



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

**JOAO UTEMBERG LUCAS BEZERRA**

**MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS DE MEDIDA DE UM SISTEMA DE  
OSMOSE INVERSA COM RECICLO DO CONCENTRADO**

**CAMPINA GRANDE**

**2017**

**JOÃO UTEMBERG LUCAS BEZERRA**

**MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS DE MEDIDA DE UM SISTEMA DE  
OSMOSE INVERSA COM RECICLO DO CONCENTRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

**Orientadora:**

Prof.<sup>a</sup> Dra. Marcia Izabel Cirne França

**CAMPINA GRANDE**

**2017**

B574m Bezerra, João Utemberg Lucas.  
Monitoramento das variáveis de medida de um sistema de osmose inversa com reciclo do concentrado [manuscrito] : / Joao Utemberg Lucas Bezerra. - 2017.  
44 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

"Orientação : Profa. Dra. Márcia Izabel Cirne França, Coordenação do Curso de Química Industrial - CCT."

1. Dessalinização. 2. Água salobra. 3. Osmose inversa.

21. ed. CDD 628.167

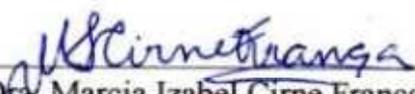
**JOÃO UTEMBERG LUCAS BEZERRA**

**MONITORAMENTO DAS VARIÁVEIS DE MEDIDA DE UM SISTEMA DE  
OSMOSE INVERSA COM RECICLO DE CONCENTRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Aprovado em: 09/10/2017.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Marcia Izabel Cirne França (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Prof. Dr. Antônio Augusto Pereira de Sousa  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Ma. Tereziana Silva da Costa  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

**CAMPINA GRANDE**

**2017**

Dedico aos meus pais, Jacó Pinheiro e Maria da Paz,  
pela dedicação, companheirismo e amizade.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, criador do Céu e da Terra, pela força que deste para esta caminhada.

À professora Marcia, pela orientação e pela dedicação.

À coordenação do LABDES, por fornecer toda a estrutura necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, pela educação, amor, apoio e confiança.

Aos professores do Curso de Química Industrial da UEPB.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.

Aos colegas e amigos do LABDES, pela amizade, companheirismo e pela contribuição de alguma forma a este trabalho.

Aqui não os nomearei para não cometer nenhuma falta e deslize.

## RESUMO

Devido à escassez de água potável, a humanidade vem explorando novas fontes de abastecimento. Entre as soluções, os métodos de dessalinização de águas salobras surgiram com o objetivo de remover os sais da água, tornando-a potável para usos múltiplos, destacando-se os processos por osmose inversa. A disposição inadequada do concentrado gerado durante a dessalinização pode trazer sérios problemas ao ambiente, como salinização de solos e de águas superficiais, sendo assim, o reciclo do concentrado no próprio sistema de dessalinização pode ser uma alternativa para redução do mesmo. Desse modo, o objetivo deste trabalho é estudar o desempenho de um sistema de osmose inversa com reciclo de concentrado com variação da pressão de operação. Realizou-se o tratamento da água de abastecimento do LABDES por osmose inversa operando o sistema em duas etapas, sem reciclo do concentrado (SR) e com reciclo (CR), utilizando pressões de 10,0 e 12,0 bar. Em ambos os processos foi verificada remoção quase total dos sais que tornava a água imprópria para o consumo humano. Na etapa CR, a condutividade na corrente de alimentação aumentou progressivamente sendo influenciada pela concentração de sais que retornava à alimentação, já nas correntes de concentrado das duas etapas, verificou-se aumento deste parâmetro a medida que o sistema era operado a uma pressão mais elevada. O pH da água produzida (permeado) se mostrou sempre inferior ao pH da alimentação apenas na etapa SR, sendo mais evidente quando aplicada a maior pressão utilizada (12 bar), possivelmente devido a formação do ácido carbônico. Ao contrário dos parâmetros já mencionados, a cor não se mostrou influenciada pela pressão de operação, observando-se remoção total desta em todos os experimentos. Com relação à recuperação, o sistema se comportou de maneira semelhante nas etapas SR e CR, pois, em ambos os processos a aplicação das pressões 10,0 bar e 12,0 bar promoveu a conversão de 22% e 36% da alimentação em permeado, respectivamente. Sendo assim, o processo de dessalinização com reciclo do concentrado se mostrou eficiente nas condições utilizadas neste trabalho, possibilitando a redução do concentrado, o qual deve ter um destino adequado para não provocar impactos ambientais.

**Palavras-Chave:** Dessalinização; recuperação; parâmetros físico-químicos.

## ABSTRACT

Due to the scarcity of drinking water, mankind has been exploring new sources of supply. Among the solutions, brackish water desalination methods were developed with the aim of removing the salts from the water, making it potable for multiple uses, especially reverse osmosis processes. Improper disposal of the concentrate produced during the desalination can bring serious environmental problems such as salinity soil and surface water, thus the concentrate in the recycle own desalination system can be an alternative to reducing it. Thus, the objective of this work is to study the performance of a reverse osmosis system with concentrate recycle with varying operating pressure. The treatment of the LABDES water by reverse osmosis was carried out by operating the system in two stages, without recycle of the concentrate (SR) and with recycle (CR), using pressures of 10.0 and 12.0 bar. In both processes it was verified almost total removal of the salts that made the water unfit for human consumption. In the CR step, the conductivity in the feed stream increased progressively, being influenced by the concentration of salts that returned to the feed, already in the concentrate chains of the two stages, this parameter was increased as the system was operated at a higher pressure. The pH of the produced water (permeate) was always lower than the pH of the feed only in the SR step, being more evident when the higher pressure used (12 bar) was applied, possibly due to the formation of carbonic acid. Contrary to the parameters already mentioned, the color was not influenced by the operating pressure, observing its total removal in all experiments. Regarding the recovery, the system behaved in a similar manner in the SR and CR steps, since in both processes the application of pressures 10.0 bar and 12.0 bar promoted the conversion of 22% and 36% of permeate feed, respectively. Thus, the desalination process with recycle of the concentrate was efficient in the conditions used in this work, allowing the reduction of the concentrate, which must have a suitable destination so as not to cause environmental impacts.

**Keywords:** Desalination; recovery; physical-chemical parameters.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação esquemática do processo de separação por membranas.....	15
Figura 2 – Membranas em poliamida TFC .....	19
Figura 3 – (a) Membrana simétrica; (b) membrana assimétrica; (c) membrana composta .....	19
Figura 4 – Correntes no processo de separação por membranas .....	20
Figura 5 – Principais características das técnicas de separação com membranas que utilizam diferença de pressão como força motriz.....	21
Figura 6 – Representação do processo de osmose e osmose inversa: (a) duas soluções, uma salina e outra sem sal, separadas por uma membrana semipermeável; (b) a água pura dilui a salgada até que seja atingido o equilíbrio osmótico; (c) a aplicação de uma pressão superior à diferença de pressão hidrostática inverte o processo .....	22
Figura 7: Sistema de dessalinização .....	28
Figura 8 – Fluxograma do sistema de dessalinização.....	29
Figura 9 – Variação da condutividade em função do tempo para pressão de 10,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR) .....	32
Figura 10 – Variação da condutividade em função do tempo para pressão de 12,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR). .....	33
Figura 11 – Comportamento do pH em função do tempo para pressão de 10,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR) .....	33
Figura 12 – Comportamento do pH em função do tempo para pressão de 12,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR) .....	34
Figura 13 – Comportamento da cor em função do tempo para pressão de 10,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR) .....	35
Figura 14 – Comportamento da cor em função do tempo para pressão de 12,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR) .....	36

Figura 15 – Comportamento da recuperação em função da pressão nas duas etapas .....37

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Exemplos de Aplicação de Processos com Membranas.....	23
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CR	Com reciclo
ED	Eletrodialise
$k_a$	Condutividade da alimentação
$k_c$	Condutividade do concentrado
$k_p$	Condutividade do permeado
LABDES	Laboratório de Referência em Dessalinização
MF	Microfiltração
mS	Milisiemens
NaCl	Cloreto de Sódio
NF	Nanofiltração
OI	Osmose Inversa
$pH_a$	pH da alimentação
$pH_c$	pH do concentrado
$pH_p$	pH do permeado
SR	Sem reciclo
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
TFC	Thin Film Composite
UF	Ultrafiltração
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
uH	Unidade Hazen

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	Objetivo geral.....	14
1.2	Objetivos específicos .....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Considerações Sobre Processos Com Membranas .....	15
2.2	Classificações de Membranas .....	16
2.2.1	Membranas de Acetato de Celulose .....	17
2.2.2	Membranas Aromáticas Poliamida (Aramida).....	18
2.2.3	Membranas de Compósito de Filme Fino (TFC) .....	18
2.3	Processos de Separação com Membranas .....	20
2.4	Dessalinização via Osmose Inversa .....	21
2.5	Processo de Osmose Inversa .....	22
2.6	Principais Aplicações de Processos com Membranas .....	23
2.7	O uso do concentrado da dessalinização .....	25
3	MATÉRIAS E MÉTODOS .....	27
3.1	Materiais .....	27
3.1.1	Sistema de membranas de Osmose Inversa (OI).....	27
3.1.2	Fonte Hídrica.....	28
3.2	Metodologia.....	29
3.2.1	Etapa 1: sem reciclo do concentrado (SR) .....	29
3.2.2	Etapa 2: com reciclo do concentrado (CR).....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	31
4.1	Condutividade.....	31
4.2	Potencial hidrogeniônico (pH).....	33
4.3	Cor.....	35

4.4	Recuperação do sistema .....	37
5	CONCLUSÃO .....	38
	REFERÊNCIAS .....	39
	Anexo .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à escassez de água potável, a humanidade vem tentando explorar novas fontes de abastecimento. Entre as soluções, os métodos de dessalinização de águas salobras surgiram com o objetivo de remover os sais da água, tornando-a potável para usos múltiplos. Entre os processos de dessalinização disponíveis, a osmose inversa tem tido uma grande aplicabilidade.

