

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

MATHEUS BAÊTA COUTINHO

TÚLIA GOMES SARAIVA

**ESTUDO DE MÉTODOS PARA MANUTENÇÃO DAS MEMBRANAS DOS
SISTEMAS DE OSMOSE REVERSA DO HOSPITAL CARLOS MACIEIRA NO
MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS, MARANHÃO**

SÃO LUÍS

2016

MATHEUS BAÊTA COUTINHO

TÚLIA GOMES SARAIVA

**ESTUDO DE MÉTODOS PARA MANUTENÇÃO DAS MEMBRANAS DOS
SISTEMAS DE OSMOSE REVERSA DO HOSPITAL CARLOS MACIEIRA NO
MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS, MARANHÃO**

Trabalho de Contextualização e Integração Curricular I (TCIC I) do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia (BICT) apresentado como requisito parcial para Graduação em Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Orientador: Prof.Dr.*MAXWELL FERREIRA LOBATO*

São Luís

2016

RESUMO

Este trabalho inicia-se apresentando a necessidade de buscar novas alternativas de fonte de água potável, visto que este é um problema que está assustando a população mundial devido seu rápido crescimento. Com isso mostramos a alternativa da osmose reversa que tira através de membranas de ultrafiltração sais da água, tornando-a potável. Entretanto esta não é uma alternativa muito barata, sendo assim qualquer forma de baixar o custo, aumentando a sua eficiência é bem-vinda. Este trabalho teve como objetivo buscar, por meio de pesquisas bibliográficas, alternativas de limpeza e manutenção de membranas sistema de osmose reversa utilizado no tratamento da água oriunda de poços que abastecem o Hospital Carlos Macieira, em São Luís do Maranhão. A água tratada tem dois destinos: a alimentação em geral do hospital e a alimentação do sistema de tratamento para hemodiálise, dessa forma o nosso sistema funciona como um pré-tratamento para a água da hemodiálise. Por Investigação feita em Análise da água da fonte de alimentação, buscamos a incrustação que é possível de aparecer na superfície das membranas, e assim buscar formas de manutenção de acordo com o material depositado. Outro objetivo, não menos importante, é o de encontrar formas de pré-tratamento, buscando a redução da formação das incrustações.

Após a análise da água de alimentação do sistema do Hospital Carlos Macieira, foi identificado, baseado em estudos feitos por Oliveira (2007), que a limpeza recomendada é a combinação de 24 horas da membrana em contato com solução ácida e 24 horas em contato com solução alcalina à temperatura de 40°C.

Palavras chaves: osmose reversa, limpeza de membranas, Hospital Carlos Macieira.

ABSTRACT

This work is presented as a need to seek new alternatives to drinking water source, since this is a problem that is scaring a world population due to its rapid growth. With this we show an alternative of the reverse osmosis that draws by membranes of ultrafiltration of water, making it drinkable. However, it is not very cheap alternative, thus being form of low cost, increasing its efficiency is welcome. The objective of this work was to search for alternatives to cleaning and maintenance of membranes reverse osmosis system used in the treatment of water from wells that supply the carlos macieira hospital, in são luís do maranhão. Treated water has two destinations: general hospital feeding and a treatment system for hemodialysis, our system works as a health treatment for hemodialysis. By investigation in analysis of the water of the power supply, we look for an incrustation that is possible to appear in the surface of the membranes, and to assimilate forms of maintenance according to the deposited material. Another objective, not least, is to find ways of pretreatment, seeking reduction of scale formation.

After a water analysis of the feeding system of the carlos macieira hospital, it was identified, based on studies done by oliveira (2007), which is recommended for a combination of 24 hours of the membrane in contact with the solution and 24 hours in contact with solution alkaline at 40 ° c.

Key words: reverse osmosis, membrane cleaning, hospital carlos macieira.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Objetivos	2
2.1	Geral	2
2.2	Específicos.....	2
3	Metodologia.....	2
4	Referencial Teórico	3
4.1	Importância da limpeza da água.....	3
4.2	Osmose reversa	5
4.3	Membranas	5
4.4	Polarização de concentração	5
4.5	Incrustação	5
4.6	Pré-tratamento	5
4.7	Limpeza de membranas	5
4.7.1	Procedimentos de limpeza	5
4.7.2	Parâmetros do processo.....	7
5	Resultados	15
6	Conclusão e sugestões	19
6.1	Conclusão.....	5
6.2	Sugestões.....	7
7	Bibliografia.....	20

1. Introdução

O consumo de água aumentou seis vezes no século XX, ou seja, o dobro da taxa do crescimento demográfico do planeta, segundo pesquisa da Redação Almanaque Abril (2008). Relacionando isto ao fato da água ser uma matéria prima finita e não renovável que necessita de condições mínimas para o consumo, tornou-se necessário buscar formas de tratamentos, a fim de otimizar o seu uso.

Segundo VON SPERLING (2005) a qualidade da água existente é resultado de fenômenos da natureza e da atividade humana. Em outras palavras, pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água é função das condições naturais, afetada pelo escoamento superficial e pela infiltração no solo resultante da precipitação atmosférica, além da interferência humana que por meio de dejetos domésticos ou industriais e aplicação de defensivos na área agrícola, contribui massivamente na alteração da composição do solo, que por sua vez afeta diretamente as condições naturais da água ali presente.

Uma forma alternativa de utilização, tratamento e recuperação dos recursos hídricos, que vêm ganhando espaço como técnica viável e segura é o processo de separação por membranas. Esse processo utiliza uma membrana para promover a separação, entre concentrado e permeado. As propriedades das membranas são de fundamental importância para as suas aplicações, como o fluxo de permeado e a seletividade da membrana em relação a determinados componentes presentes na água de alimentação do sistema de osmose ~~inversa~~ reversa, por exemplo, que se destaca principalmente para o tratamento de águas e reuso de efluentes líquidos.

