,26	3,11	94,44	5,56	2,15
35,00	0,38	5,51	157,18	2938,26	3,11	94,44	5,56	2,15
40,00	0,38	5,51	157,18	2938,26	3,11	94,44	5,56	2,15
50,00	0,36	5,52	148,14	2944,10	3,12	94,76	5,24	2,15
60,00	0,36	5,52	148,14	2944,10	3,12	94,76	5,24	2,15
70,00	0,36	5,52	148,14	2944,10	3,12	94,76	5,24	2,15
80,00	0,35	5,52	143,64	2944,10	3,12	94,92	5,08	2,15
90,00	0,35	5,52	143,64	2944,10	3,12	94,92	5,08	2,15
100,00	0,35	5,52	143,64	2944,10	3,12	94,92	5,08	2,15

Tabela 4.23 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,14$ l/min; $Q_c = 2,90$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm²; $C_a = 2827$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		5,32		2827,50				
1,00	0,36	5,67	148,14	3031,82	3,10	94,76	5,24	4,48
3,00	0,36	5,67	148,14	3031,82	3,10	94,76	5,24	4,48
5,00	0,35	5,67	143,64	3031,82	3,10	94,92	5,08	4,48
7,00	0,35	5,68	143,64	3037,67	3,11	94,92	5,08	4,48
9,00	0,31	5,68	125,77	3037,67	3,10	95,55	4,45	4,48
11,00	0,31	5,68	125,77	3037,67	3,10	95,55	4,45	4,48
15,00	0,31	5,68	125,77	3037,67	3,10	95,55	4,45	4,48
20,00	0,30	5,69	121,33	3043,53	3,11	95,71	4,29	4,47
25,00	0,30	5,69	121,33	3043,53	3,11	95,71	4,29	4,47
30,00	0,30	5,69	121,33	3043,53	3,11	95,71	4,29	4,47
35,00	0,29	5,69	116,91	3043,53	3,11	95,87	4,13	4,47
40,00	0,29	5,70	116,91	3049,39	3,11	95,87	4,13	4,46
50,00	0,29	5,70	116,91	3049,39	3,11	95,87	4,13	4,46
60,00	0,28	5,70	112,50	3049,39	3,11	96,02	3,98	4,46
70,00	0,28	5,71	112,50	3055,24	3,12	96,02	3,98	4,46
80,00	0,27	5,71	108,11	3055,24	3,12	96,18	3,82	4,46
90,00	0,27	5,71	108,11	3055,24	3,12	96,18	3,82	4,46
100,00	0,27	5,71	108,11	3055,24	3,12	96,18	3,82	4,46

Tabela 4.24 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,22$ l/min; $Q_c = 2,80$ l/min; $P_a = 8,0$ kgf/cm²; $C_a = 2827$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		5,32		2827,50				
1,00	0,30	5,89	121,33	3160,86	3,11	95,71	4,29	6,91
3,00	0,30	5,89	121,33	3160,86	3,11	95,71	4,29	6,91
5,00	0,30	5,89	121,33	3160,86	3,11	95,71	4,29	6,91
7,00	0,29	5,90	116,91	3166,74	3,12	95,87	4,13	6,90
9,00	0,29	5,90	116,91	3166,74	3,12	95,87	4,13	6,90
11,00	0,29	5,90	116,91	3166,74	3,12	95,87	4,13	6,90
15,00	0,29	5,91	116,91	3172,62	3,12	95,87	4,13	6,89
20,00	0,28	5,91	112,50	3172,62	3,12	96,02	3,98	6,89
25,00	0,28	5,92	112,50	3178,50	3,13	96,02	3,98	6,88
30,00	0,28	5,92	112,50	3178,50	3,13	96,02	3,98	6,88
35,00	0,28	5,92	112,50	3178,50	3,13	96,02	3,98	6,88
40,00	0,27	5,92	108,11	3178,50	3,13	96,18	3,82	6,88
50,00	0,27	5,92	108,11	3178,50	3,13	96,18	3,82	6,88
60,00	0,26	5,93	103,73	3184,38	3,13	96,33	3,67	6,87
70,00	0,26	5,93	103,73	3184,38	3,13	96,33	3,67	6,87
80,00	0,25	5,93	92,22	3184,38	3,13	96,74	3,26	6,87
90,00	0,25	5,93	92,22	3184,38	3,13	96,74	3,26	6,87
100,00	0,25	5,93	92,22	3184,38	3,13	96,74	3,26	6,87

Tabela 4.25 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,06$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm²; $C_a = 2979$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		5,58		2979,16				
1,00	0,65	5,85	282,92	3137,37	3,36	90,50	9,50	1,84
3,00	0,60	5,90	259,18	3166,74	3,39	91,30	8,70	1,83
5,00	0,55	5,91	235,63	3172,62	3,40	92,09	7,91	1,83
7,00	0,54	5,91	230,94	3172,62	3,40	92,25	7,75	1,83
9,00	0,53	5,92	226,26	3178,50	3,40	92,41	7,59	1,82
11,00	0,53	5,92	226,26	3178,50	3,40	92,41	7,59	1,82
13,00	0,53	5,92	226,26	3178,50	3,40	92,41	7,59	1,82