Em geral quando não há outra opção viável e segura de dispor de água doce, dessalinizar água salobra é uma solução desejável. Neste caso, uma das técnicas mais econômicas, de uso consagrado em vários países, é a osmose inversa, principalmente porque o consumo energético é quase proporcional à salinidade da água de alimentação, o que não acontece quando se utiliza tecnologias de dessalinização térmica (FRITZMAN et al, 2007).

Com a dessalinização há a formação do permeado (água potável) e do concentrado (água imprópria para o consumo) com elevadas concentrações de sais dissolvidos. A disposição inadequada do concentrado pode trazer sérios problemas ao ambiente, como salinização de solos e de águas superficiais.

Diversos trabalhos apontam um crescimento de pesquisas voltadas para a disposição adequada do concentrado. A exemplo dos trabalhos realizados no Laboratório de Referência em Dessalinização, onde Alves et al. (2015) estudou a viabilidade do uso do concentrado para produção de hortaliças em sistema hidropônico, Ferreira (2012) modificou o meio de cultura de microalgas, com adição do concentrado, para produção de biodiesel e Lopes (2017), por sua vez, estudou o desempenho de microalgas em meio de cultura semelhante visando a produção de biomassa.

O reciclo do concentrado no próprio sistema de dessalinização pode ser uma alternativa de uso do mesmo, reduzindo o seu volume.

## **1.1 Objetivo geral**

Estudar, através de variáveis de medida, o desempenho de um sistema de dessalinização via osmose inversa com reciclo o concentrado.

## **1.2 Objetivos específicos**

- ❖ Avaliar o desempenho do sistema de membranas sem reciclo do concentrado e com reciclo deste para o tanque de alimentação em função da variação da pressão de operação;
- ❖ Monitorar parâmetros físico-químicos da água de alimentação, permeado e concentrado do sistema em função da pressão de operação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

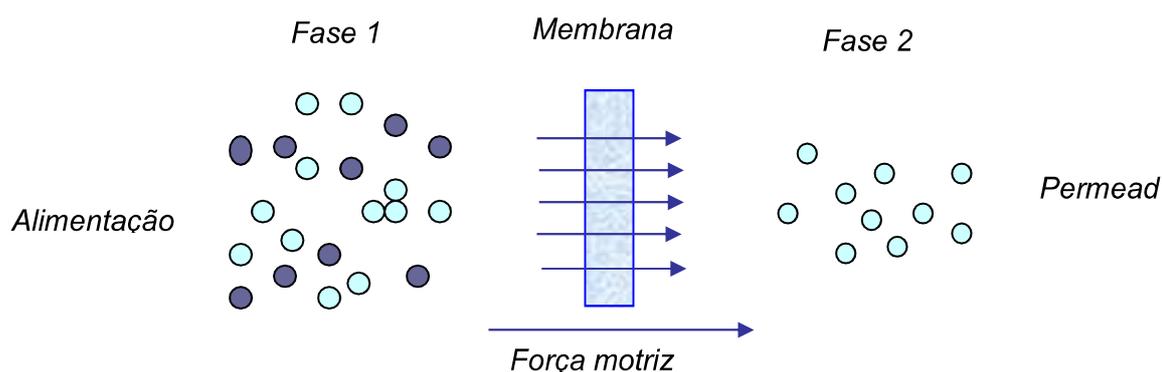
### 2.1 Considerações Sobre Processos Com Membranas

As membranas constituem, atualmente, a principal inovação tecnológica nos processos de tratamento de água, sendo a primeira grande inovação, desde o desenvolvimento das tecnologias convencionais de tratamento de água no início do século passado (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

A filtração define-se como a separação de dois ou mais componentes de uma corrente fluida baseada, primeiramente, na diferença de tamanhos. Convencionalmente, a filtração refere-se à separação de partículas sólidas de correntes líquidas ou gasosas. A filtração por membranas estende esta aplicação à separação de solutos dissolvidos em correntes líquidas e a separação de misturas gasosas (MOUARA et al., 2008).

Uma membrana é uma barreira que separa duas fases e que seletivamente transfere massa entre essas fases. A membrana tem assim a capacidade de transportar determinados componentes mais eficazmente, retendo outros que fazem parte da mistura de alimentação. É, portanto uma barreira permeável e seletiva ou uma interface entre duas fases. A Figura 01 apresenta um esquema da separação por membranas (MOURA et al., 2008).

Figura 1 – Representação esquemática do processo de separação por membranas



Fonte: Adaptado de Moura (2008)

O que distingue o processo de separação de membranas de outras técnicas de separação é a utilização de uma outra fase, a membrana. Esta fase, sólida, líquida ou gasosa,

introduz uma interface entre o volume das duas fases envolvidas na separação e pode originar vantagens de eficiência e seletividades (MOURA, 2008).

## 2.2 Classificações de Membranas

Em princípio, qualquer material que permita a síntese de filmes com porosidade controlada pode ser utilizado para fabricação de membranas. Na prática, entretanto, o mercado de tratamento de água é dominado por membranas fabricadas com polímeros orgânicos. O alto custo de fabricação ainda restringe o uso de membranas inorgânicas (cerâmicas de óxidos de zircônio, alumínio ou titânio, aço inoxidável) em nível de mercado que envolve tratamento de soluções agressivas (pH muito alto ou muito baixo), de temperaturas altas ou de valor agregado (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

A natureza química do material que constitui a membrana demonstra uma preferência à passagem de água e impede a passagem de sais dissolvidos por sua superfície. A passagem de moléculas de água através da estrutura da membrana ocorre tanto pela presença de poros existentes em sua superfície como pelo fenômeno da difusão destas moléculas e pela estrutura interna do filme fino que constitui a superfície de filtração da membrana. Tanto a natureza física como química da membrana determina sua capacidade de transportar moléculas de água e rejeitar partículas ou sais dissolvidos.

A permeabilidade das membranas pode ser classificada de acordo com os diferentes critérios como: mecanismos de separação, morfologia física, e natureza química.

Uma membrana pode ser espessa ou fina. A sua estrutura pode ser homogênea ou heterogênea, o transporte pode ser ativo ou passivo; o transporte passivo pode ser originado pela pressão, concentração ou diferença de temperatura. As membranas podem ainda ser naturais ou sintéticas, neutras ou carregadas. Desta forma, as membranas podem ser classificadas pela sua (MULDER, 1997):

- (a) natureza: sintéticas (orgânicas ou inorgânicas) e biológicas (vivas ou não vivas);
- (b) estrutura ou morfologia: simétricas (porosas ou não porosas) e assimétricas;
- (c) aplicação: separação gasosa, sólido-líquido, gás-líquido, líquido-líquido;
- (d) mecanismo de separação: exclusão, difusão, migração num campo elétrico, solubilidade.

### 2.2.1 Membranas de Acetato de Celulose

As membranas de Acetato de Celulose são exemplos de membranas assimétricas. As membranas assimétricas ou anisotrópicas ou membranas de segunda geração são caracterizadas por um gradiente de porosidade interno, gerado pelo controle das condições de polimerização da membrana, onde estas são constituídas por uma camada densa homogênea, muito fina (camada ativa ou "pele"), cuja espessura pode variar entre 0.1 a 0.5  $\mu\text{m}$ , suportada por uma camada porosa com uma espessura entre 50 a 150  $\mu\text{m}$  (Moura, 2008). A reduzida espessura da película filtrante diminui consideravelmente a resistência à filtração, que é proporcional à espessura da membrana. As membranas assimétricas são constituídas de um único tipo de polímero (MOURA et al., 2008).

Este tipo de membrana possui custos de fabricação mais baixos por ser fabricada em apenas uma etapa de produção. Por este método de fabricação, torna-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 práticas que acabam por determinar o aumento da espessura da película fina, reduzindo, conseqüentemente, o fluxo de água permeado (MOURA et al., 2008).