No decorrer do processo de separação por osmose reversa ~~inversa~~, observa-se uma queda da permeabilidade ao longo do tempo, que pode ocorrer devido a mudanças na morfologia da membrana pela pressão aplicada, à polarização de concentração ou à formação de incrustações. A formação das incrustações aumenta os gastos operacionais, pois gera uma maior demanda de energia devido o aumento da pressão de operação, aumenta a frequência das limpezas químicas e reduz significativamente o tempo de vida útil das membranas. (OLIVEIRA, 2007, p. 02)

A ocorrência de incrustações é, praticamente, inevitável, mas pode ser minimizado pela escolha dos pré-tratamentos adequados, pelo correto dimensionamento da planta e pela melhor seleção das condições de operação do

sistema. A composição destas incrustações depende da qualidade da água de alimentação, sendo assim, o estudo do tipo de cada incrustação é o que determina o tipo de limpeza que deve ser realizado. (HABERT et al., 2005 apud COSTA,2009, p. 12).

2. Objetivos

2.1. Geral

Verificar o método mais adequado para limpeza de membranas de sistemas de osmose reversa utilizada no tratamento da água da fonte que abastece o Hospital Carlos Macieira, em São Luís do Maranhão, levando em consideração os aspectos financeiros e de eficiência.

2.2. Específicos

- Revisar material bibliográfico sobre sistema de osmose reversa e seus métodos de limpeza.
- Analisar os diferentes métodos de limpeza para cada tipo de incrustação.
- Analisar a importância da limpeza para o controle de parâmetros de avaliação do desempenho do sistema.

3. Metodologia

A metodologia utilizada nesse trabalho foi uma revisão bibliográfica para se estabelecer condições de estudo. A bibliografia foi consultada em sites acadêmicos como Google Acadêmico, além de obras relacionadas ao assunto. No sistema de buscas online foram utilizadas palavras chaves como: “membrana”, “osmose reversa”, “microfiltração”, “qualidade da água”.

Na seleção dos materiais mais indicados para a pesquisa, fez-se inicialmente a certificação da confiabilidade das fontes para que o presente trabalho tenha maior respaldo.

4. Referencial Teórico

4.1. Importância da limpeza da água

A água potável é um recurso finito que se espalha em partes desiguais pela superfície terrestre e se, por um lado, o ciclo natural é responsável pela sua manutenção tornando-a um recurso renovável, por outro, suas reservas são limitadas. A quantidade de água doce produzida pelo seu ciclo natural é hoje basicamente a mesma que em 1950 e que deverá permanecer inalterada até 2050 (OLIC, 2002). Essencial para a vida, a água doce tornou-se um problema em todos os continentes, levando a ONU (Organização das Nações Unidas) a criar em 2004 o Dia Mundial da Água - 22 de março. Preocupar-se com a escassez de água em um planeta que tem 75% de sua superfície coberta por água parece absurdo. No entanto 97,4% de toda a água é água salgada e está presente nos mares e oceanos - imprópria para o consumo humano e para a produção de alimentos. A doce, portanto, não chega a 3% e apenas um terço - presente nos rios, lagos, lençóis freáticos superficiais e atmosfera - é acessível, o restante está concentrado em geleiras, calotas polares e lençóis freáticos profundos (OLIC, 2002).

As informações acima podem ser mais bem observadas na Tabela 1, que apresenta a distribuição de água no planeta terra.

Tabela 1 – distribuição da água no planeta terra

Local	Volume (km ³)	Percentual do total (%)
Oceanos	1.370.000	97,61
Calotas polares e geleiras	29.000	2,08
Água subterrânea	4.000	0,29
Água doce de lagos	125	0,009

Água salgada de lagos	104	0,008
Água misturada no solo	67	0,005
Rios	1,2	0,00009
Vapor d'água na atmosfera	14	0,0009
Fonte: R.G. Wetzel, 1983.		

A água é um dos elementos que possibilita a vida no planeta e para que possa ser consumida sem apresentar riscos à saúde—tem que ser tratada, limpa e descontaminada.

De acordo com o último relatório elaborado pela Unicef em conjunto com a Organização Mundial da Saúde (OMS), entre 1990 e 2010, o número de pessoas que começaram a ter condições de acessar água com melhores índices de qualidade foi de dois bilhões. De acordo com Eduardo Donato, Gestor da Área de Water Technologies da Beraca, ainda há mais para se fazer: “[...] o desenvolvimento é um processo e não deve parar quando temos ações de sucesso. Com certeza podemos ter cenários mais promissores ainda”.

Para além das questões do consumo consciente, é importante salientar também as benfeitorias que um tratamento adequado traz para a saúde da população. Para se ter uma ideia, de acordo com a própria OMS, para cada R\$ 1,00 investido em saneamento básico são economizados R\$ 4,00 na saúde pública. No Brasil, uma das estratégias para o avanço da qualidade tem sido a parceria entre as administrações públicas e as empresas privadas. (ZIMMERMANN, 2011)

Produzir água potável não é uma tarefa fácil. Requer alto investimento para construir estações de tratamento e comprar os insumos necessários para purificá-la. A qualidade da água tratada depende da sua finalidade. É de vital importância para a saúde pública que a comunidade conte com um abastecimento seguro que satisfaça as necessidades domésticas tais como o consumo, a preparação (doméstica) de alimentos e a higiene pessoal. Para alcançar este propósito devem ser cumpridas uma série de normas de qualidade (física, química e microbiológica), de tal maneira que a água esteja livre de organismos capazes de originar enfermidades e de qualquer

mineral ou substância orgânica que possa prejudicar a saúde. O tratamento de Água é um conjunto de procedimentos físicos e químicos que são aplicados na água para que esta fique em condições adequadas para o consumo, ou seja, para que a água se torne potável. O processo de tratamento de água a livra de qualquer tipo de contaminação, evitando a transmissão de doenças. (CORSAN,2010)

Pensando em uma forma alternativa de onde tirar água própria para o consumo, surge a osmose reversa, que no caso a ideia é usar uma membrana como um filtro extremamente fino para transformar a água salgada (ou contaminada) em água potável. A água salgada é colocada de um lado da membrana e uma pressão é aplicada para parar e depois reverter a pressão osmótica. Geralmente é necessário aplicar uma pressão muito grande e o processo é delicado e assim precisa de um intenso acompanhamento, mas funciona. (OLIVEIRA, 2007)

4.2. Osmose Reversa

Antes de se tratar de osmose reversa, deve-se conhecer um pouco sobre a osmose. Este é nome de um processo natural espontâneo, que é dado ao movimento de uma substância em dois meios de concentrações diferentes, com objetivo de separar a concentração em ambos os meios igualmente. Já a osmose reversa, se difere, pois, por meio de uma pressão externa maior que a pressão osmótica, empurra a solução a passar pela membrana, separando o meio de alta concentração, da de baixa concentração.