Tabela 4.26 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,10$ l/min; $Q_c = 3,10$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm²; $C_a = 2979$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		5,58		2979,16				
1,00	0,50	5,90	212,28	3166,74	3,29	92,87	7,13	3,04
3,00	0,48	5,94	203,00	3190,26	3,31	91,40	8,60	3,02
5,00	0,45	5,95	189,15	3196,14	3,31	91,94	8,06	3,02
7,00	0,44	5,95	184,55	3196,14	3,31	92,11	7,89	3,02
9,00	0,43	5,95	179,96	3196,14	3,31	92,29	7,71	3,02
11,00	0,43	5,97	179,96	3207,90	3,32	92,29	7,71	3,01
13,00	0,43	5,97	179,96	3207,90	3,32	92,29	7,71	3,01

Tabela 4.27 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,13$ l/min; $Q_c = 3,00$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm²; $C_a = 2979$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		5,58		2979,16				
1,00	0,31	5,96	125,77	3202,02	3,21	95,78	4,22	4,05
3,00	0,30	5,96	121,33	3202,02	3,21	95,93	4,07	4,05
5,00	0,29	5,99	116,91	3219,67	3,23	96,08	3,92	4,03
7,00	0,28	6,01	112,50	3231,45	3,24	96,22	3,78	4,02
9,00	0,27	6,01	108,11	3231,45	3,24	96,37	3,63	4,02
11,00	0,27	6,02	108,11	3237,33	3,24	96,37	3,63	4,01
13,00	0,27	6,02	108,11	3237,33	3,24	96,37	3,63	4,01

Tabela 4.28 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,06$ l/min; $Q_c = 3,30$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm²; $C_a = 3449$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		6,38		3449,91				
1,00	0,70	6,76	306,84	3675,54	3,50	91,11	8,89	1,71
3,00	0,70	6,76	306,84	3675,54	3,50	91,11	8,89	1,71
5,00	0,68	6,78	297,25	3687,45	3,51	91,38	8,62	1,71
7,00	0,67	6,78	292,47	3687,45	3,51	91,52	8,48	1,71
9,00	0,65	6,79	282,92	3693,40	3,52	91,80	8,20	1,71
11,00	0,64	6,80	278,16	3699,36	3,52	91,94	8,06	1,70
13,00	0,64	6,80	278,16	3699,36	3,52	91,94	8,06	1,70

Tabela 4.29 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,09$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm²; $C_a = 3449$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		6,38		3449,91				
1,00	0,58	6,80	249,74	3699,36	3,42	92,76	7,24	2,63
3,00	0,58	6,80	249,74	3699,36	3,42	92,76	7,24	2,63
5,00	0,57	6,82	245,03	3711,28	3,43	92,90	7,10	2,62
7,00	0,57	6,83	245,03	3717,24	3,43	92,90	7,10	2,62
9,00	0,55	6,83	235,63	3717,24	3,43	93,17	6,83	2,62
11,00	0,55	6,84	235,63	3723,20	3,44	93,17	6,83	2,62
13,00	0,55	6,84	235,63	3723,20	3,44	93,17	6,83	2,62

Tabela 4.30 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,12$ l/min; $Q_c = 3,10$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm²; $C_a = 3449$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Hydranautics)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a l/min	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		6,38		3449,91				
1,00	0,52	6,83	221,59	3717,24	3,33	93,58	6,42	3,61
3,00	0,49	6,84	207,63	3723,20	3,33	93,98	6,02	3,60
5,00	0,49	6,86	207,63	3735,12	3,34	93,98	6,02	3,59
7,00	0,48	6,86	203,00	3735,12	3,34	94,12	5,88	3,59
9,00	0,48	6,87	203,00	3741,08	3,35	94,12	5,88	3,59
11,00	0,47	6,87	198,37	3741,08	3,35	94,25	5,75	3,59
13,00	0,47	6,87	198,37	3741,08	3,35	94,25	5,75	3,59

Tabela 4.31 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,24$ l/min; $Q_c = 3,10$ l/min; $P_a = 2,0$ kgf/cm²; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,49		2348,22				
1,00	3,56	4,49	1821,24	2348,22	3,29	22,44	77,56	7,29
3,00	3,59	4,49	1838,05	2348,22	3,29	21,73	78,27	7,29
5,00	3,59	4,50	1838,05	2353,95	3,30	21,73	78,27	7,28
7,00	3,58	4,50	1832,45	2353,95	3,30	21,96	78,04	7,28
9,00	3,57	4,51	1826,84	2359,68	3,30	22,20	77,80	7,26
11,00	3,58	4,51	1832,45	2359,68	3,31	21,96	78,04	7,26

Tabela 4.32 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,36$ l/min; $Q_c = 2,90$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm²; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,49		2348,22				
1,00	3,30	4,60	1676,11	2411,29	3,24	28,62	71,38	11,13
3,00	3,29	4,60	1670,55	2411,29	3,23	28,86	71,14	11,13
5,00	3,28	4,60	1664,99	2411,29	3,23	29,10	70,90	11,13
7,00	3,27	4,61	1659,43	2417,03	3,24	29,33	70,67	11,11
9,00	3,27	4,61	1659,43	2417,03	3,24	29,33	70,67	11,11
11,00	3,26	4,61	1653,87	2417,03	3,24	29,57	70,43	11,11

Tabela 4.33 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,47$ l/min; $Q_c = 2,75$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm²; $C_a = 2348$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,49		2348,22				
1,00	3,05	4,70	1537,58	2468,75	3,19	34,52	65,48	14,56
3,00	3,07	4,74	1548,62	2491,76	3,22	34,05	65,95	14,44
5,00	3,07	4,74	1548,62	2491,76	3,22	34,05	65,95	14,44
7,00	3,06	4,74	1543,10	2491,76	3,22	34,29	65,71	14,44
9,00	3,05	4,74	1537,58	2491,76	3,22	34,52	65,48	14,45
11,00	3,03	4,75	1526,54	2497,52	3,22	34,99	65,01	14,43