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, (HABERT et. al., 1997).

As membranas de acetato de celulose (CAB) têm as seguintes vantagens: baixo custo de produção, tolerante ao cloro, pouca tendência a incrustações. Suas desvantagens são as seguintes: ocorrência de hidrólise provenientes da ação de ácidos e álcalis, biodegradação, taxas de rejeição de sais mais baixas, problemas decorrentes da compactação da membrana, baixo fluxo do permeado, o que requer elevadas pressões de operação, 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 LATIN AMERICA,1996).

## **2.2.2 Membranas Aromáticas Poliamida (Aramida)**

As Membranas aromáticas de poliamida são membranas de películas finas composta, e são exemplos de membranas simétricas (MOURA et al., 2008).

As membranas simétricas ou isotópicas ou ainda membranas orgânicas de primeira geração são membranas com poros regulares, quase cilíndricos que atravessam toda a espessura da membrana, podem ser porosas, não-porosas ou densas. Apresentam uma espessura entre 10 a 200  $\mu\text{m}$ . A porosidade e a produtividade dessas membranas são muito pequenas pela necessidade de limitar o volume ocupado pelos poros, para evitar o colapso das membranas quando pressurizadas. As membranas densas simétricas não apresentam nenhum interesse do ponto de vista comercial. São filmes poliméricos de espessura relativamente elevada e, por este motivo, apresentam um fluxo do permeado muito baixo, fora da faixa de interesse comercial (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

As membranas de poliamidas aromáticas (CPA) apresentam maiores vantagens em relação às membranas de acetato de celulose, assim como seguem; taxas de rejeição de sais superiores, taxas de rejeição a moléculas orgânicas superiores, não são biodegradáveis, baixa taxa de compactação, limites de temperatura de operação superior (0 a 45°C), elevada taxa de rejeição de sílica (98%) (MOURA et al., 2008).

## **2.2.3 Membranas de Compósito de Filme Fino (TFC)**

As membranas compostas que veio com o aperfeiçoamento do processo de construção das membranas assimétricas são conhecidas também como membranas da terceira geração (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Os cartuchos de membranas espirais são os mais utilizados em aplicações de osmose inversa. Normalmente são do tipo TFC (Thin Film Composite) fabricados em poliamida, com rejeição de sais superior a 99%. As membranas em poliamida TFC consistem de uma camada suporte (porosa) e uma camada densa de um filme fino que é uma pele de membrana trançada, formada no local sobre a camada suporte, normalmente feita em polisulfona. Este processo de fabricação das membranas possibilita o aproveitamento das propriedades do suporte e da pele (rejeição de sais) (MOURA et al., 2008).

A membrana TFC é caracterizada pela grande vazão específica de água e maior rejeição de sais que as membranas de acetato de celulose. Cada elemento de membrana

consiste de um envelope de filme e espaçador, enrolado ao redor de um tubo central que é o coletor da água permeada (Moura, 2008), conforme mostra a Figura 02.

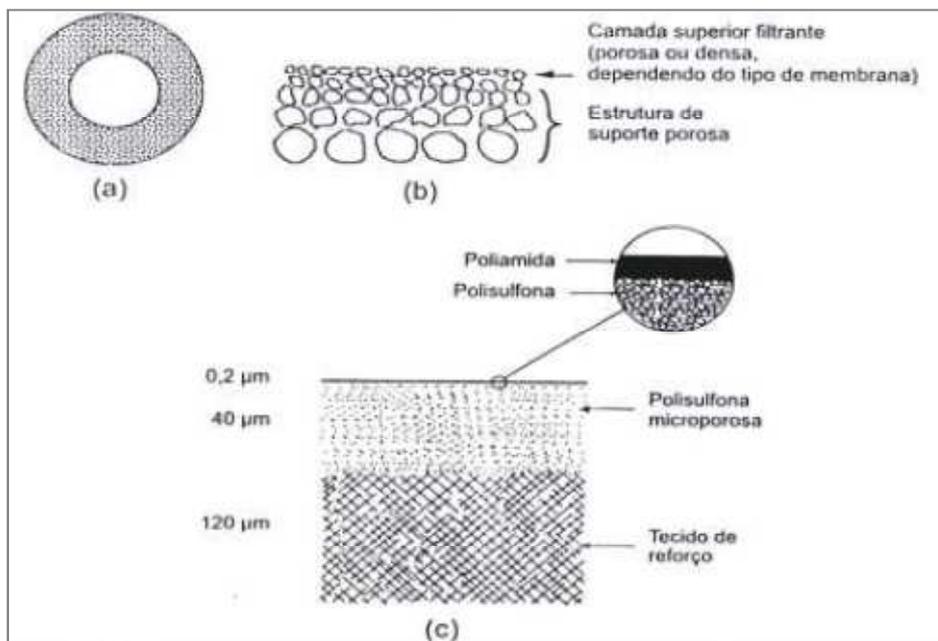
Figura 2 – Membranas em poliamida TFC



Fonte: Moura et al. (2008)

A Figura 03 apresenta um esquema das estruturas das membranas, mostrando as três gerações de membranas orgânicas.

Figura 3 – (a) Membrana simétrica; (b) membrana assimétrica; (c) membrana composta

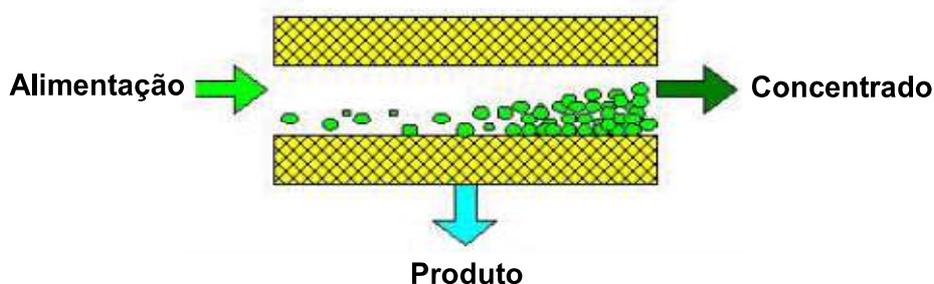


Fonte: Moura et a. (2008)

## 2.3 Processos de Separação com Membranas

O processo de separação por membranas é caracterizado pelo fato da corrente de alimentação ser dividida em duas correntes, a de concentrado e a de permeado, o que implica que ou a corrente de concentrado ou a de permeado será o resultado da separação (produto). As partículas e os solutos retidos na superfície da membrana são continuamente removidos no concentrado que flui tangencialmente ao longo da superfície da membrana, denominado de fluxo cruzado. A solução purificada flui através da membrana como permeado, (Moura et al., 2008), conforme mostra a Figura 04.

Figura 4 – Correntes no processo de separação por membranas



Fonte: Moura et al. (2008)

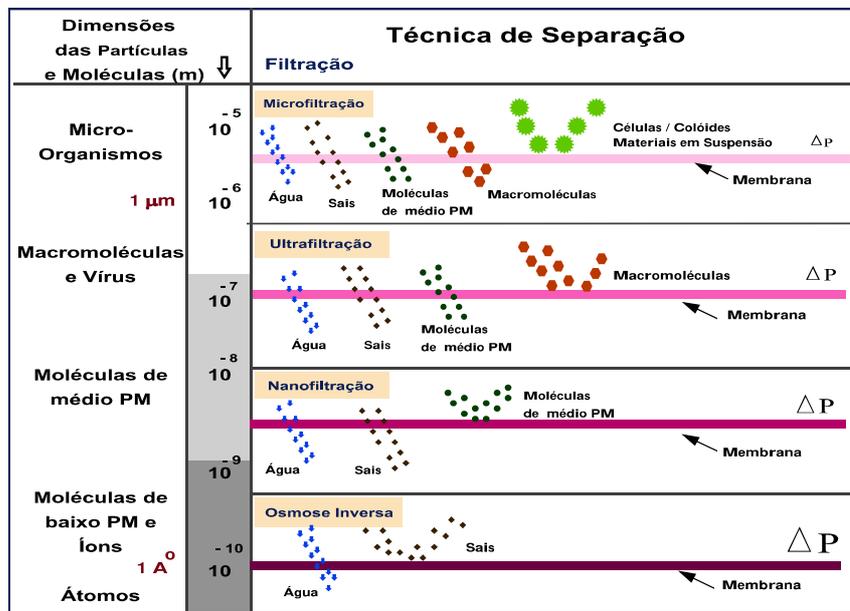
Os processos que utilizam a tecnologia de membranas e o gradiente de pressão com força motriz são conhecidos como: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) e osmose inversa (OI).