Segundo Marcon (2002, p.71), a osmose reversa é um dos processos de separação por membranas, utilizado quando se deseja reter solutos de baixa massa molar, tais como sais inorgânicos. Tais membranas são densas barreiras seletivas que tem como objetivo, a separação de uma corrente de alimentação em duas fases fluidas, o permeado, o concentrado e um sistema de escoamento tangencial. Este mecanismo de separação é conhecido como solução difusão, e ocorre devido á diferença de afinidade entre as substâncias de alimentação e o material de formação da membrana. (OLIVEIRA, 2007, apud TESSARO, 2012, p.02).

Podemos ver a representação na seguinte Figura 1.

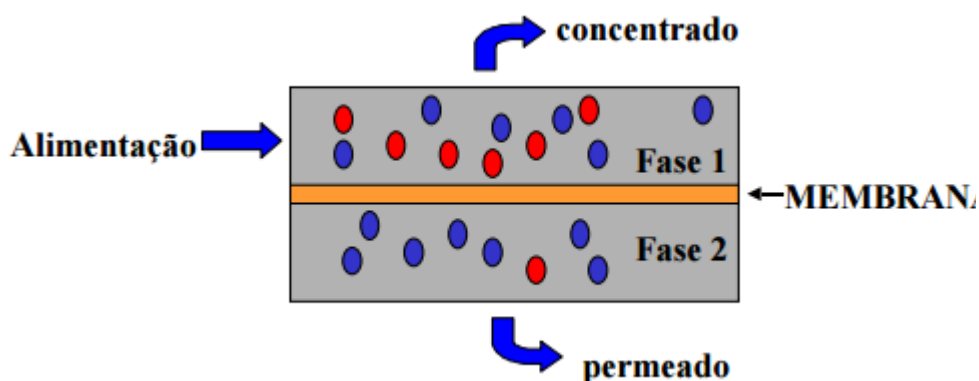


FIGURA1 – Representação esquemática do fracionamento de uma solução utilizando permeação seletiva através de uma membrana

Fonte: Oliveira 2007

A separação por membranas pode ocorrer pelo mecanismo de sorção-difusão, ou seja, as membranas são consideradas densas, com isso, o transporte dos permeantes ocorre por processos difusivos através dos espaços intersticiais (volume livre) do material que forma a membrana. Outra forma em que pode ocorrer, é por exclusão devido à diferença de tamanho entre as partículas ou moléculas. Neste caso as membranas são consideradas porosas e o transporte ocorre preferencialmente através dos poros, ocorrendo o mecanismo de transporte convectivo, e com isso, a utilização de determinada membrana sujeita-se da sua morfologia e do material que a constitui. (OLIVEIRA, 2007)

A osmose reversa é utilizada para reter solutos de baixa massa molar, tais como sais inorgânicos dissolvidos e pequenas moléculas orgânicas (glicose, por exemplo). Quando as membranas apresentam características intermediárias entre as membranas porosas utilizadas em ultrafiltração (UF) e as membranas densas empregadas em pervaporação e permeação de gases, são denominadas como membranas de Nanofiltração.(OLIVEIRA, 2007 apud CARVALHO et al., 2001).

A osmose reversa, em relação a remoção dos íons dissolvidos, é classificada de acordo com a pressão utilizada. Temos: Osmose reversa de alta pressão trabalha entre 56 a 105 bar, utilizada para altas rejeições de solutos inorgânicos; Osmose

Reversa de baixa pressão que usa entre 14 a 42 bar, utilizado para rejeições moderadas a orgânicos de baixa massa molar, e osmose inversa aberta que usa pressão de 3 a 14 bar. (OLIVEIRA, 2007)

A Osmose Reversa é analisada em três termos, a permeabilidade, a seletividade e a recuperação (OLIVEIRA, 2007, apud TESSARO–2012, p.03). A especificação das membranas é relacionada ao fluxo permeado pela equação:

$$J = Lp(\Delta p - \Delta\pi) \quad (1)$$

Sendo J o Fluxo permeado, Lp a permeabilidade hidráulica, Δp e $\Delta\pi$ a diferença de pressão entre os lados da membrana e diferença de pressão osmótica entre os lados da membrana respectivamente.

A seletividade é examinada através da rejeição ao soluto R(%) apresentada pela equação:

$$R(\%) = \left[\frac{c_o - c_p}{c_o} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

Sendo Co representa a concentração do soluto na alimentação e Cp representa a concentração no permeado.

A recuperação é avaliada pela razão entre a vazão de permeado e a vazão de alimentação.

$$\text{Recuperação}(\%) = \left(\frac{Q_p}{Q_a} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Sendo Qp a vazão de permeado e Qa a vazão de alimentação.

4.3. Membranas

As membranas são utilizadas em uma das técnicas mais conhecidas para tratamentos de filtração e separação de substâncias, no entanto, existem tipos específicos que são indicadas para usos e situações determinadas, a fim de aumentar sua capacidade de filtração. Entre as membranas comercializadas no mercado existe a chamada de “osmose reversa”, também conhecida “osmose inversa”, que são

produtos desenvolvidos para tratamento de água com o objetivo de remover os sais dissolvidos no meio líquido.