Tabela 4.34 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,38$ l/min; $Q_c = 2,80$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm²; $C_a = 2240$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,30		2239,64				
1,00	3,39	4,37	1726,23	2279,59	3,14	22,92	77,08	11,94
3,00	3,36	4,38	1709,51	2285,30	3,15	23,67	76,33	11,92
5,00	3,36	4,40	1709,51	2296,73	3,16	23,67	76,33	11,87
7,00	3,34	4,40	1698,37	2296,73	3,16	24,17	75,83	11,88
9,00	3,29	4,40	1670,55	2296,73	3,15	25,41	74,59	11,90
11,00	3,32	4,40	1687,24	2296,73	3,15	24,66	75,34	11,89

Tabela 4.35 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,65$ l/min; $Q_c = 2,61$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm²; $C_a = 2240$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,30		2239,64				
1,00	2,99	4,58	1504,49	2399,81	3,23	32,82	67,18	20,11
3,00	2,99	4,57	1504,49	2394,07	3,23	32,82	67,18	20,15
5,00	2,98	4,59	1498,98	2405,55	3,24	33,07	66,93	20,08
7,00	2,98	4,60	1498,98	2411,29	3,24	33,07	66,93	20,05
9,00	2,99	4,60	1504,49	2411,29	3,24	32,82	67,18	20,04
11,00	2,98	4,62	1498,98	2422,77	3,25	33,07	66,93	19,97
15,00	2,95	4,60	1482,47	2411,29	3,24	33,81	66,19	20,07
20,00	2,95	4,60	1482,47	2411,29	3,24	33,81	66,19	20,07
25,00	2,92	4,60	1465,97	2411,29	3,23	34,54	65,46	20,10
30,00	2,92	4,60	1465,97	2411,29	3,23	34,54	65,46	20,10

Tabela 4.36 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,82$ l/min; $Q_c = 2,31$ l/min; $P_a = 8,0$ kgf/cm²; $C_a = 2240$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		4,30	0,00	2239,64				
1,00	2,88	4,80	1443,99	2526,32	3,13	35,53	64,47	26,22
3,00	2,86	4,80	1433,01	2526,32	3,35	36,02	63,98	19,43
5,00	2,81	4,79	1405,60	2520,56	3,33	37,24	62,76	19,51
7,00	2,85	4,78	1427,53	2514,80	3,33	36,26	63,74	19,51
9,00	2,85	4,80	1427,53	2526,32	3,34	36,26	63,74	19,44
11,00	2,85	4,80	1427,53	2526,32	3,34	36,26	63,74	19,44
15,00	2,85	4,78	1427,53	2514,80	3,33	36,26	63,74	19,51
20,00	2,85	4,80	1427,53	2526,32	3,34	36,26	63,74	19,44
25,00	2,80	4,82	1400,13	2537,85	3,35	37,48	62,52	19,41
30,00	2,80	4,81	1400,13	2532,08	3,34	37,48	62,52	19,44

Tabela 4.37 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Erro em função da vazão de alimentação; Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,13$ l/min; $Q_c = 3,20$ l/min; $P_a = 1,0$ kgf/cm² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		1,95		942,14				
1,00	1,15	1,95	528,44	942,14	3,28	43,91	56,09	3,97
3,00	1,15	1,95	528,44	942,14	3,28	43,91	56,09	3,97
5,00	1,14	1,96	523,41	947,44	3,29	44,45	55,55	3,95
7,00	1,14	1,96	523,41	947,44	3,29	44,45	55,55	3,95
9,00	1,14	1,96	523,41	947,44	3,29	44,45	55,55	3,95
11,00	1,14	1,97	523,41	952,73	3,31	44,45	55,55	3,93
15,00	1,14	1,97	523,41	952,73	3,31	44,45	55,55	3,93
20,00	1,12	1,97	513,36	952,73	3,31	45,51	54,49	3,93
25,00	1,12	1,98	513,36	958,03	3,32	45,51	54,49	3,91
30,00	1,12	1,98	513,36	958,03	3,32	45,51	54,49	3,91
40,00	1,12	1,98	513,36	958,03	3,32	45,51	54,49	3,91
50,00	1,12	1,98	513,36	958,03	3,32	45,51	54,49	3,91
60,00	1,12	1,98	513,36	958,03	3,32	45,51	54,49	3,91

Tabela 4.38 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,28$ l/min; $Q_c = 3,00$ l/min; $P_a = 2,0$ kgf/cm² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		1,95		942,14				
1,00	0,96	2,03	433,63	984,55	3,26	53,97	46,03	8,44
3,00	0,96	2,04	433,63	989,86	3,27	53,97	46,03	8,40
5,00	0,96	2,04	433,63	989,86	3,27	53,97	46,03	8,40
7,00	0,94	2,04	423,74	989,86	3,27	55,02	44,98	8,41
9,00	0,94	2,05	423,74	995,18	3,29	55,02	44,98	8,37
11,00	0,94	2,05	423,74	995,18	3,29	55,02	44,98	8,37
15,00	0,94	2,06	423,74	1000,49	3,30	55,02	44,98	8,33
20,00	0,92	2,06	413,88	1000,49	3,30	56,07	43,93	8,34
25,00	0,91	2,06	408,96	1000,49	3,30	56,59	43,41	8,34
30,00	0,90	2,06	404,04	1000,49	3,30	57,11	42,89	8,34
40,00	0,90	2,08	404,04	1011,13	3,33	57,11	42,89	8,27
50,00	0,90	2,08	404,04	1011,13	3,33	57,11	42,89	8,27
60,00	0,90	2,08	404,04	1011,13	3,33	57,11	42,89	8,27