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

Na Figura 05 são apresentadas as principais características dos processos com membranas que utilizam a diferença de pressão como força motriz. Outro processo de separação por membrana é a eletrodialise (ED), que utiliza como força motriz o potencial elétrico. A ED é uma tecnologia de separação por membrana que leva em conta a troca de

íons eletricamente conduzida da qual é capaz de separar, concentrar e purificar íons selecionados de misturas aquosas (BUROS, 1990).

Figura 5 – Principais características das técnicas de separação com membranas que utilizam diferença de pressão como força motriz



Fonte: HABERT et al. (1997)

## 2.4 Dessalinização via Osmose Inversa

A osmose inversa é um fenômeno conhecido dos cientistas desde o fim do século XIX, passou a ser aplicado em processos industriais por volta de 1960. Desde 1980 o emprego de membranas semipermeáveis sintéticas em aplicações industriais passou a se difundir, ampliando o campo de aplicação deste processo. Isto resulta em contínuas reduções de custo, não só pela maior escala de produção permitida como também pelo crescente conhecimento tecnológico adquirido (SOUSA, 2003).

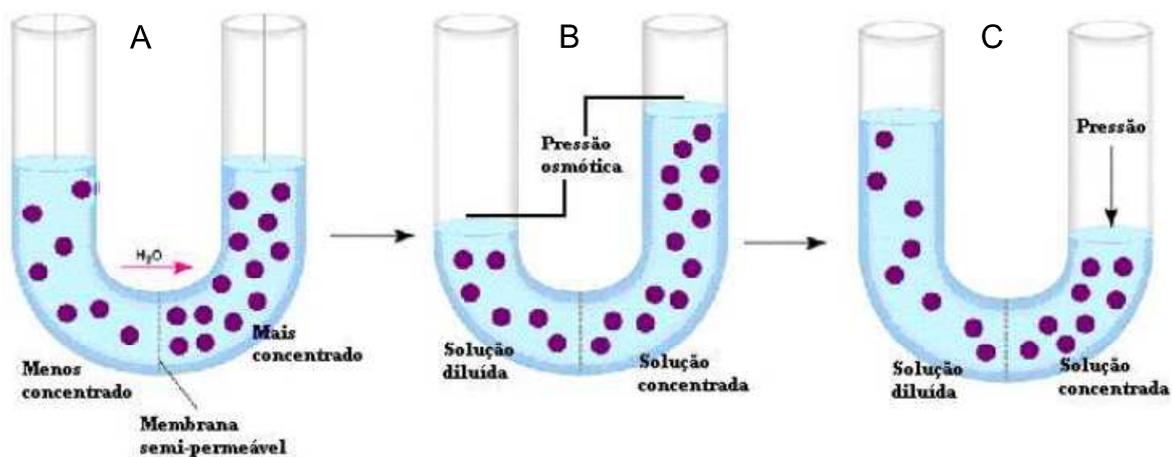
A OI ou hiperfiltração tem a capacidade de separar microsolutos com diâmetros menores que  $0,0001\mu\text{m}$ , através do mecanismo solução-difusão. Para partículas com diâmetros superiores, o mecanismo de separação será determinado pelo tamanho das partículas presentes na solução e pelo diâmetro dos poros existentes nas membranas. As

membranas de osmose inversa requerem uma pressão superior comparadas com os outros tipos de membranas por apresentarem poros mais fechados (SILVEIRA, 1999).

## 2.5 Processo de Osmose Inversa

A osmose é um fenômeno natural de caráter físico-químico, identificado há mais de 200 anos. Nela, quando duas soluções, com diferentes concentrações, são separadas em um mesmo recipiente por uma membrana semi-permeável, ocorre espontaneamente a passagem da solução de menor concentração no sentido da solução menos diluída, até que se estabeleça um equilíbrio (PERAZZO, 2007), como pode ser observado na Figura 6a e 6b.

Figura 6 – Representação do processo de osmose e osmose inversa: (a) duas soluções, uma salina e outra sem sal, separadas por uma membrana semipermeável; (b) a água pura dilui a salgada até que seja atingido o equilíbrio osmótico; (c) a aplicação de uma pressão superior à diferença de pressão hidrostática inverte o processo



Fonte: MOURA et al. (2008)

Por outro lado, a osmose inversa é um processo induzido obtido por intermédio da aplicação mecânica de uma pressão, superior à pressão osmótica do lado da solução mais concentrada, fazendo com que ocorra um fluxo no sentido da solução de menor concentração salina (Figura 6c).

A OI é utilizada para dessalinizar águas salinas, salobras e de superfície, utilizando membranas semipermeáveis sintéticas. Na prática, a pressão de operação deve superar também a resistência da membrana, a resistência da zona de polarização de concentração e a

resistência interna do equipamento. As pressões de operação reais são, portanto, mais elevadas do que a pressão osmótica da solução. A principal função das membranas é a rejeição de sais, que depende da temperatura, pressão, pH, concentração de sal e recuperação. (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

A recuperação (R%) de um sistema de dessalinização é a razão da vazão do permeado (Qp) em relação a vazão de alimentação (Qa). A recuperação do sistema é dada pela seguinte expressão:

$$R\% = \left( \frac{Qp}{Qa} \right) * 100 \quad (1)$$

## 2.6 Principais Aplicações de Processos com Membranas

Os processos de separação por membranas têm sido utilizados nos mais diferentes setores de atividade como na indústria química, na área médica, passando pela biotecnologia, indústria alimentícia e farmacêutica e também tratamentos de águas industriais e municipais. Na Tabela 01 são apresentados exemplos de aplicação de processos com membranas em algumas das áreas acima mencionadas (HABERT et. al., 1997).

Tabela 1 – Exemplos de Aplicação de Processos com Membranas

ÁREA	APLICAÇÕES
QUÍMICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quebra do azeótropo benzeno/hexano</li> <li>• Recuperação de H<sub>2</sub> - Síntese da Amônia</li> <li>• Fracionamento CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub></li> <li>• Fracionamento do ar: obtenção de gás inerte e de corrente rica e oxigênio.</li> </ul>

<p>(... continuação da Tabela 01)</p> <p>BIOTECNOLOGIA E FARMACÊUTICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separação de substâncias termoláveis</li> <li>• Desidratação de etanol</li> <li>• Purificação de enzimas</li> <li>• Fracionamento de proteínas</li> <li>• Esterilização de meios de fermentação</li> <li>• Bio-reatores a membranas</li> </ul>
<p>ALIMENTÍCIA E BEBIDAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concentração de leite</li> <li>• Concentração do soro de queijo</li> <li>• Concentração de sucos de fruta</li> <li>• Clarificação de vinhos e cervejas</li> <li>• Desalcoolização de vinhos e cervejas</li> </ul>
<p>TRATAMENTO DE ÁGUAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dessalinização de águas</li> <li>• Eliminação de traços de orgânicos</li> <li>• Tratamento de esgotos municipais</li> <li>• Desmineralização de águas p/ caldeiras</li> <li>• Água ultrapura p/ indústria eletrônica</li> </ul>
<p>TRATAMENTO DE DESPEJOS INDUSTRIAIS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Separação água/óleo</li> <li>• Recuperação de índigo - Têxtil</li> <li>• Recuperação de PVA - Têxtil</li> <li>• Recuperação de íons metálicos - Couro</li> <li>• Recuperação de proteínas - Laticínio</li> <li>• Tratamento águas - Papel e Celulose</li> </ul>
<p>MEDICINA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rim artificial – Hemodiálise</li> <li>• Pulmão artificial - Oxigenadores</li> <li>• Ar enriquecido em oxigênio</li> <li>• Esterilização de soluções injetáveis</li> <li>• Dosagem controlada de remédios</li> </ul>

Fonte: HABERT et al. (1997)

## 2.7 O USO DO CONCENTRADO DA DESSALINIZAÇÃO

O grande problema na dessalinização por membranas é a geração do concentrado, já que esse resíduo não pode ser depositado diretamente na natureza, pois este procedimento pode provocar a salinização do solo, que é prejudicial às culturas que nele crescem, além da possibilidade de contaminação do lençol freático. Além disso, quando o concentrado da dessalinização é lançado no oceano pode causar efeitos nos organismos marinhos, devido ao estresse osmótico que estes podem sofrer dependendo da sensibilidade individual de cada um (MOURA et al., 2008; FRITZMANN et al., 2007).

Moura et al. (2008) apontou a utilização do concentrado das unidades de osmose inversa para diversos fins como: na alimentação de gados, quando se trata de uma água de alimentação de baixo teor de sais dissolvidos; diluição com águas residuais de efluentes; retorno do concentrado para a própria fonte; irrigação de áreas agrícolas tipo “spray”, dependendo da concentração de sais dissolvidos no concentrado, essa técnica dificulta a ocorrência de pontos de concentração localizadas no solo; e evaporação, que geralmente necessita de grande áreas e seu desempenho depende da taxa de irradiação solar da região, tornando-se, em alguns casos, um método improdutivo.