As membranas de osmose reversa são feitas em sua maioria de acetato de celulose ou poliamida. A membrana propriamente dita é um composto de película fina “*thin film composite*” semelhante a uma folha de papel composta de três camadas, sendo uma camada suporte de poliéster, uma camada intermediária de polisulfona e uma camada ativa de poliamida. Para que possa operar convenientemente é enrolada em espiral e protegida por um encapsulamento de fibra de vidro. Semipermeáveis, as membranas de osmose reversa permitem somente a passagem da água, e não do soluto (sais dissolvidos). Geralmente, são aplicadas quando é necessária a redução dos TDS (sólidos dissolvidos totais), ou seja, quando é preciso remover os compostos salinos que estão dissolvidos. (FARRUGIA, 2013)

O esquema da membrana de osmose reversa pode ser observado na Figura 2

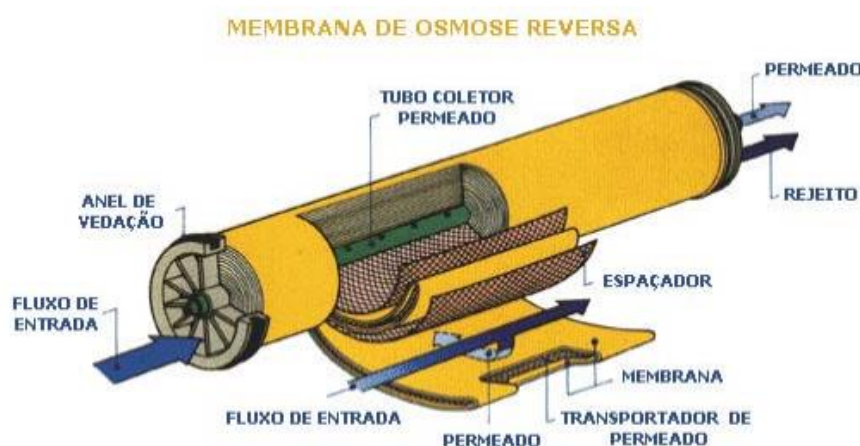


Figura 2 – Esquema de membrana de osmose inversa

Fonte: FARRUGIA, 2013

As membranas são aplicadas onde se deseja obter um produto (água tratada) com menor conteúdo de sais a partir de água com maior conteúdo salino (água alimentação). A osmose reversa, como o seu nome indica, é o processo inverso ao da osmose natural, e acontece quando duas soluções com diferente concentração de sais são separadas por uma membrana que permite a passagem de água, mas não retém as partículas de sal. Dessa forma, a água passa da solução mais diluída para a solução mais concentrada. (FARRUGIA, 2013)

Na osmose reversa, mediante a aplicação de pressão, é possível concentrar ainda mais a solução com maior quantidade de sais, produzindo água com baixa

concentração de sais dissolvidos. No processo industrial, o que se gera é uma corrente de água de boa qualidade, com baixa concentração de sais (baixa condutividade) e uma corrente de rejeito de menor vazão com alta condutividade. No mercado, existem dois tipos de membranas de osmose reversa para uso industrial. Uma é feita de acetato de celulose, resiste a produtos oxidantes e é utilizada na presença de cloro. A outra é fabricada de poliamida, mas apesar de ser resistente a uma faixa maior de pH, não resiste a oxidantes, como cloro. (FARRUGIA, 2013)

As membranas de osmose reversa possuem poros minúsculos, pelos quais atravessam apenas pequenas moléculas. Com diâmetro de $>0,002$ e força motriz entre 10-80 bar, as membranas de osmose reversa têm a capacidade de reter até íons e, por isso, são muito recomendadas para produzir água para processos indústrias (caldeiras, torres de resfriamento); água potável (remoção de contaminantes como arsênico, metais pesados, dureza, etc); água desmineralizada para formulação de bebidas; água ultrapura para geração de energia elétrica; água para irrigação e agricultura/pecuária; água reutilizável a partir de efluentes tratados; água para extração de metais (indústria de mineração). (FARRUGIA, 2013)

As membranas de osmose reversa são consideradas as mais restritivas para filtração, com uma eficiência da ordem de 99,7% para cloreto de sódio, por exemplo. Devido à sua capacidade de retenção, a osmose reversa se encaixa na classificação de “membranas densas”. (FARRUGIA, 2013)

Tabela 2-

Densas	Porosas
Separam substâncias dependendo do coeficiente de solubilidade e difusão do solvente e soluto. O diâmetro do poro não é usado como medida	Separam partículas por tamanho, dependendo do diâmetro do poro
Osmose reversa e nanofiltração	Microfiltração e ultrafiltração

Fonte: Farrugia, 2013

As membranas de osmose reversa, no entanto, são consideradas mais “densas” que as de nanofiltração, às quais, em um ranking, por exemplo, ficariam no patamar intermediário, de transição, entre as membranas “densas” e “porosas”. As principais vantagens da osmose reversa são a redução do consumo de produtos químicos e a menor área de implantação se comparado, por exemplo, com os processos de troca iônica. Segundo a engenheira Victoria Vasini, “os sistemas de

osmose reversa são sistemas totalmente automáticos e robustos, que permitem produzir água de ótima qualidade sem muita mão de obra. O custo operacional é baixo, especialmente para água de poços e superficiais para sistemas acima de 10 m³/hr”. Ela também destacou que, como os sistemas são modulares, eles podem ser dimensionados para vazões desde 1.000 litros/hora até milhões de litros por hora. (FARRUGIA, 2013)

As principais vantagens do uso de membranas de osmose reversa são: operação contínua (não necessita parada diária para regeneração/limpeza), baixa demanda de mão de obra operacional dedicada, baixa geração de efluentes e baixo consumo de químicos. Como desvantagens existe: maior consumo de energia elétrica e geração de corrente de rejeito. Engenheiros da área alertam para dois pontos críticos na incorporação do equipamento:

1) O pré-tratamento. Ele tem que ser adequado para o processo de osmose reversa. Como a membrana (que é uma série de lâminas enroladas num tubo que coleta a água permeada) é propensa a entupir com partículas, elas têm de ser removidas totalmente antes de ingressar. “Portanto é necessária uma boa filtração para remover esses sólidos suspensos. Dependendo da origem da água, pode ser tão simples como um filtro de cartucho de 5 micra, ou tão robusta como um sistema de ultrafiltração”, explicou a especialista.

