

DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA POR OSMOSE REVERSA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

DESALINATION OF BRACKISH WATER BY REVERSE OSMOSIS: A REVIEW

GÉSSICA CONRADO ARAUJO¹, THAÍS DE SOUZA ROSA¹, TIAGO MARCEL OLIVEIRA^{2*}

1. Acadêmico do curso de graduação do curso de Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 2. Professor do curso de Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga.

* Rua Salermo,299 – Bethânia, Ipatinga- MG, Brasil. CEP: 35164-779. tiagomarcel10@yahoo.com.br.

Recebido em 25/07/2021. Aceito para publicação em 18/09/2021

RESUMO

O presente artigo é uma revisão bibliográfica que tem por objetivo explorar a documentação de processos de dessalinização que utilizam a tecnologia de separação por membranas. Os fenômenos envolvendo membranas naturais vêm sendo observados há séculos, mas o desenvolvimento de membranas sintéticas e as aplicações industriais dos processos de separação por membranas são relativamente recentes. A técnica de dessalinização por osmose reversa é limpa e altamente eficaz, sendo muito utilizada para a potabilização da água salobra. Este processo é extremamente necessário para o abastecimento de água em regiões onde existe escassez de recursos hídricos como em regiões, áridas e semiáridas. Nestas regiões pode ser necessária a exploração de águas subterrâneas ou marinhas, que precisam ser tratadas para consumo humano ou irrigação agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: membranas; dessalinização; osmose.

ABSTRACT

The present article is a literature review that aims to explore the documentation of desalination processes using membrane separation technology. Phenomena involving natural membranes have been observed for centuries, but the development of synthetic membranes and industrial applications of membrane separation processes are relatively recent. The reverse osmosis desalination technique is clean and highly effective, being widely used for the potabilization of brackish water. This process is extremely necessary for water supply in regions where there is scarcity of water resources such as in arid and semi-arid regions. In these regions, it may be necessary to explore underground or marine waters, which need to be treated for human consumption or agricultural irrigation.

KEYWORDS: membranes; desalination; osmosis.

1. INTRODUÇÃO

A água é fundamental pois praticamente todos os processos fisiológicos, animal ou vegetal, são influenciados, direta ou indiretamente por ela¹. Fatores como falta de chuva e alto crescimento demográfico fazem com que regiões mais secas tenham cada vez menos água disponível por pessoa. Esta escassez é um

problema grave, que trará impactos cada vez maiores caso o gerenciamento dos recursos hídricos não seja reformado².

A partir destes problemas houve o interesse por uma criação de métodos de dessalinização de água marinha em larga escala, já que os mesmos já existiam em escala menor por meio da destilação. Navegadores utilizavam esta técnica para que não fosse necessário estocar grandes quantidades de água potável para as longas viagens. Basílio de Cesareia fez um dos primeiros relatos conhecidos, onde água do mar era aquecida em jarros e esponjas naturais eram colocados na boca dos mesmos e a água destilada era retirada posteriormente³.

Destiladores mais sofisticados foram criados a partir de então, e novas técnicas começaram a ser descobertas. O método de dessalinização por descongelamento foi sugerido pela primeira vez por Anton Maria Lorgna, que notou que a o produto resultante do degelo da água marinha era água potável⁴. As águas subterrâneas também podem ser uma alternativa de acesso à água a partir de poços tubulares, mas estas também geralmente precisam ser tratadas antes do consumo por excesso de salinidade⁵.

Com o objetivo de dessalinização da água em larga escala, os Estados Unidos fizeram um grande investimento em projetos de pesquisa no final da década de 50. As membranas já estavam sendo estudadas há algum tempo, e desde 1930 já eram usadas em processos em pequena escala como diálise e microfiltração. As membranas sintéticas começaram a ser usadas em processos de separação a partir da década de 70, com o objetivo de tentar reproduzir as características de seletividade e permeabilidade das membranas naturais⁶.

As membranas atuam como barreiras à difusão mássica, sendo empregadas na separação de soluções líquidas e misturas gasosas, tais como na remoção do oxigênio do ar; na remoção do CO₂ do metano presente no gás natural primeiras⁷.

Nas operações industriais, os processos que utilizam separação por membranas vêm ganhando destaque por serem alternativas mais vantajosas aos demais processos de separação, devido à redução de custos e tempo de operação.

Os processos de membrana representam um subconjunto importante dos processos de filtração, pois há muitos poucos poluentes encontrados na água que não podem ser removidos economicamente pela tecnologia de membrana. Uma membrana, ou mais apropriadamente uma membrana semipermeável, é uma fina camada de material contendo orifícios, ou poros, que permite o fluxo de água, mas retém as espécies suspensas, coloidais e dissolvidas dentro do fluxo (dependendo do tamanho dos orifícios). A separação é baseada nas características físicas dos poluentes a serem removidos, como tamanho, difusividade ou afinidade por contaminantes específicos⁸.