Pesquisas têm ganhado destaque por utilizar o concentrado na produção de tilápias vermelhas e plantas do gênero *Atriplex*. no Nordeste do, a irrigação da *Atriplex nummularia*, também conhecida como erva sal, com efluente salino tem sido sugerida como uma alternativa para redução dos impactos ambientais dos sistemas de dessalinização por sua característica de remover sais do solo. Outras culturas para alimentação de ruminantes têm sido testadas, como o capim elefante e o sorgo, e verificaram que este último se apresentou como alternativa de sustentabilidade socioeconômica para o aproveitamento da água residual de dessalinização (MOURA et al., 2008; VALE e AZEVEDO, 2013).

Atualmente, o concentrado tem se mostrado adequado ao cultivo de microalgas como *Scenedesmus acuminatus* e *Chlorrella vulgaris* com finalidade de produção de biomassa para bioenergia. Além disso, verificou-se redução de salinidade do meio, o que sugere a absorção de sais por estas microalgas (LOPES, 2017).

O uso do concentrado tem sido ainda utilizado no desenvolvimento de culturas hidropônicas. Alves et al. (2016) avaliou o crescimento de alface crespa submetidas a irrigação com o concentrado da dessalinização. Os resultados obtidos pelos autores mostraram decréscimos de produtividade com o aumento da condutividade elétrica para os parâmetros:

área foliar e massa fresca da parte aérea, porém, destacam que o manejo do concentrado pode ser modificado para resultar em diferenças não significativas de produtividade, como, por exemplo, o controle do pH em faixas ideais de absorção.

Embora sempre exista resíduo da dessalinização, este pode ser reduzido através da recirculação do mesmo no próprio sistema de dessalinização, porém é importante o estudo do processo de acordo com a água de alimentação disponível, já que esse procedimento irá acelerar a formação de incrustações na membrana.

### **3 MATÉRIAS E MÉTODOS**

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e concerne em um processo experimental de dessalinização de águas salobras, avaliando-se o desempenho do sistema de osmose inversa (OI), com e sem reciclo do concentrado, com variação da condutividade da água de alimentação numa faixa de 1150  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 3470  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Os experimentos foram realizados em duas etapas, sob as seguintes pressões de operação (10,0 e 12,0) bar:

1ª. Etapa: O sistema operou sem reciclo do concentrado (SR) na alimentação;

2ª Etapa: O sistema operou com reciclo do concentrado (CR).

#### **3.1 Materiais**

O sistema utilizado no referido trabalho foi um dessalinizador montado no LABDES, composto de duas membranas de osmose inversa, com capacidade de produção de 240 L/h e um tanque de alimentação com a capacidade de 1000 L.

##### **3.1.1 Sistema de membranas de Osmose Inversa (OI)**

A Figura 07 mostra o sistema de dessalinização utilizado neste trabalho, o qual é composto pelas seguintes unidades:

- 2 Membranas BW30 4040 Filmtec<sup>®</sup>
- 1 Bomba de alta pressão da Dancor de 1CV
- 1 Bomba centrífuga da Dancor (Bomba auxiliar) ¼CV
- 2 Manômetros (0-20)bar
- 2 Rotâmetros (2-18)L/min.
- 2 Filtros polipropileno de 5 $\mu\text{m}$

Figura 7: Sistema de dessalinização



Fonte: Própria

### 3.1.2 Fonte Hídrica

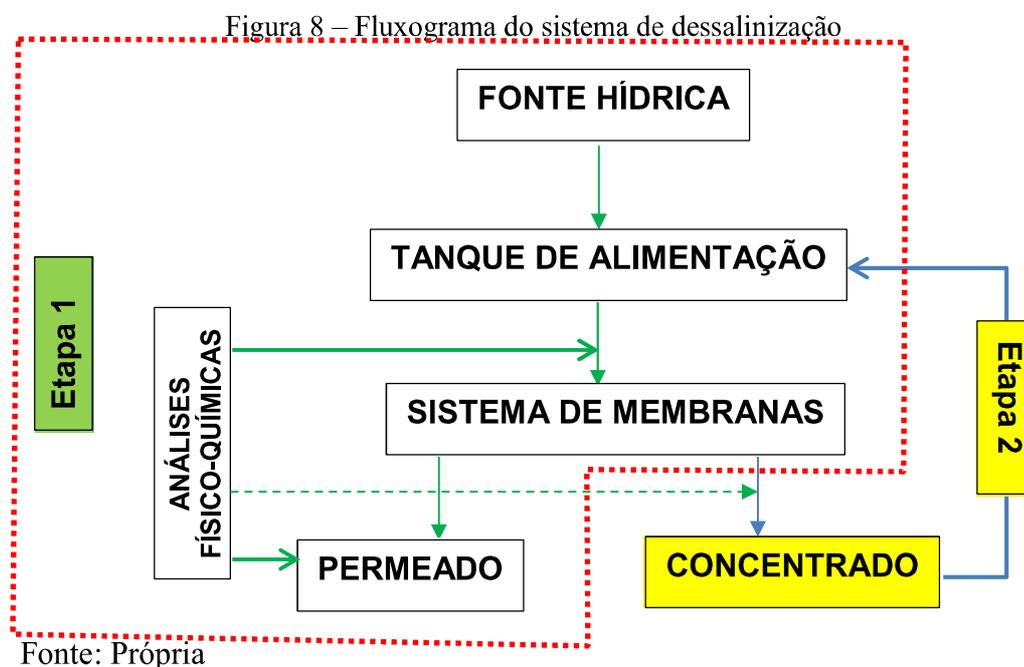
A fonte hídrica do presente trabalho para se estudar o desempenho do sistema de membranas, foi a água que se acumula na cisterna do LABEDES, a qual pode receber águas de chuvas e da rede de abastecimento (CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba).

Para utilização desta fonte hídrica na alimentação do sistema, foi considerado a qualidade das águas, em função das últimas fases sazonais, de baixas precipitações pluviométricas, o que tornou a água de abastecimento do sistema com alta condutividade elétrica e concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) acima dos valores máximos permissíveis da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

## 3.2 Metodologia

Para cada etapa foram realizados experimentos com duração de 60 minutos, sendo coletadas amostras para análises físico-químicas após 1 minuto de operação e a cada 10 minutos até o fim da batelada. As análises físico-químicas realizadas foram condutividade, pH e cor, todas elas com base nas metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

A Figura 08 mostra o fluxograma do sistema de dessalinização e os pontos de coletas de amostras para fins de análises.



### 3.2.1 Etapa 1: sem reciclo do concentrado (SR)

Nessa etapa os experimentos foram realizados da seguinte forma:

1. O tanque de alimentação recebeu a água da cisterna do LABDES oriunda do abastecimento público realizado pela CAGEPA e das águas de chuvas ocorridas durante o período de realização dos experimentos desse trabalho;
2. A água do tanque de alimentação foi bombeada através de um motor bomba centrífuga de 1/4CV para alimentar o motor bomba de alta pressão de 1,0 CV

composto de 10 estágios, mas antes a mesma passa por dois filtros de cartuchos de polipropileno de 5  $\mu\text{m}$ ;

3. A água de alimentação passou por dois elementos de membranas tipo BW30 4040 da Filmtec<sup>®</sup> (conforme é mostrado o boletim técnico no Anexo), sob as faixas de pressões mencionadas acima;
4. As correntes da alimentação, do concentrado e permeado foram analisadas em termos de produção (em função das pressões estudadas), condutividade elétrica, pH e cor;

### **3.2.2 Etapa 2: com reciclo do concentrado (CR)**

A etapa 2 foi realizada sob os mesmos procedimentos da Etapa 1 com o diferencial do uso do concentrado, sendo este reciclado para o tanque de alimentação do sistema conforme mostrado no fluxograma da Figura 08.

Os mesmos parâmetros físico-químicos foram estudados para essa etapa a fim de avaliar o desempenho dos elementos de membranas, sob as mesmas faixas de pressões.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

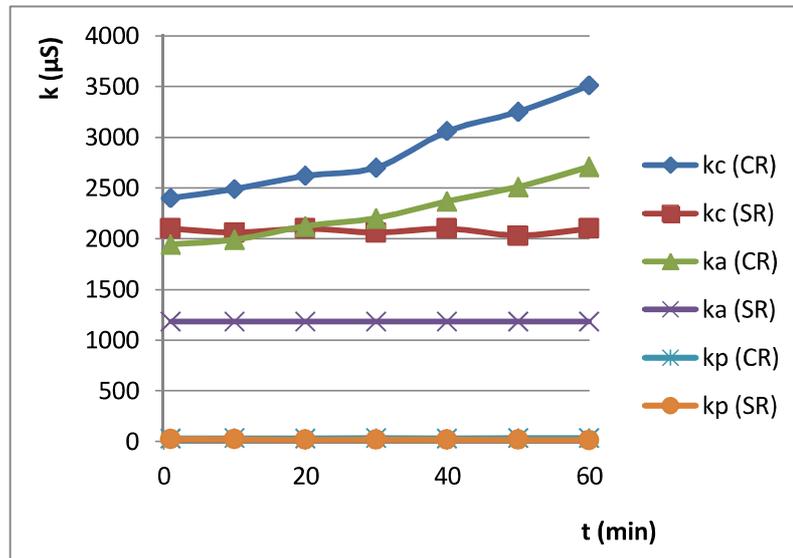
Os resultados apresentados são referentes às variações dos seguintes parâmetros: condutividade elétrica, pH, cor e recuperação do sistema no tratamento da água de abastecimento do LABDES por osmose inversa, o qual foi realizado nas seguintes pressões de operações: 10 bar e 12 bar, fazendo o sistema de membrana operar em duas etapas, sem reciclo (SR) e com reciclo (CR) do concentrado, conforme mencionado nos materiais e métodos.