Tabela 4.39 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,40$ l/min; $Q_c = 2,80$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		1,95		942,14				
1,00	0,84	2,10	374,64	1021,79	3,19	60,24	39,76	12,55
3,00	0,84	2,10	374,64	1021,79	3,19	60,24	39,76	12,55
5,00	0,83	2,11	369,76	1027,11	3,20	60,75	39,25	12,50
7,00	0,83	2,13	369,76	1037,78	3,23	60,75	39,25	12,39
9,00	0,82	2,13	364,88	1037,78	3,23	61,27	38,73	12,40
11,00	0,81	2,15	360,01	1048,45	3,25	61,79	38,21	12,30
15,00	0,80	2,15	355,15	1048,45	3,25	62,30	37,70	12,30
20,00	0,78	2,16	345,44	1053,80	3,26	63,33	36,67	12,26
25,00	0,76	2,17	335,75	1059,14	3,27	64,36	35,64	12,23
30,00	0,73	2,17	321,27	1059,14	3,27	65,90	34,10	12,25
40,00	0,73	2,18	321,27	1064,48	3,28	65,90	34,10	12,20
50,00	0,73	2,18	321,27	1064,48	3,28	65,90	34,10	12,20
60,00	0,73	2,18	321,27	1064,48	3,28	65,90	34,10	12,20

Tabela 4.40 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,53$ l/min; $Q_c = 2,60$ l/min; $P_a = 4,0$ kgf/cm² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		1,95		942,14				
1,00	0,72	2,15	316,45	1048,45	3,06	66,41	33,59	17,15
3,00	0,72	2,15	316,45	1048,45	3,06	66,41	33,59	17,15
5,00	0,71	2,16	311,64	1053,80	3,07	66,92	33,08	17,09
7,00	0,71	2,18	311,64	1064,48	3,10	66,92	33,08	16,95
9,00	0,71	2,19	311,64	1069,83	3,11	66,92	33,08	16,87
11,00	0,70	2,20	306,84	1075,18	3,12	67,43	32,57	16,82
15,00	0,69	2,20	302,04	1075,18	3,12	67,94	32,06	16,83
20,00	0,66	2,22	287,69	1085,89	3,14	69,46	30,54	16,73
25,00	0,66	2,22	287,69	1085,89	3,14	69,46	30,54	16,73
30,00	0,66	2,23	287,69	1091,25	3,15	69,46	30,54	16,66
40,00	0,65	2,24	282,92	1096,61	3,16	69,97	30,03	16,61
50,00	0,65	2,25	282,92	1101,97	3,18	69,97	30,03	16,54
60,00	0,65	2,25	282,92	1101,97	3,18	69,97	30,03	16,54

Tabela 4.41 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,60$ l/min; $Q_c = 2,55$ l/min; $P_a = 5,0$ kgf/cm² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		1,95		942,14				
1,00	0,56	2,22	240,32	1085,89	3,28	74,49	25,51	18,29
3,00	0,56	2,22	240,32	1085,89	3,28	74,49	25,51	18,29
5,00	0,54	2,23	230,94	1091,25	3,29	75,49	24,51	18,25
7,00	0,54	2,23	230,94	1091,25	3,29	75,49	24,51	18,25
9,00	0,54	2,23	230,94	1091,25	3,29	75,49	24,51	18,25
11,00	0,53	2,25	226,26	1101,97	3,31	75,98	24,02	18,11
15,00	0,53	2,25	226,26	1101,97	3,31	75,98	24,02	18,11
20,00	0,52	2,25	221,59	1101,97	3,31	76,48	23,52	18,13
25,00	0,49	2,26	207,63	1107,33	3,31	77,96	22,04	18,10
30,00	0,49	2,27	207,63	1112,70	3,33	77,96	22,04	18,02
40,00	0,49	2,27	207,63	1112,70	3,33	77,96	22,04	18,02
50,00	0,49	2,27	207,63	1112,70	3,33	77,96	22,04	18,02
60,00	0,49	2,27	207,63	1112,70	3,33	77,96	22,04	18,02

Tabela 4.42- Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,62$ l/min; $Q_c = 2,50$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Cp (mg/l)	Cc (mg/l)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		1,95		942,14				
1,00	0,30	2,25	121,33	1101,97	3,24	87,12	12,88	18,51
3,00	0,30	2,26	121,33	1107,33	3,26	87,12	12,88	18,43
5,00	0,28	2,26	112,50	1107,33	3,25	88,06	11,94	18,46
7,00	0,28	2,27	112,50	1112,70	3,26	88,06	11,94	18,38
9,00	0,28	2,27	112,50	1112,70	3,26	88,06	11,94	18,38
11,00	0,27	2,27	108,11	1112,70	3,26	88,52	11,48	18,40
15,00	0,27	2,27	108,11	1112,70	3,26	88,52	11,48	18,40
20,00	0,27	2,28	108,11	1118,07	3,28	88,52	11,48	18,32
25,00	0,25	2,28	92,22	1118,07	3,27	90,21	9,79	18,35
30,00	0,25	2,28	92,22	1118,07	3,27	90,21	9,79	18,35
40,00	0,25	2,29	92,22	1123,44	3,28	90,21	9,79	18,28
50,00	0,25	2,29	92,22	1123,44	3,28	90,21	9,79	18,28
60,00	0,25	2,29	92,22	1123,44	3,28	90,21	9,79	18,28