2) A composição química da água. Dado que o processo envolve a concentração de sais, é possível que eles atinjam o seu ponto de saturação, com a subsequente precipitação. Se ocorresse a precipitação de sais na membrana, ela se entupiria e seria necessária uma limpeza química. “Então, é importante o uso de produtos anti-incrustantes / dispersantes de boa qualidade e uma boa definição da máxima recuperação que é possível atingir para evitar a precipitação de sais. Isso porque a maior recuperação (relação entre a vazão de água permeada e vazão de rejeito), maior concentração de sais no rejeito, e maior risco de entupimento”, disse a engenheira. (FARRUGIA, 2013)

4.4. Polarização de concentração

Igual os demais processos de filtração, o processo de separação de membranas também sofre de polarização de concentração. Isto ocorre devido as membranas serem semipermeáveis, e com isso, permitem a passagem de um ou mais componentes em detrimento de outros, fazendo com que a concentração de soluto na superfície da membrana, seja diferente daquela do seio do fluido (ALVES, 2006).

Como consequência disto, vários aspectos negativos são ocasionados, dentre estes estão a diminuição do fluxo transmembrana e alterações nas características do permeado (ALVES, 2006). Os principais são:

Os possíveis efeitos negativos da polarização por concentração são:

- decréscimo do fluxo de permeado devido ao aumento na pressão osmótica na superfície da membrana,
- aumento da passagem de soluto através da membrana,
- precipitação de soluto se a concentração exceder o limite de solubilidade do sal,
- favorecimento de incrustações por deposição. (OLIVEIRA, 2007)

Ainda que a polarização de concentração seja reversível, a sua ocorrência pode ocasionar a outros fatores que prejudicam o desempenho da membrana, como incrustações por deposição, incrustações por precipitação e bioincrustações. (OLIVEIRA, 2007)

4.5. Incrustação

Durante operação normal, por um período prolongado de tempo, membranas de osmose reversa são sujeitas à incrustação, ou “foulings”, por material suspenso ou solúvel presente na água de alimentação. Exemplos comuns de incrustações são carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, óxidos de metais, sílica, e depósitos orgânicos ou biológicos (FRISCHKORN, 2008). A formação das incrustações aumenta os custos operacionais, pois gera uma maior demanda de energia (pelo aumento da pressão de operação), diminui os intervalos entre as limpezas químicas e reduz significativamente o tempo de vida útil das membranas (OLIVEIRA, 2007 apud SEIDEL e ELIMELECH, 2002).

A retirada de incrustações é feita pela limpeza e lavagem rápida e mudança das condições de operação. Orienta-se tratar de incrustações quando qualquer uma das seguintes condições ocorre (FRISCHKORN, 2008; FILMTEC MEMBRANES, 1993):

- A vazão do permeado tem diminuído de 10-15% abaixo da vazão normal;
- A pressão da água de alimentação tem aumentado 10-15% para manter a vazão da água do permeado;
- A qualidade da água do permeado tem diminuído 10-15%; a passagem de sal tem aumentado 10-15%;
- O diferencial de pressão através de um estágio de osmose reversa tem aumentado.

Existem diferentes tipos de incrustações em membranas que dependem dos mecanismos de formação e das características do material depositado na membrana, e as de maior frequência são:

- Incrustação externa: Decorre da precipitação de compostos solúveis presentes na alimentação. Pode ser controlada pela fluidodinâmica do processo.
- Incrustação interna: Ocorre por interações físico-químicas entre o soluto e a membrana. Diferente da externa, não pode ser revertido por manobras na fluidodinâmica. Ocasiona bloqueio total ou parcial dos poros da membrana. (ALVES 2006)
- Bioincrustação: Ocorrem em razão do acúmulo de material orgânico na superfície da membrana, incluindo fragmentos celulares, substância polimérica extracelular e microrganismos, resultando na formação de biofilmes, células microbianas e colônias introduzidas em um gel de um polissacarídeo cuja estrutura e composição são função da idade do biofilme e das condições ambientais, estes que aumentam a resistência ao transporte, reduzindo o fluxo permeado ou levando a necessidade de maior consumo de energia pelo aumento da pressão de operação. . (OLIVEIRA, 2007 apud BAKER e DUDLEY 1998; CAMMAROTA, 1998).

- Incrustação orgânico e inorgânica: A deposição de sólidos suspensos, como: colóides, orgânicos, produtos de corrosão, hidróxido de ferro, algas e materiais particulados finos. Estes podem causar entupimento do canal de alimentação dos módulos de membrana. (OLIVEIRA, 2007 apud HABERT et al., 2005). Como principais agentes causadores dos orgânicos (ALVES 2006), temos:

- Orgânicos:

- Coloidal: taninos, ácidos húmicos e fúlvicos, proteínas

- Não-Coloidal: óleos, polissacarídeos, polímeros

- Inorgânico:

- Óxidos metálicos: Fe, Mg, Al, Mn

- Coloidal: argilominerais, sílica coloidal, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$

- Incrustante: SrSO_4 , NaCl , SiO_2 , BaSO_4 , CaF_2 , CaCO_3 , CaSO_4

4.6. Pré-tratamento

Pré-tratamento, é o nome dado ao processo com objetivo de fazer com que a corrente de alimentação não contenha quantidades significativas de sólidos suspenso ou espécies que possam precipitar na superfície da membrana, ou seja, procedimentos que antecipam a geração de problemas para o sistema de osmose reversa. Para melhor desempenho, deve-se trabalhar nos seguintes favores do pré-tratamento, remoção dos sólidos suspensos; remoção dos oxidantes e prevenir as precipitações na superfície das membranas (OLIVEIRA, 2007). Algumas estratégias de pré-tratamento são mostradas na tabela a seguir:

TABELA 3 - Estratégias de pré-tratamento

Estratégia	ações
Aumentar a solubilidade	Controle de pH, temperatura e adição de complexantes
Retardar a precipitação	Uso de anti-incrustantes
Remover íons de baixa solubilidade	Abrandadores
Remoção de sólidos suspensos	Filtros, centrífugas/decantadores, precipitação, sedimentação, floculação
Remoção de solventes orgânicos	Destilação
Controle dos microrganismos	Pausterização, esterilização e tratamento químico.
Remoção de sólidos orgânicos dissolvidos	Nanofiltração e Ultrafiltração (remoção de ácidos húmicos ou fases orgânicas emulsionadas)

Fonte: OLIVEIRA, 2007; WAGNER, 2001

O número de material que pode precipitar na superfície da membrana é extenso, e estes estão relacionadas com a qualidade da alimentação do sistema, por conta que o material incrustante é resultado da concentração e retenção dos constituintes do seio da alimentação. Na tabela a seguir segue os principais parâmetros físico-químicos na análise da fonte de alimentação:

Tabela 4

Temperaturas máxima e mínima (°C)	
pH	
Condutividade (µS/cm)	
Concentração de íons (mg/L):	
Cátions	Ânions
Na ⁺	Cl ⁻
K ⁺	SO ₄ ²⁻
Ca ²⁺	NO ₃ ⁻
Mg ²⁺	PO ₄ ³⁻
NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻
Fe ²⁺	F ⁻
Mn ⁴⁺	CO ₃ ²⁻
Sr ²⁺	
SiO ₂ (mg/L)	
CO ₂ livre (mg/L)	
O ₂ livre (mg/L)	
Cloro livre (mg/L)	
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	

Fonte: Oliveira, 2007

Outro ocasionante de incrustação é a proliferação dos microrganismos nos biofilmes nas superfícies da membrana, que, junto com o citado anteriormente, são os principais causadores da queda de eficiência nas membranas. Em razão disto, os seguintes procedimentos são utilizados para controlar tais fatores:

- Tratamento físico e/ou químico para remoção ou estabilização de particulados e/ou íons;
- Aumento da periodicidade nas limpezas das membranas;
- Desenvolvimento de membranas com menor potencial de incrustação através da modificação das propriedades físico-químicas de sua superfície;
- Aplicação de biocidas. (OLIVEIRA, 2007)

Em razão dos mecanismos de incrustação, existe uma gama de pré-tratamentos, incluindo: filtração dupla ou simples; abrandamento e/ou troca iônica; microfiltração; filtros de carbono ativado; ajuste de pH etc. Ressaltando que nenhum deles acabará com as incrustações nas membranas, no entanto, uma combinação dos métodos auxilia para melhor desempenho e produtividade da membrana. Na prevenção e o controle da formação de bioincrustações, deve-se reduzir a concentração dos microrganismos presentes na corrente de alimentação e/ou redução da concentração dos seus nutrientes, por meio do pré-tratamento, ou através de um programa de limpeza das membranas. (OLIVEIRA, 2007)

Na Tabela 5 tem-se os principais incrustantes da Osmose Reversa e algumas técnicas de prevenção.

Tabela 5 - Principais tipos de incrustantes e seus pré-tratamentos.

Tipos de Incrustantes	Pré-tratamentos
Substâncias inorgânicas solúveis	- Troca iônica - Adição de ácido - Adição de agentes quelantes- Adição de base/filtração ou sedimentação
Substâncias orgânicas (ácidos húmico e fúlvico)	- Ultrafiltração e Microfiltração - Coagulação/sedimentação
Colóides (silica, hidróxidos, óxidos)	- Adição de hidróxidos de Fe(III), Al(III) e Si(IV) - Ultrafiltração e Microfiltração
Bactérias, algas e fungos	- Filtração - Surfactantes - Cloração

Fonte: Oliveira, 2007

4.7. Limpeza de membranas

É importante que as membranas devem passar por um procedimento de limpeza periodicamente, com objetivo de retirar os sais precipitados e dos sólidos depositados nas suas superfícies. Neste procedimento, deve-se analisar as características do efluente a ser processado e o material constituinte da membrana, para considerar os produtos de limpeza mais adequados. De acordo com o composto que se deposita sobre a membrana, esta deve ser submetida a uma limpeza com uma solução ácida (por exemplo, quando o sal depositado é o CaCO_3) ou com uma

solução básica (por exemplo, quando a alimentação contém sílica) (OLIVEIRA, 2007 apud RAUTENBACH E ALBRECHT, 1989).

Inicialmente, deve-se buscar a análise físico-química da alimentação e do concentrado, assim como a inspeção visual da superfície da membrana utilizada, após sua utilização no processo de OI. Com isso, fica mais fácil escolher o produto de limpeza mais adequado para remoção das incrustações presentes. A limpeza adotada é considerada eficiente quando o fluxo do permeado atinge um valor próximo ao seu valor no início do processo de separação (OLIVEIRA et al 2007).

Segundo OLIVEIRA et al (2007), a base mais comumente empregada para a limpeza das membranas é o NaOH, sendo que o ácido cítrico é o ácido mais utilizado, uma vez que ele também é capaz de atuar como agente quelante.

Segundo material publicado pela FLUID BRASIL em 2009 pela CARGILL UBERLÂNDIA, existem diversas soluções químicas indicadas para a limpeza das membranas. O tipo de solução química a ser utilizada dependerá do tipo de incrustação presente:

- Ácido cítrico (2,0%) em peso (pH > 2) - esta solução é indicada para efluentes com teor predominante de sais de metais alcalino-ferrosos, tais como CaCO_3 , SrCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2$, etc.
- Ácido fosfórico (0,5%) em peso (pH > 2) - esta solução é indicada para sais de metais alcalino-ferrosos (cálcio, estrôncio e bário), acompanhados de óxidos de metais de transição (ferro, manganês)
- Solução alcalina (0,1% NaOH) em peso. Esta solução é indicada para limpeza de resíduos orgânicos (Biofilmes) e alguns coloides inorgânicos (óxidos completos, silicatos).