### 4.1 Condutividade

Para as pressões 10,0 e 12,0 bar (Figuras 09 e 10), a condutividade inicial da alimentação foi 1184  $\mu\text{S}$  e 1150  $\mu\text{S}$ , respectivamente, e foi verificado comportamento mais linear das curvas de condutividade na corrente do permeado em ambas as etapas. Conforme mencionado por Ghiggi (2011), é esperado que as amostras de permeado apresentem resultados semelhantes entre si, se a retenção da membrana é constante durante o experimento.

Com pressão de 10,0 bar (Figura 09), a condutividade do permeado foi em média 18,1  $\mu\text{S}$  na etapa SR e 31,5  $\mu\text{S}$  na etapa CR. Ainda na etapa SR foi verificado 2100  $\mu\text{S}$  no concentrado após 60 minutos e com o reciclo do concentrado, verificou-se condutividade final na alimentação de 2710  $\mu\text{S}$  e no concentrado de 3510  $\mu\text{S}$ .

Figura 9 – Variação da condutividade em função do tempo para pressão de 10,0 bar nas correntes do concentrado ( $k_c$ ), alimentação ( $k_a$ ) e permeado ( $k_p$ ), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR)

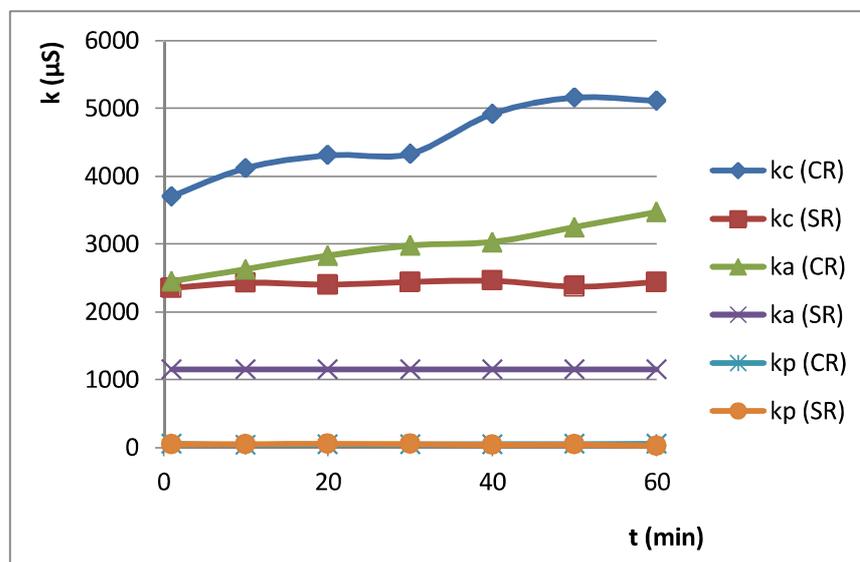


Como pode ser observado na Figura 10, em pressão mais elevada (12,0 bar) a condutividade final do concentrado na etapa SR foi 2440  $\mu\text{S}$ , conseqüentemente, na alimentação e no concentrado na etapa CR foram observados valores de 3470  $\mu\text{S}$  e 5110  $\mu\text{S}$ , respectivamente.

Além disso, a condutividade média nas correntes do permeado foram maiores, 44  $\mu\text{S}$  na operação sem reciclo e 47  $\mu\text{S}$  com reciclo do concentrado.

De acordo com Alves (2011), aumentos significativos na condutividade da água permeada em sistemas de dessalinização indicam saturação de concentrações salinas nas superfícies das membranas. Por isso, a utilização de pressões mais elevadas exige limpeza química das membranas com maior frequência, a fim de se manter a qualidade da água produzida.

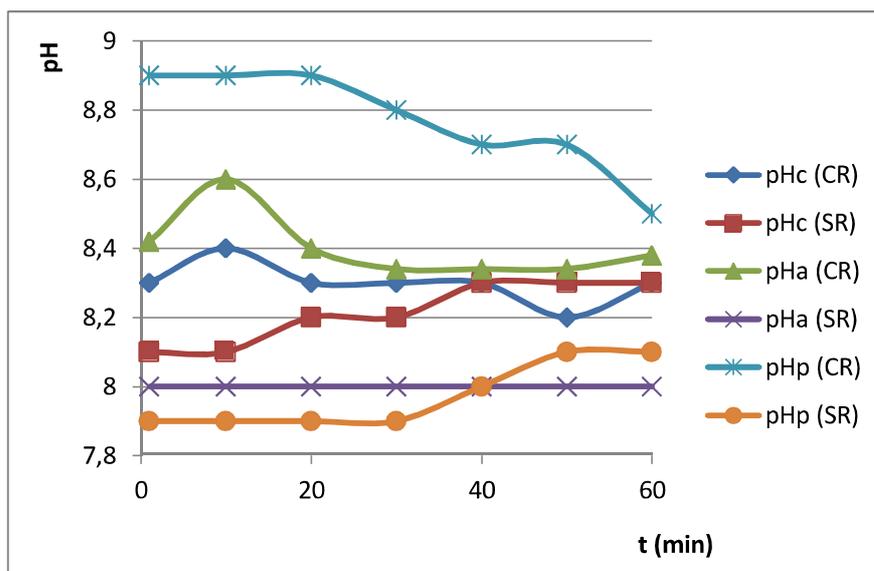
Figura 10 – Variação da condutividade em função do tempo para pressão de 12,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR).



## 4.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)

Com a aplicação da pressão de 10,0 bar (Figura 11), destacou-se a elevação do pH na corrente do permeado quando o sistema foi operado com reciclo do concentrado, com valores de até 8,9.

Figura 11 – Comportamento do pH em função do tempo para pressão de 10,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR)

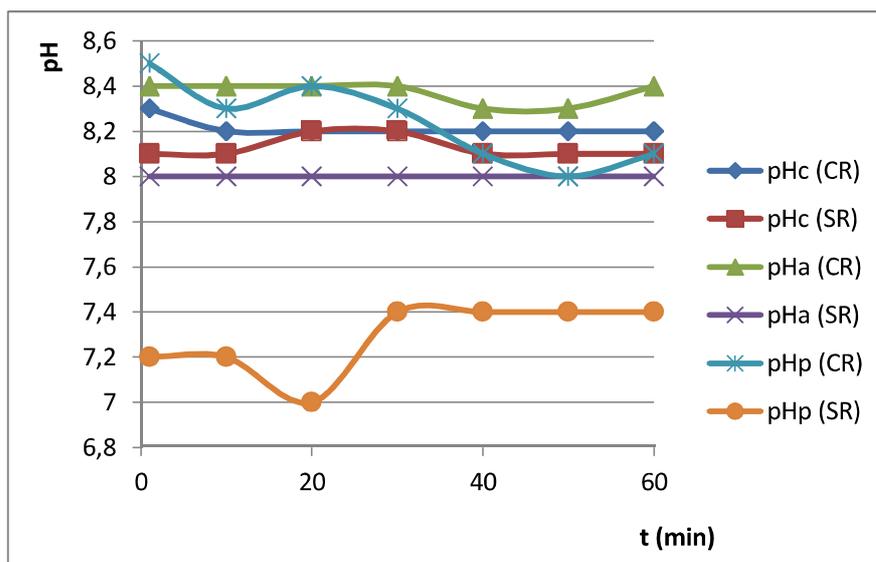


Silva et al. (2008) observou comportamento semelhante ao realizar tratamento de água em sistema de eletrodialise com reciclo do concentrado, cujos autores afirmam que com o aumento da concentração de NaCl na alimentação, o pH sofre pequenas variações, observando que o valor do pH tende a aumentar para o permeado e diminuir para o concentrado.

Como pode ser observado na Figura 12, verifica-se que o permeado da etapa sem reciclo apresentou os valores mais baixos de pH quando se aplicou pressão de 12,0 bar, evidenciando a influência da pressão na formação de ácido carbônico.

No entanto, em concordância com os autores citados anteriormente, para as duas pressões utilizadas, observa-se que nas operações com reciclo do concentrado os valores de pH do permeado foram quase sempre superiores àqueles das operações sem reciclo.