Tabela 4.43 - Condutividade elétrica e Concentração do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,41$ l/min; $Q_c = 2,75$ l/min; $P_a = 3,0$ kgf/cm² $C_a = 942$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	K _p (ms)	K _c (ms)	C _p (mg/l)	C _c (mg/l)	Q _a (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0,00		1,95		942,14				
1,00	0,85	2,10	379,53	1021,79	3,14	59,72	40,28	13,06
3,00	0,84	2,11	374,64	1027,11	3,15	60,24	39,76	13,01
5,00	0,84	2,11	374,64	1027,11	3,15	60,24	39,76	13,01
7,00	0,83	2,12	369,76	1032,45	3,16	60,75	39,25	12,96
9,00	0,82	2,13	364,88	1037,78	3,18	61,27	38,73	12,91
11,00	0,82	2,14	364,88	1043,12	3,19	61,27	38,73	12,85

Tabela 4.44 - Condutividade elétrica do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, pH do produto e concentrado, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,65$ l/min; $Q_c = 2,61$ l/min; $P_a = 6,0$ kgf/cm²; $C_a = 2881$ mg/l $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %	php	phc
0,00		4,30						
1,00	2,99	4,58	3,23	30,47	69,53	20,11	7,41	7,59
3,00	2,99	4,57	3,23	30,47	69,53	20,15	7,42	7,60
5,00	2,98	4,59	3,24	30,70	69,30	20,08	7,50	7,61
7,00	2,98	4,60	3,24	30,70	69,30	20,05	7,50	7,61
9,00	2,99	4,60	3,24	30,47	69,53	20,04	7,49	7,61
11,00	2,98	4,62	3,25	30,70	69,30	19,97	7,49	7,61
15,00	2,95	4,60	3,24	31,40	68,60	20,07	7,48	7,59
20,00	2,95	4,60	3,24	31,40	68,60	20,07	7,50	7,60
25,00	2,92	4,60	3,23	32,09	67,91	20,10	7,50	7,59
30,00	2,92	4,60	3,23	32,09	67,91	20,10	7,47	7,60

Tabela 4.45 - Condutividade elétrica do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, pH do produto e concentrado, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,82$ l/min; $Q_c = 2,31$ l/min; $P_a = 8,0$ kgf/cm²; $C_a = 2881$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %	php	phc
0		4,30						
1,00	2,88	4,80	3,13	33,02	66,98	26,22	7,43	7,59
3,00	2,86	4,80	3,12	33,49	66,51	26,25	7,51	7,60
5,00	2,81	4,79	3,11	34,65	65,35	26,37	7,53	7,64
7,00	2,85	4,78	3,11	33,72	66,28	26,36	7,53	7,63
9,00	2,85	4,80	3,12	33,72	66,28	26,26	7,53	7,64
11,00	2,85	4,80	3,12	33,72	66,28	26,26	7,54	7,65
15,00	2,85	4,78	3,11	33,72	66,28	26,36	7,53	7,63
20,00	2,85	4,80	3,12	33,72	66,28	26,26	7,53	7,65
25,00	2,80	4,82	3,12	34,88	65,12	26,25	7,5	7,61
30,00	2,80	4,81	3,12	34,88	65,12	26,30	7,52	7,63

Tabela 4.46 - Condutividade elétrica do produto e concentrado, Vazão de alimentação, Taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, pH do produto e concentrado, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,60$ l/min; $Q_c = 2,31$ l/min; $P_a = 7,0$ kgf/cm²; $C_a = 980$ mg/l $T = 25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems) *Água de poço (Zabelê - PB)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0		1,47				
1,00	0,39	1,64	3,20	73,47	26,53	18,72
3,00	0,39	1,62	3,20	73,47	26,53	18,72
5,00	0,38	1,63	3,20	74,15	25,85	18,75
7,00	0,36	1,63	3,21	75,51	24,49	18,68
9,00	0,36	1,64	3,21	75,51	24,49	18,71
12,00	0,35	1,65	3,21	76,19	23,81	18,75
13,00	0,33	1,65	3,22	77,55	22,45	18,65
15,00	0,33	1,65	3,20	77,55	22,45	18,76

Tabela 4.47- Condutividade elétrica do produto e concentrado, Vazão de alimentação, taxa de rejeição e passagem de sais, Recuperação, pH do produto e concentrado, Sob as seguintes condições: $Q_p = 0,60$ l/min; $Q_c = 2,73$ l/min;; $P_a = 7,0$ kgf/cm²; $C_a = 980$ mg/l; $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems) *Água de poço (Zabelê - PB)