Os processos de membrana com maior aplicação no tratamento de água potável são osmose inversa (OI), nanofiltração (NF), ultrafiltração (UF) e microfiltração (MF). As membranas são meios filtrantes que podem ser formadas por matéria orgânica ou inorgânica. As mais utilizadas são as estruturadas de polímero como o PTFE (Politetrafluoretileno, também conhecido como teflon), PVDF (Difluoreto de Polivinilideno), PES (Polietersulfona), PAN (Poliacrilonitrila), entre outros⁶.

O objetivo do presente artigo, é o de revisar a origem e os benefícios da dessalinização por osmose reversa, bem como os impactos ambientais que podem ser gerados como consequência desta tecnologia, e possíveis soluções para os mesmos. Também são apresentados brevemente os principais tipos de membranas e seus usos mais importantes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A presente revisão da literatura utiliza de uma pesquisa qualitativa que aborda definições, classificações, aplicações e impactos da tecnologia de membranas na indústria com o intuito de potabilizar água salobra. O levantamento bibliográfico foi baseado em dados de publicações on-line e impressas como livros, revistas, dissertações e artigos científicos já divulgados sobre o assunto. O intuito deste artigo é reunir e comparar os diferentes materiais encontrados em estudos nacionais e internacionais para auxiliar pesquisas acadêmicas específicas sobre o assunto ao compilar informações chave sobre o tema, facilitando futuras investigações sobre o mesmo.

Durante a pesquisa para a produção deste trabalho, foram utilizadas bases de dados de plataformas como Google Acadêmico, SciELO (*Scientific Electronic Library Online* – Portal Regional) para obter acesso a artigos científicos sobre o assunto, além de livros e websites que foram considerados relevantes para o contexto. Todas as informações utilizadas, foram as publicadas do ano de 1968 até o ano de 2020, levando em consideração conteúdos encontrados por palavras-chave como “dessalinização”, “membranas”, “osmose reversa”, “água salobra” em português e inglês.

3. DESENVOLVIMENTO e DISCUSSÃO

Definição e classificação de membranas

Membranas são uma barreira seletiva e permeável, que limitam a transferência de massa entre duas fases. A figura a seguir é um exemplo de como ocorre este processo.

Desta forma a eficiência de uma membrana é determinada a partir de dois parâmetros: fluxo e seletividade. Sendo o fluxo a velocidade de permeação, que é o volume de solução que penetra a membrana por unidade de área e por unidade de tempo ($L^3.L^2. \Theta^{-1}$). A seletividade já é expressa pelo coeficiente de retenção, $R=1- C_P/C_F$, em que C_F representa a concentração de soluto na alimentação e C_P a concentração de soluto no filtrado⁹.

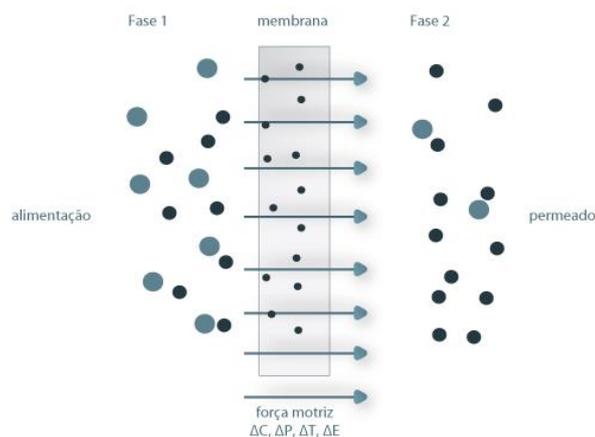


Figura 1. Sistema de fases separado por uma membrana. Fonte: Mulder,1991⁹.

A sua classificação, no entanto, é determinada pela sua natureza e morfologia. Em relação a sua natureza, as membranas se dividem em biológicas (vivas ou não-vivas) e sintéticas (orgânicas ou inorgânicas). Já a sua morfologia é dividida em simétricas (porosas ou não porosas) e assimétricas. Sendo as simétricas aquelas que apresentam uma espessura entre 100 e 200 μm e as assimétricas aquelas constituídas por uma camada muito fina e homogênea, na qual a sua espessura varia de 0.1 a 0.5 μm ⁹.

Separação por membranas

O processo de separação por membranas ocorre em escoamento tangencial (“*cross flow filtration*”), onde a solução flui em paralelo com a superfície da membrana e o permeado é transportado transversalmente na mesma. Ao longo do processo, a corrente do retido ou concentrado se torna constituída por solutos e partículas rejeitadas pela membrana, na qual a concentração C_R é superior à C_F , já o permeado é constituído por solução clarificada ou solvente.