Figura 12 – Comportamento do pH em função do tempo para pressão de 12,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR)



### 4.3 COR

Os processos de filtração por membranas apresentam grande eficiência na remoção de coloides e partículas em suspensão que conferem cor à água, devido ao tamanho dos poros que impedem a passagem dessas substâncias. Isso pode ser evidenciado nas Figuras 13 a 14.

Com aplicação de pressão 10,0 bar (Figura 13) foi possível reduzir a cor da água de alimentação de 10,0 para 0,0 Unidade Hazen (uH) na corrente do permeado, enquanto que o concentrado apresentou valores de cor igual a alimentação, sendo observado em 60 minutos de batelada cor de 15,0 uH. Os valores não diferiram para os processos sem reciclo e com reciclo do concentrado.

Figura 13 – Comportamento da cor em função do tempo para pressão de 10,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR)

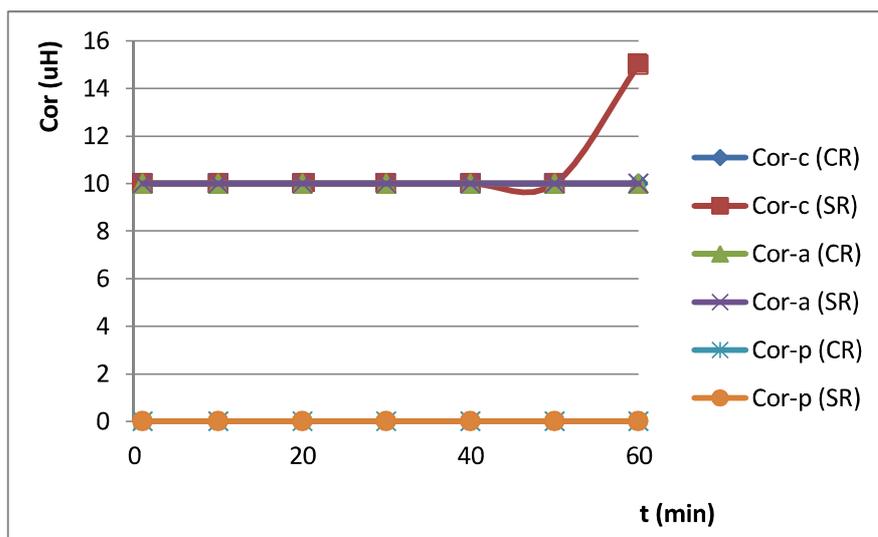
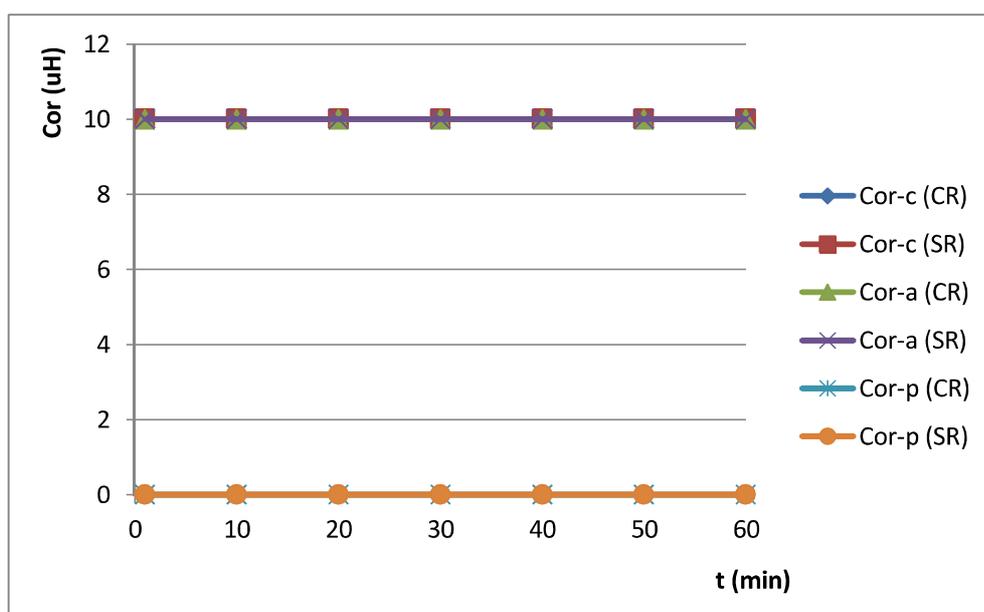


Figura 14 – Comportamento da cor em função do tempo para pressão de 12,0 bar nas correntes do concentrado (kc), alimentação (ka) e permeado (kp), com reciclo (CR) e sem reciclo (SR)



Porém, no experimento realizado com pressão de 12,0 bar, não se verificou aumento na cor do concentrado com relação à cor da alimentação em nenhuma das etapas.

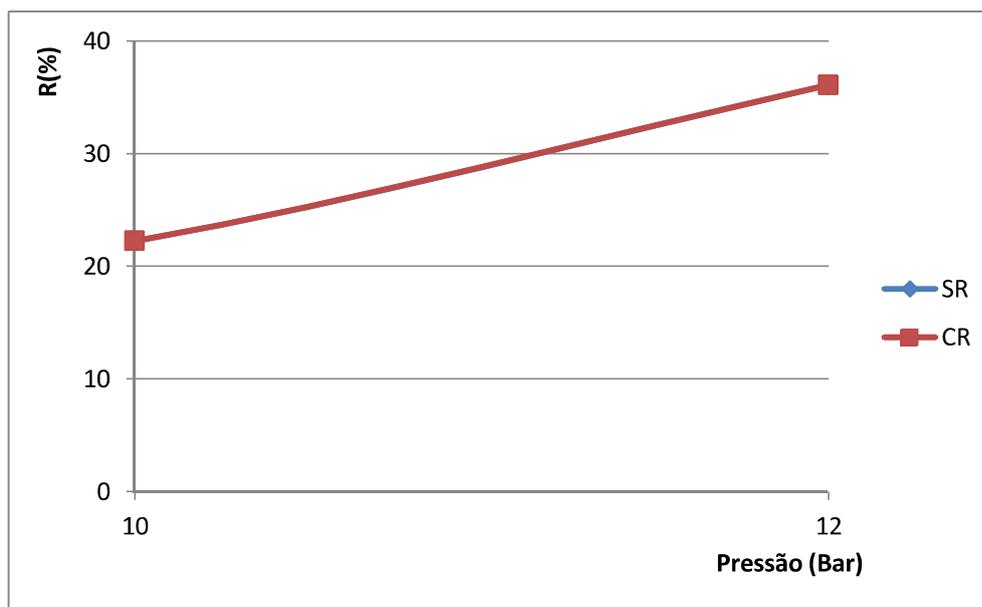
Ao contrário dos parâmetros condutividade e pH que se mostraram influenciados pela pressão de operação, foi observada remoção total da cor em todos os experimentos independente da pressão aplicada.

#### 4.4 Recuperação do sistema

Outro parâmetro que depende da pressão de operação é a recuperação do sistema, no entanto, como ressaltado por Alves (2011) também pode ser afetada por outros fatores, como a formação de incrustação na superfície das membranas, a pressão osmótica e a qualidade da água de alimentação do sistema.

A Figura 15 mostra o comportamento da recuperação (R%) do sistema fazendo uso e não do concentrado. De acordo com o perfil das curvas, o sistema de membranas para as duas situações, sem reciclo (SR) e com reciclo (CR), não mostrou diferenças significativas. Isso mostra que a quantidade de concentrado que é reciclado no processo não alterou a quantidade de sais na alimentação ao ponto de afetar a recuperação do sistema.

Figura 15 – Comportamento da recuperação em função da pressão nas duas etapas



Em ambas as etapas, a aplicação de pressão de 10,0 bar permitiu a conversão de 22% da água de alimentação em permeado, obtendo recuperação maior para pressão de 12,0 bar que foi de 36%.

## 5 CONCLUSÃO

Em ambos os processos de dessalinização empregados neste trabalho, sem reciclo do concentrado (SR) e com reciclo do concentrado (CR) foi verificada remoção quase total dos sais que tornava a água imprópria para o consumo humano.

Na 1ª. Etapa (SR) observou-se que a água da alimentação apresentou condutividade constante, porém, na 2ª. Etapa (CR) este parâmetro aumentou progressivamente, sendo influenciada pela concentração de sais que retornava à alimentação.

Nas correntes de concentrado, os valores de condutividade aumentaram a medida que o sistema era operado a uma pressão mais elevada, fato que está diretamente relacionado com a recuperação do sistema.

Também foi verificado neste trabalho que o pH na corrente do permeado na etapa SR se mostrou sempre inferior ao pH da alimentação, sendo mais evidente quando aplicada a maior pressão utilizada (12 bar), o que se deve a formação de ácido carbônico que é favorecida pelas altas pressões de operação. Porém, na etapa CR, o permeado apresentou valores de pH quase sempre superiores àqueles da etapa SR.