4.7. 1 Procedimento de Limpeza Química

O procedimento de limpeza química consiste de seis passos:

1. Preparar a solução de limpeza química

2. Bombeamento de baixa vazão: Inserir a solução de limpeza química nos vasos de pressão a baixa vazão e pressão, de modo a deslocar a água de processo que se encontra nos vasos. Usar pressão suficiente apenas para vencer a perda de carga entre alimentação e rejeito, sendo ela pequeno o suficiente para que nenhum ou pouco permeado seja produzido. Enquanto fizer o deslocamento da água de processo deve-se descartá-la para não diluir a solução de limpeza química.
3. Recirculação: Após o deslocamento da água de processo a solução de limpeza estará presente na corrente de concentrado. Ligar as correntes de permeado e concentrado ao tanque de limpeza química e recircular a solução até estabilizar a temperatura. Medir o pH da solução e ajustá-lo caso seja necessário.
4. Molho: Desligar a bomba de limpeza química e deixar as membranas de “molho”. Normalmente um período de 1 hora é o suficiente. Para fouling difíceis de serem removidos períodos maiores são benéficos, deixando as membranas de “molho” no período da noite por 10-15 horas. Para manter a temperatura quando o tempo de “molho” for elevado, utilizar uma vazão de recirculação bem baixa.
5. Bombeamento de alta vazão: Recircular a solução de limpeza química com os valores mostrados na tabela 2 por 30-60 minutos. A alta vazão remove o fouling que foi dissolvido da superfície da membrana pela limpeza. Em limpezas com vazões elevadas a perda de carga pode ser um problema, sendo os valores máximos de perda de carga permitidos durante a limpeza de 3,5 bar.
6. Flush out: remover a solução de limpeza química do sistema realizando um flush com água permeada. A água que normalmente é utilizada na alimentação do sistema OR pode ser utilizada para remover a solução de limpeza, entretanto há risco de precipitação do químico e/ou fouling.

4.7.2 Parâmetros de processos

A eficiência do processo depende de parâmetros operacionais, das características da membrana e da água de alimentação (MALAEB e AYOUB, 2011).

Mohammadi *et al* (2002) investigaram o efeito de diferentes fatores hidrodinâmicos na performance da osmose reversa, para dessalinização. Observou-se que o aumento da temperatura contribui para o aumento da velocidade transmembrana, da pressão e do fluxo do permeado. No entanto, as inscruações na membrana também aumentam. Para as maiores velocidades através das membranas, os valores otimizados correspondentes foram: temperatura de 35°C, pressão de 13 bar e pH menor que 5 ou maior que 7.

Ao avaliar a influência do pH na variação do fluxo de permeado, Vargas (2003) verificou que ele atua de forma diferente na retenção de partículas, dependendo das soluções e sua solubilidade. Em relação à temperatura, observou-se que 40°C compromete a qualidade do permeado, diminuindo a retenção de partículas em 8%. E com temperaturas próximas a 12°C, o fluxo pode diminuir até 3 vezes. Dudley e Darton (1997) investigaram controle de bioincrustações em membranas para dessalinização e demonstraram que existe grande variação de pressão no primeiro estágio, antes e após limpeza química. Madaeni (2001) e Mohammadi *et al* (2002) utilizaram a análise de difratograma de raio-X para determinar qualitativa e quantitativamente a deposição de sais nas membranas de poliamida, utilizadas para filtração da água salobra. Os sais encontrados em maior proporção foram sulfato de cálcio (90%), nos dois casos. Compararam os processos de Nanofiltração (técnica de separação por membrana, onde seu campo de aplicação está entre a Osmose Reversa e a Ultrafiltração - essa técnica retém os sais bivalentes com 0,001µm molecular e requer pressão de trabalho entre 10 a 25 BAR.) e Osmose Reversa, após 600 min de filtração do efluente de uma indústria de aço, utilizando as análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrofotometria de raio-X por energia dispersiva (EDX). Os autores perceberam que as partículas retidas na NF eram maiores que aquelas retidas na Osmose Reversa, e que tinham formas esféricas e lisas.

A Osmose Reversa também reteve muito mais íons diferentes que a Nanofiltração. Segundo Hoang *et al* (2010), o fluxo do permeado e a rejeição de sais são os dois parâmetros mais utilizados para avaliar a eficiência das membranas na dessalinização. Estes dois fatores são influenciados pelo pH,

assim como pela composição da água de alimentação. Mudanças no pH da alimentação podem alterar a natureza da carga da superfície da membrana, o que pode, conseqüentemente, afetar a performance da membrana. A relação entre o pH e a capacidade de separação em membranas de Nanofiltração tem sido o foco de muitos estudos 20 anos. No entanto, não existem muitos trabalhos produzidos a respeito da performance da Osmose Reversa. Segundo os mesmos autores, que testaram diferentes soluções salinas como alimentação da Osmose Reversa, medindo o pH e o fluxo transmembrana, a rejeição tem relação com a Teoria da Exclusão de Donnan: quanto maiores os íons, como sulfato e cálcio, eles são mais fortemente rejeitados, enquanto que íons menores, como sódio, são menos rejeitados.

5. Resultados

Como descrito anteriormente, o passo inicial para se determinar a limpeza correta da membrana buscando a retirada das incrustações e aumentar a sua vida útil, é a análise da água de alimentação do sistema. Na análise da água *in natura* do poço do HOSPITAL CARLOS MACIEIRA realizada pela empresa CERNITAS (São Luís - MA) no ano de 2015, foram encontrados os resultados expressos na Figura 3.



ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE ÁGUA POTÁVEL

Laboratório de Bioprodutos LTDA
Av. Alcino Bilio nº 17 Cohab Anil III
CEP 65.050-050 São Luis - MA
(98) 3244-3416 / atendimento@cernitas.com.br
www.cernitas.com.br

LAUDO Nº: 15 - 1.761			
Dados do Solicitante			
Cliente / Empresa:	R. DA ASCENÇÃO ERICEIRA GOMES - AGUA BRASIL		
CPF / CNPJ:	14.678.410/0001-09		
Endereço:	RUA 03 QD E CASA 08 CONJUNTO DO IPÊS S/N RECANTO DOS VINHAIS - 65070492		
Município:	SÃO LUÍS	Estado:	MA
Email:	ronaldo.aguabrazil.net.br	Telefone:	(98)3015-1112
Dados da Amostra			
Código de Identificação:	FQ 730/15		
Fonte/Tipo:	Poço / In Natura		Volume Amostrado: 2.000 mL
Ponto de Coleta:	POÇO		
Endereço de Coleta:	HOSPITAL CARLOS MACIEIRA - SÃO LUÍS - MA		
Data e Hora da Realização da Coleta:	12/08/2015 às 15:30		
Responsável pela Coleta:	RONY ARAUJO		
Data e Hora de Entrada no Laboratório:	13/08/2015 às 16:40		
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS - AP			
Parâmetro	Valor Máximo Permitido	Método Utilizado	Resultado
Alcalinidade em (OH-)	NC	Titulométrico	0,00 mg/L
Alcalinidade em (CO ₃ -)	NC	Titulométrico	0,00 mg/L
Alcalinidade em (HCO ₃ -)	NC	Titulométrico	80,00 mg/L
Alcalinidade Total	NC	Titulométrico	80,00 mg/L
Cálcio (CaCO ₃)	NC	Titulométrico	35,27 mg/L
Cloretos (Cl-)	250	Titulométrico	527,22 mg/L
Condutividade	NC	Eletrométrico	921 µS/cm
Cor Aparente	15,0	Platino de Cobalto	0,00 uH
Cloro Residual	0,2 a 2,0	DPD	0,00 ppm
Dureza Total (CaCO ₃)	500,0	Titulométrico	96,00 mg/L
Ferro	0,30	Espectrofotométrico	0,02 mg/L
Magnésio	NC	Titulométrico	1,94 mg/L
pH	6,0 a 9,0	Eletrométrico	6,61
Sólidos Totais Dissolvidos	1.000	Eletrométrico	481 mg/L
Turbidez	5,00	Turbidimétrico	1,87 uT
Temperatura	Até 30	Eletrométrico	26,60 °C
CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS - AP			
Parâmetro	Valor Máximo Permitido	Método Utilizado	Resultado
Sabor	Não Objetável	Sensorial	Não Objetável
Odor	Não Objetável	Sensorial	Não Objetável

Figura 3 - Análise da água *in natura* do poço do HOSPITAL CARLOS MACIEIRA
(laudo Nº:15-1761)

Fonte: Empresa CERNITAS

De acordo com estudos feitos por Oliveira (2007), a limpeza recomendada é a combinação de 24 horas da membrana em contato com solução ácida e 24 horas com solução alcalina. Em seu estudo, foi descrito que a base mais utilizada para a limpeza das membranas é o hidróxido de sódio e o ácido mais usado é o cítrico, que também atua como agente quelante. (MANUAL DE OPERAÇÃO: OSMOSE REVERSA, 2009)

6. Conclusões e Sugestões

6.1 Conclusão

Para melhorar o desempenho, e aumentar a vida útil da membrana, deve-se investir na manutenção do sistema de osmose inversa. Dimensionar um pré-tratamento adequado, buscando reduzir o número de resíduos da água de alimentação antes desta chegar nas membranas, é o ponto chave para evitar danos na superfície das membranas. Outro ponto importante, é a limpeza regular das membranas, que como já vimos, cumprindo uma frequência regular, faz com que aumente a produtividade, e reduz massivamente o custo.

Por meio de pesquisas bibliográficas, conseguimos encontrar o modo que promoverá a manutenção eficiente das membranas e também reduzirá os custos do sistema de osmose inversa localizada no HOSPITAL CARLOS MACIEIRA, assim alcançando os objetivos iniciais.

De acordo com a análise da água de alimentação, prevemos as incrustações que poderão se formar nas superfícies das membranas, que só poderão ser confirmadas em futuros experimentos.

6.2 Sugestões

- Estudo de diferentes tipos de pré-filtração para fontes de São Luis
- Estudo do uso de osmose inversa para o tratamento da água da Lagoa da Jansen
- Investigação de tratamento eficiente e de baixo custo de áreas de mangue no Maranhão

7. Bibliografia

ALVES, T. De Lima. **ESTUDO DA FORMAÇÃO DE INCRUSTAÇÕES INORGÂNICAS EM MEMBRANAS DE NANOFILTRAÇÃO UTILIZADAS EM PROCESSOS DE DESSULFATAÇÃO**. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO – PUC-RIO, 2006

COSTA, Ana Carolina Miranda. **Desenvolvimento de membranas de osmose inversa resistentes à deposição de matéria orgânica e bioincrustações**. Diss. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

FRISCHKORN, Horst. **Osmose reversa: limpeza química em membranas de dessalinizadores do Ceará**. 2008

Habert, A. C., et al. "**Fundamentos e operação dos processos de nanofiltração e osmose inversa**." *Programa de Engenharia Química* (2005).

Manual de Operação: Osmose Reversa. Fluid Brasil. 2009. Disponível em: <http://www.abia.org.br/ftp/F0834G005_0Osmose.pdf>. Acesso em: 20 de Dez. 2017.

Marcon, Taís Sozo, et al. "**Otimização do processo de osmose reversa**." *Salão de Iniciação Científica (14.: 2002: Porto Alegre)*. Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2002. (2002).

OLIVEIRA, D. R. **Pré-tratamento do processo de osmose inversa utilizando microfiltração e investigação de técnicas de limpeza e recuperação de membranas**. Rio de Janeiro: COPPE, 2007. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

VON SPERLING; Marcos, **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. (Vol 1 - 3ª Ed. 2005)