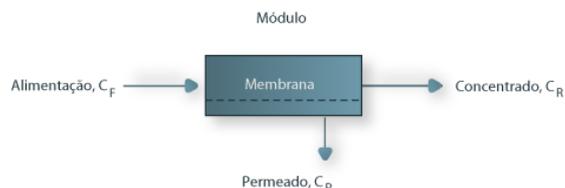


Figura 2. Correntes do processo Fonte: Mulder,1991⁹.

Tabela 1. Processos que utilizam membranas e suas características.

PROCESSO	FORÇA MOTRIZ	MECANISMO DE AÇÃO	MATERIAL RETIDO	APLICAÇÕES
Microfiltração (MF)	Gradiente de pressão 0.1-1 bar	Exclusão	Material em suspensão 0.1-10 µm	-Clarificação de vinho e cerveja -Esterilização bacteriana -Concentração de células
Ultrafiltração (UF)	Gradiente de pressão 0.5-5 bar	Exclusão	Coloides, macromoléculas PM > 5000	-Fracionamento e concentração de proteínas -Recuperação de pigmentos -Recuperação de óleos
Nanofiltração (NF)	Gradiente de pressão 1.5-40 bar	Exclusão/ Difusão	Moléculas de peso molecular médio 500 < PM < 2000	-Purificação de proteínas -Separação de compostos orgânicos e sais divalente
Osmose Inversa (OI)	Gradiente de pressão 2 - 100 bar	Difusão	Todo material solúvel ou em suspensão	-Dessalinização de águas -Concentração de sumos -Desmineralização da água
Diálise (D)	Gradiente de concentração	Difusão	Moléculas de PM > 5000	-Hemodiálise -Separação de sais
Eletrodialise (ED)	Gradiente de potencial elétrico	Migração num campo elétrico	Macromoléculas e compostos iônicos	-Concentração de soluções salinas
Permeação de gases (PG)	Gradiente de pressão e concentração	Solubilidade/ Difusão	Gases menos permeável	-Recuperação de H ₂ -Separação CO ₂ /CH ₄ -Fracionamento do ar
Pervaporação (PV)	Gradiente de concentração	Solubilidade/Difusão	Líquidos menos permeáveis	-Desidratação de álcoois -Remoção compostos voláteis -Separação misturas azeotrópicas

A maioria dos processos de membranas ocorrem isotermicamente, utilizando o gradiente de potencial elétrico ou gradiente de potencial químico como força motriz. A equação a seguir expressa o potencial químico, em relação a pressão, concentração ou pressão parcial:

$$\Delta\mu_i = RT\Delta\ln(\lambda_i x_i) + v_i \Delta P$$

μ_i = potencial elétrico da espécie i

λ_i = coeficiente de atividade

ΔP = gradiente de pressão

x_i = fração molar

v_i = volume molar

Alguns processos que utilizam membranas, serão expostas na tabela abaixo, de acordo com suas características, tais como sua força motriz, o mecanismo de ação e algumas aplicações.

Microfiltração

Destaca-se na área da engenharia de processos que utiliza equipamentos filtrantes que são compostos por materiais cerâmicos e poliméricos que permitem a separação de partículas de proteínas, bactérias, emulsões e outras misturas¹³.

Por apresentar diversas aplicações tecnológicas, tal processo se tornou muito viável para indústria, se sobressaindo na precisão da seletividade da membrana, ocasionando qualidade e menor variação no permeado, além da técnica diminuir o uso de agentes químicos ela permite que as macromoléculas e os óleos alcancem

teores acima de 70%. Outro ponto positivo é a automatização da planta que se torna compacta e gera menor custo energético do que os processos térmicos¹⁴.

Entretanto o processo de microfiltração pode ser tornar limitado devido ao acúmulo de impurezas e detritos que formam uma camada secundária que reduz a permeabilidade da membrana original, ocorre que os poros da mesma se entopem ao decorrer do processo o que dificulta a capacidade de filtração¹⁵.

Ultrafiltração

A ultrafiltração é indicada para empresas que consomem grandes volumes de água e que descartam efluentes tóxicos. Por remover sólidos da água, a partir de uma membrana semipermeável, apresenta características de filtração que captura o sólido e o descarta. É muito utilizada em estações de tratamento que removem as partículas de impurezas da água bruta e posteriormente produz água potável. Tem ganhado espaço no mercado por não utilizar produtos químicos, possuir qualidade constante, independente da qualidade anterior da água a ser tratada e por ultrapassar os padrões regulatórios da água, atingindo 99% da remoção de patógenos¹⁶.