Ao contrário dos parâmetros condutividade e pH que se mostraram influenciados pela pressão de operação, foi observada remoção total da cor em todos os experimentos independente da pressão aplicada.

Com relação à recuperação do sistema, esta se mostrou semelhante nas etapas SR e CR, porém em ambos os processos a aplicação das pressões 10,0 bar e 12,0 bar promoveu a conversão de 22% e 36% da alimentação em permeado, respectivamente.

Sendo assim, o processo de dessalinização com reciclo do concentrado se mostrou eficiente para tratamento da água de abastecimento do LABDES, a qual ao longo desse trabalho, apresentou uma faixa de  $(1.115 \text{ a } 3.470)\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , possibilitando a redução do concentrado, o qual deve ter um destino adequado para não provocar impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, R. V.; ROCHA, P. D.; FARIAS, R. F. V.; LIMA, S. A.; FRANÇA, K. B. **Alface hidropônica cultivada com o concentrado da dessalinização como fonte alternativa para geração de renda no semiárido.** In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 2., 2015, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 2015.
- ALVES, R. V.; LIMA, S. A.; VENUTO, R. F.; ROCHA, P. D.; FRANÇA, K. B. **Alface hidropônica cultivada com o concentrado da dessalinização como fonte alternativa para geração de renda no semiárido.** In: Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 3., 2016, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Realiza Eventos, 2016.
- ALVES, R. V. **Monitoramento das Variáveis de Medida do Sistema de Abastecimento de Produção de Água Potável da Comunidade de Uruçu – Pb. 2011.** 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial). Universidade Estadual da Paraíba, 2011.
- APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21th ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º. 2.914, de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011.
- BUROS, O.K. **O ABC da Dessalinização.** Associação Internacional de Dessalinização (IDA), Massachusetts. 1990.
- DOW LATIN AMERICA, **A tecnologia de membrana de osmose reversa.** Boletim Técnico, 1996.
- FERREIRA, W. B. **Aproveitamento do Concentrado da dessalinização Via Osmose Inversa Para Desenvolvimento de Chlorella Sp e Chlorella Vulgaris Visando a Produção de Biocombustível.** Tese (Doutorado em Engenharia Química/UFCG), Campina Grande-PB, 2012.
- FILMTEC, **Filmtec reverse osmosis membranes technical manual.** Dow Chemical Company, 2008.
- FRANÇA, K.B. **Limpeza Química de Sistema de Dessalinização via OI.** Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande – PB, 2004.
- Fritzmann, C., Löwenber, J., Wintgens, T. e Melin, T. “State-of-the-art of reverse osmosis desalination”. Desalination, 2007.

GHIGGI, F. F. **Tratamento de águas para consumo doméstico com membranas de ultrafiltração.** 2011. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GUIMARÃES, J. **Rerrefino de óleos lubrificantes de motores de combustão interna pelo processo de ultrafiltração e adsorção.** 2006. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

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

LOPES, M. S. M. F. **Potencial de microalgas na redução da salinidade de águas salobras visando à produção de biomassa como fonte de energia.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

MOURA, J.P.; MONTEIRO, G.S.; SILVA, J.N; PINTO, F.A.; FRANÇA, K.P. **Aplicação do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino.** In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15. 2008, Natal. **Anais...** Natal: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008.

MULDER, M. **Basic principle of membrane technology.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht The Netherlands, 1997.

PERAZZO, G. M. **Saneamento urbano e qualidade das águas de pequenas obras hídricas na área de xingó.** 2007. 264 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civi). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

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

SILVA, J. I. S.; MELO, E. J.; FRANÇA, K. B. Obtenção de água para fins de análises através de um sistema composto por membranas eletrodialíticas e resinas trocadoras de íons. In: CONGRESSO QUÍMICO DO BRASIL, 1., 2010, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2010.

SILVA, S.K. **Sistema de Dessalinização da comunidade de Uruçu – São João do Cariri – PB: Análises, Monitoramento e Avaliação de um Misturador para o uso do Concentrado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFCG, Campina Grande – PB, 2008.

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

SOUSA, S.E.H. **Normalização de sistemas de dessalinização via osmose inversa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFCG, Campina Grande – PB, 2003.

VALE, M. B.; AZEVEDO, P. V. **Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador.** **Holos**, v. 3, p. 181-195, 2013.

# ANEXO



Product Data Sheet

## DOW FILMTEC™ Fiberglassed Elements for Light Industrial Systems

### Features

DOW FILMTEC™ brackish water reverse osmosis membrane elements provide consistent system performance in light industrial applications.

- DOW FILMTEC BW30-4040 is an industry standard for reliable operation and production of high quality water.
- DOW FILMTEC BW30-2540 elements are designed for systems smaller than 1 gpm (0.2 m<sup>3</sup>/h) offering a hard shell exterior for extra strength.

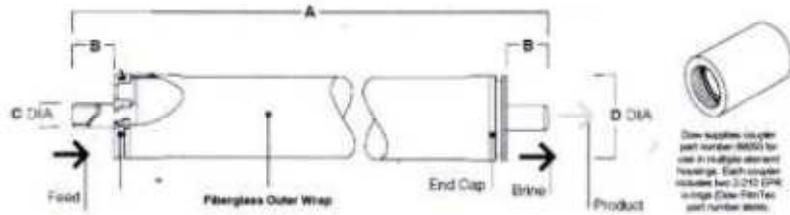
Elements with a hard shell exterior are recommended for systems with multiple-element housings containing three or more membranes, as they are designed to withstand higher pressure drops.

### Product Specifications

Product	Part Number	Feed Spacer Thickness (mil)	Permeate Flow Rate gpd (m <sup>3</sup> /d)	Stabilized Salt Rejection %
BW30-4040	80783	34	2,400 (9.1)	99.5
BW30-2540	80766	28	1,000 (3.8)	99.5

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 2,000 ppm NaCl and 225 psig (15.5 bar), pH 8, 77°F (25°C) and 15% recovery.
2. Minimum salt rejection is 98.0%.
3. Permeate flows for individual elements may vary +/-20%.

Figure 1



Dimensions – inches (mm)

1 inch = 25.4 mm

Product	A	B	C	D
BW30-4040	40.0 (1,016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
BW30-2540	40.0 (1,016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)

1. Refer to DOW FILMTEC™ Design Guidelines for multiple-element systems.
2. BW30-2540 elements fit nominal 2.5-inch I.D. pressure vessel. BW30-4040 elements fit nominal 4-inch I.D. pressure vessel.

### Operating Limits

Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
Maximum Operating Temperature <sup>a</sup>	113°F (45°C)
Maximum Operating Pressure	600 psi (41 bar)
Maximum Feed Flow Rate	
4040 Elements	16 gpm (3.6 m <sup>3</sup> /h)
2540 Elements	6 gpm (1.4 m <sup>3</sup> /h)
Maximum Pressure Drop	15 psig (1.0 bar)
pH Range, Continuous Operation <sup>b</sup>	2 - 11
pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.) <sup>b</sup>	1 - 13
Maximum Feed Silt Density Index (SDI)	SDI 5
Free Chlorine Tolerance <sup>c</sup>	< 0.1 ppm

- a. Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).
- b. Refer to Cleaning Guidelines in specification sheet 609-23010.
- c. Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, it is recommended that residual free chlorine be removed by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin 609-22010 for more information.

### Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled "Start-Up Sequence" (Form No. 609-02077) for more information.

### Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- Feed pressure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.
- Permeate obtained from first hour of operation should be discarded.

Please refer to the product technical manual.

### General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void. Refer to DOW FILMTEC™ Reverse Osmosis and Nanofiltration Element Three-Year Prorated Limited Warranty (Form No. 609-35010)
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements

- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 50 psi (3.4 bar)
- Avoid static permeate-side backpressure at all times.

**Regulatory Note**

These membranes may be subject to drinking water application restrictions in some countries; please check the application status before use and sale.

**Storage**

Refer to [609-02103](#) for further information.

**Product Stewardship**

Dow has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our product stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our product stewardship program rests with each and every individual involved with Dow products - from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

**For more information, contact Customer Information Group:**

North America: 1-800-447-4369  
 Latin America: +55-11-5184-8722  
 Europe, Africa, Middle East: +31-115-872-828  
 Asia Pacific: +86-21-3851-4888  
[www.dowwaterandprocess.com](http://www.dowwaterandprocess.com)

*Notice:* The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.

*Notice:* No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other government enactments. The product shown in this literature may not be available for sale and/or available in all geographies where Dow is represented. The claims made may not have been approved for use in all countries. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. References to "Dow" or the "Company" mean the Dow legal entity selling the products to Customer unless otherwise expressly noted. **NO WARRANTIES ARE GIVEN EXCEPT FOR ANY SPECIFIC WARRANTY SET FORTH HEREIN. ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**