t (min)	Kp (ms)	Kc (ms)	Qa (l/min)	T.R.S %	P.S %	R %
0	1,47	1,47				
1,00	0,40	1,64	3,21	72,05	27,95	18,70
3,00	0,38	1,64	3,20	74,41	25,59	18,75
5,00	0,38	1,64	3,20	74,10	25,90	18,75
7,00	0,36	1,65	3,22	74,10	25,90	18,66
9,00	0,35	1,65	3,21	75,10	25,90	18,66
11,00	0,35	1,65	3,21	76,10	24,90	18,57
15,00	0,34	1,66	3,21	76,78	23,22	18,48
20,00	0,32	1,65	3,23	76,78	23,22	18,63
25,00	0,30	1,69	3,27	78,78	21,22	18,07
30,00	0,29	1,65	3,19	79,14	20,86	18,74
40,00	0,28	1,66	3,20	80,14	19,86	18,60
50,00	0,27	1,66	3,20	80,14	19,86	18,60
60,00	0,27	1,66	3,19	81,14	18,86	18,60
70,00	0,27	1,66	3,19	81,14	18,86	18,60
80,00	0,27	1,66	3,19	81,14	18,86	18,60
90,00	0,27	1,66	3,19	81,14	18,86	18,60
100,00	0,25	1,66	3,18	82,82	17,18	18,65
110,00	0,25	1,65	3,18	82,82	17,18	18,80
120,00	0,25	1,67	3,20	82,82	17,18	18,51

Tabela 4.48 - Concentração inicial, Vazão do produto, Pressão de alimentação, Fluxo de água através da membrana , Variação da pressão osmótica, Gradiente de pressão, Coeficiente de transferência de massa da água. (Membrana utilizada da Hydranautics)

Ca mg/l	Qp l/min	P1 kgf/cm ²	P2 kgf/cm ²	Jw.10 ⁴ cm ³ /cm ² .s	Δπ kgf/cm ²	ΔP kgf/cm ²	Kw.10 ⁴ cm ³ /kgf.s
1378	0,20	5,00	4,80	5,79	0,96	3,87	1,99
1378	0,22	6,00	5,80	6,37	0,98	4,87	1,64
1482	0,12	5,00	4,80	3,47	1,16	3,87	1,28
1482	0,20	7,00	6,80	5,79	1,20	5,87	1,24
2176	0,18	6,00	5,80	5,06	1,57	4,87	1,54
2348	0,09	5,00	4,80	2,60	1,63	3,87	1,16
2348	0,12	6,00	5,80	3,47	1,68	4,87	1,09
2348	0,16	7,00	6,80	4,63	1,72	5,87	1,12
2827	0,14	6,00	5,80	4,05	1,99	4,87	1,41
2979	0,06	5,00	4,80	1,74	2,01	3,87	0,93
2979	0,10	6,00	5,80	2,89	2,05	4,87	1,03
2979	0,13	7,00	6,80	3,76	2,11	5,87	1,00
3449	0,06	5,00	4,80	1,74	2,32	3,87	1,12
3449	0,09	6,00	5,80	2,60	2,36	4,87	1,04
3449	0,12	7,00	6,80	3,47	2,39	5,87	1,00

Tabela 4.49 - Concentração inicial, Vazão do produto, Pressão de alimentação, Fluxo de água através da membrana , Variação da pressão osmótica, Gradiente de pressão, Coeficiente de transferência de massa da água, sob as seguintes condições: $C_a = 942 \text{ mg/l}$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$ (Membrana utilizada da Fluid Systems)

Qp l/min	P1 kgf/cm ²	P2 kgf/cm ²	Jw.10 ⁴ cm ³ /cm ² .s	$\Delta\pi$ kgf/cm ²	ΔP kgf/cm ²	Kw.10 ⁴ cm ³ /kgf.s
0,28	2,00	1,90	8,10	0,40	0,92	15,75
0,40	3,00	2,90	11,57	0,48	1,92	8,05
0,53	4,00	3,90	15,34	0,52	2,92	6,40
0,60	5,00	4,90	17,36	0,58	3,92	5,20
0,60	7,00	6,90	17,94	0,66	5,92	3,41

Tabela 4.50 - Concentração inicial, Vazão do produto, Pressão de alimentação, Fluxo de água através da membrana , Variação da pressão osmótica, Gradiente de pressão, Coeficiente de transferência de massa da água, sob as seguintes condições: $C_a = 980 \text{ mg/l}$ (Poço de Zabelê - PB) , $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$: (Membrana utilizada da Fluid Systems)

Qp l/min	P1 kgf/cm ²	P2 kgf/cm ²	Jw.10 ⁴ cm ³ /cm ² .s	$\Delta\pi$ kgf/cm ²	ΔP kgf/cm ²	Kw.10 ⁴ cm ³ /kgf.s
0,90	7,00	6,80	26,04	0,57	5,87	4,92

Tabela 4.51 - Variação do pH do produto e concentrado para uma solução de NaCl de 942 mg/l sob as seguintes condições: $P_a = 7,0 \text{ kgf/cm}^2$, $pH_i = 6,07$, $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$. (Membrana utilizada da Fluid Systems)

t min	pH p	pH c
1,00	6,11	6,13
3,00	6,09	6,13
5,00	6,09	6,14
7,00	6,08	6,14
9,00	6,07	6,14
11,00	6,06	6,15
15,00	6,05	6,15
20,00	6,01	6,15
25,00	5,99	6,15
30,00	5,99	6,15
40,00	5,98	6,15
50,00	5,98	6,15
60,00	5,98	6,15
70,00	5,98	6,15
80,00	5,97	6,17
90,00	5,96	6,18
100,00	5,95	6,18
110,00	5,95	6,18
120,00	5,95	6,18

Tabela 4.52 - Concentração de alimentação, Pressão de alimentação, Variação do pH do produto e concentrado, pH inicial. (Membrana utilizada da Hydranautics)

Ca mg/l	Pa kgf/cm ²	pH p médio	pH c médio	pHi
1378	5,00	5,69	5,96	5,81
1378	6,00	5,81	6,01	
1482	5,00	5,71	6,04	5,83
1482	7,00	5,72	6,06	
2176	6,00	5,98	6,15	6,05
2176	8,00	6,01	6,17	
2348	5,00	5,99	6,17	6,07
2348	6,00	6,00	6,18	
2348	7,00	6,01	6,21	
2827	6,00	6,00	6,18	6,09
2827	8,00	6,03	6,18	
2979	5,00	5,98	6,19	6,10
2979	6,00	5,98	6,20	
2979	7,00	5,99	6,20	
3449	5,00	6,00	6,20	6,12
3449	6,00	6,01	6,21	
3449	7,00	6,02	6,22	

Tabela 4.53 - Concentração de alimentação, Pressão de alimentação, pH do produto e concentrado sob as seguintes condições: Ca = 942 mg/l , pHi = 6,07 , T = 25 ±1°C.
(Membrana utilizada da Fluid Systems)

Pa kgf/cm ²	pH p médio	pH c médio
2,00	6,00	6,13
3,00	6,01	6,14
4,00	6,00	6,14
5,00	6,02	6,14
7,00	6,01	6,15

APÊNDICE 2
ESPECIFICAÇÃO DA MEMBRANA

Membrane Element 2514-LST-CPA2

Performance:

Permeate Flow	
Nominal	150 gpd (0.6 m ³ /day)
Salt Rejection	
Nominal	98.0%

Type:

Configuration.....	Spiral-Wound
Membrane Polymer.....	Composite Polyamide

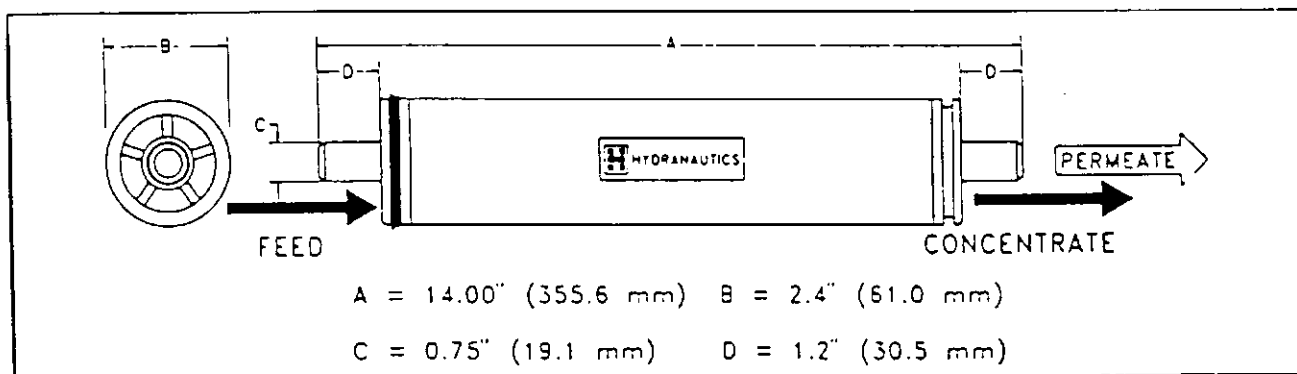
Application Data:

Maximum Applied Pressure.....	300 psig (2.1 MPa)
Maximum Feed Flow to Element.....	6 gpm (22.7 l/min)
Maximum Operating Temperature.....	113 °F (45 °C)
Feedwater pH Range	3.0 - 10.0
Maximum Feedwater Turbidity.....	1.0 NTU
Maximum Feedwater SDI (15 min.).....	4.0
Feedwater Chlorine Concentration	<0.1 ppm
Minimum Ratio of Concentrate to Permeate Flow for any Element	5:1

For operation outside these ranges, please contact Hydranautics.

Test Conditions: The stated performance is initial (data taken after 30 minutes of operation), based on the following conditions:

1500 ppm NaCl Solution
 225 psi (1.55 MPa) Applied Pressure
 77 °F (25 °C) Operating Temperature
 5% Permeate Recovery
 6.5 - 7.0 pH Range



Notice: Permeate flow for individual elements may vary + or - 15 percent. All membrane elements are supplied with a brite seal and packaged in a sealed polyethylene bag containing 0.5% sodium bisulfite solution.

Hydranautics believes the information and data herein to be accurate and useful. The information and data are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and methods of use of our products are beyond our control. Hydranautics assumes no liability for results obtained or damages incurred through the application of the presented information and data. It is the user's responsibility to determine the appropriateness of Hydranautics products for the user's specific end uses.

APÊNDICE 3
PROGRAMA FORTRAN

PROGRAMA EM FORTRAN

```
C #####
C
C   PROGRAMA PARA O CÁLCULO DA VAZÃO DE ALIMENTAÇÃO E CÁLCULO DO
C   ERRO E DESVIO PADRÃO EM FUNÇÃO DA VAZÃO
C
C   #####
C
C   PROGRAM BALANÇO
C   REAL QC,QP,CA,QAT,T(100),CP(100),CC(100),QA(100),ERRO(100),
C   &     SOM_ER,DESV,QACA(100)
C
C   #####
C
C   NOMENCLATURA
C
C   QC:           VAZÃO DO CONCENTRADO
C   QP:           VAZÃO DO PRODUTO
C   CA:           CONCENTRAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO
C   QAT:          VAZÃO TEÓRICA
C   T:           TEMPO
C   CP:           CONCENTRAÇÃO DO PRODUTO
C   CC:           CONCENTRACAO DO CONCENTRADO
C   QA:           VAZÃO CALCULADA
C   ERRO:        ERRO PERCENTUAL
C   SOM_ER:      SOMA DOS ERROS PERCENTUAIS
C   DESV:        DESVIO PADRÃO
C   QACA:        RAZÃO QA/CA
C   Pa:         PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO
C
C   INTEGER N,I
C   CHARACTER*12 ARQ1,ARQ2,COR*20
C
C           CHAMADA DOS ARQUIVOS DE DADOS (INPUT/OUTPUT)
C           ARQ1: ARQUIVO COM DADOS DE ENTRADA
C           ARQ2: ARQUIVO COM RESULTADOS
C
C   WRITE(*,*) 'DIGITE ARQ1'
C   READ(*,*) ARQ1
C   WRITE(*,*) 'DIGITE ARQ2'
C   READ(*,*) ARQ2
C
```



```

C                               ABERTURA DOS ARQUIVOS
OPEN(1, FILE=ARQ1, STATUS='OLD')
OPEN(2, FILE=ARQ2, STATUS='UNKNOWN')

C
C                               LEITURA DOS DADOS DO ARQUIVO DE ENTRADA
READ(1, *)
READ(1, *) COR
READ(1, *) N, QC, QP, CA

C                               CÁLCULO DA VAZÃO TEÓRICA
QAT=(QP+QC)*CA

C
C                               IMPRESSÃO DA TABELA DE RESULTADOS
WRITE(2, *) COR
WRITE(2, 12)
12  FORMAT(' ', /, 1X, 'Tempo (min)', 1X, '|', 1X, 'Cp (ms)', 1X, '|', 1X, 'Cc (ms)'
&  , 1X, '|', 1X, 'Qat (l/min)', 1X, '|', 1X, 'Qa (l/min)', 1X, '|', 1X, 'Erro (%)'
&  )')
write(2, *) '-----'
&-----'

C
C                               CÁLCULO DA VAZÃO E DO ERRO MÉDIO
SOM_ER=0
DO 10I=1, N
  READ(1, *) T(I), CP(I), CC(I)
  QA(I)=QC*CC(I)+QP*CP(I)
  QACA(I)=QA(I)/CA
  ERRO(I)=(ABS(QAT-QA(I))/QAT)*100
  SOM_ER=SOM_ER+ERRO(I)

C                               IMPRESSÃO DOS RESULTADOS
WRITE(2, 15) T(I), CP(I), CC(I), QAT/CA, QACA(I), ERRO(I)
15  FORMAT(' ', 2X, F6.2, 3X, '|', 2X, F4.2, 2X, '|', 2X, F4.2, 2X, '|', 3X, F4.2,
&  3X, '|', 1X, F5.2, 3X, '|', 2X, F6.4)
10  CONTINUE
WRITE(2, *) '-----'
&-----'
WRITE(2, 16) SOM_ER/N
16  FORMAT(' ', /, 1X, 'ERRO MEDIO (%):', F7.4)
CALL DESVIO(QACA, N, DESV)
WRITE(2, 17) DESV
17  FORMAT(' ', /, 1X, 'DESVIO PADRAO:', F7.4)
END

```

APÊNDICE 4
ANÁLISE FÍSICO - QUÍMICA DE ÁGUA

ANÁLISE FÍSICA, QUÍMICA E ORGANOLÉPTICA DE ÁGUA

Universidade Federal da Paraíba Centro de Ciências e Tecnologia Departamento de Engenharia Química Laboratório de Dessalinização Campina Grande - Paraíba	Município: Zabelê - PB Procedência: Sítio Logradouro Coletado em garrafa plástica
---	---

DETERMINAÇÕES	Água Bruta	Produto	Concentrado	VMP (*)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$	1566,0			---
Potencial Hidrogeniônico, Ph	8,0	7,0	9,0	6,5 a 8,5
Turbidez, (uT)	0,7	---	---	1,0 a 5,0
Odor	Não objetável	Não objetável	Não objetável	Não objetável
Sabor	---	---	---	Não objetável
Sódio, mg/l Na^+	124,2	64,6	148,0	---
Potássio, mg/l K^+	11,7	6,2	13,9	---
Ferro Total, mg/l	---	---	---	0,3
Dureza em Cálcio, mg/l Ca^{++}	80,0	15,6	105,66	---
Dureza em Magnésio, mg/l Mg^{++}	73,20	14,7	96,68	---
Dureza Total, mg/l CaCO_3	500,0	97,8	662,0	500,0
Sílica, mg/l de SiO_2	-	---	---	---
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/l CaCO_3	---	---	---	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/l CaCO_3	84,0	0,06	66,72	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/l CaCO_3	317,2	104,6	446,68	---
Alcalinidade Total, mg/l CaCO_3	401,2	104,66	513,4	---
Cloreto, mg/l Cl^-	266,3	88,2	337,3	250,0
Sulfato, mg/l SO_4^{--}	24,0	2,74	32,5	400,0
Nitrito, mg/l NO_2^-	---	---	---	---
Sólidos Totais a 105°C, mg/l	993,5			---
Total de Sólidos Dissolvidos, mg/l	980,6	296,19	1247,41	1.000,0

(*)VMP = Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira para que a água destinada ao consumo humano seja considerada potável (PORTARIA 36 90 MS)