Nanofiltração

A nanofiltração é o processo intermediário de separação por membranas, ficando entre a ultrafiltração e a osmose reversa. Normalmente utilizada na separação de solutos orgânicos que apresentam peso

molecular muito baixo e na remoção de sais polivalentes. Os mecanismos de transporte da nanofiltração são a difusão, a exclusão molecular e as interações eletrostáticas que removem seletivamente os íons polivalentes¹⁷.

Sendo uma operação unitária que vem ganhando destaque em muitas aplicações, tais como separação e reuso de catalisadores na área farmacêutica, na indústria química é aplicado na troca de solventes e na recuperação de solventes da filtração de óleos e na concentração de vinhos e sucos¹⁸.

Osmose reversa

A osmose reversa foi desenvolvida há mais de 200 anos com intuito de dessalinizar a água do mar para torná-la própria para consumo. Destacou-se nos anos 60 e 70 por ser utilizada na indústria de alimentos, principalmente na leiteira¹⁹.

O processo ocorre a partir de uma pressão mecânica externa, sendo esta superior à pressão osmótica, a partir deste momento duas soluções de concentrações opostas são separadas por uma membrana semipermeável. Isto ocorre devido a diferença de energia potencial e a diferença de pressão que atua entre duas soluções, onde a água tem propensão de fluir por osmose²⁰. Na indústria acontece através de membranas formadas por poliamida ou acetato de celulose, que separam a água de uma solução supersaturada de sal de uma solução que não contém ou contém baixíssimos teores deste composto²¹.

Tabela 2. Tecnologias de dessalinização.

Tecnologias de dessalinização	
Térmica	Membrana
Destilação multiestágios (MSF)	Osmose Reversa (RO)
Destilação multi-efeitos (MED)	Nanofiltração (NF)
Destilação via compressão a vapor (VCD)	Eletrodiálise
Dessalinização por congelamento	

Fonte: Fritzmann et al. (2007); Johnson; Lott; Sliepevich (1976)²⁵.

Ao final deste tratamento é possível verificar que a maior parte de contaminantes orgânicos foram eliminados e cerca de 99% dos íons, sendo que também há a remoção de 99% dos vírus e bactérias²¹.

Dessalinização

Durante a crise energética, ao final dos anos 50, houve um aumento na procura por processos de menor impacto ambiental e com menor consumo de energia para se utilizar na dessalinização da água, que era purificada a partir de técnicas evaporativas com grande índice de consumo energético. Por este motivo, estudos voltados para a separação utilizando membranas cresceu em grande escala, se destacando o uso da

osmose reversa e eletrodiálise. Estes processos se destacaram por serem alternativas econômicas em quesito energético. Desta forma o campo de separações se expandiu muito com o desenvolvimento tecnológico de membranas, passou a ser utilizado em indústrias com aplicações no processo fabril, no processamento de água potável para consumo humano e no tratamento de efluentes nas indústrias²².

Com o aumento da demanda por água potável nos últimos anos, as técnicas de dessalinização têm se aperfeiçoado nas últimas décadas, o que representará uma das maiores e principais fontes de recurso hídrico no futuro. Além de ser aplicada em águas oceânicas, a dessalinização pode ser útil também em águas subterrâneas continentais²³.

Desta forma, países que possuem deficiência em produzir água potável para sua população, por apresentarem características de regiões áridas, semiáridas e lagos salinos ou oceanos, optaram por trabalhar com a dessalinização, dentre os principais se encontram a Árabia Saudita, que produz cerca de 10% de toda produção mundial, posteriormente temos Estados Unidos, Emirados Árabes, Kuwait, Bahrain, Qatar e Oman. Na atualidade há cerca de 120 países que trabalham com plantas de dessalinização que produzem 30 milhões de m³ de água potável anualmente, os quais cerca de 20 milhões de m³ são produzidos pela dessalinização da água do mar e os demais por águas continentais subterrâneas²⁴.

Dessalinização por osmose reversa

A dessalinização é uma tecnologia segregada pelo

mecanismo de separação dos sais, classificam-se em térmica e membrana²⁵.

Na tabela abaixo estão relacionados processos disponíveis atualmente para separação do sal por dessalinização.

Por ser uma técnica que permite praticamente apenas a passagem de moléculas de água através das membranas, impedindo que as impurezas da mesma se manifestem, tornou-se uma técnica muito usual nos anos 60²⁶.

Rapidamente se tornou aplicável na dessalinização da água do mar e na água salobra subterrânea. Sendo o custo a principal diferença entre as duas aplicações, envolvendo energia e a substituição de membranas. A água salobra subterrânea, no caso, aplica-se para produzir o permeado menor pressão hidrostática, por seu conteúdo de sais ter menor concentração que a

água do mar, reduzindo assim a demanda de energia. Os custos com energia chegam a cerca de 11% das despesas totais da dessalinização em relação a água continental subterrânea, em contrapartida, a dessalinização da água do mar chega a ser cerca de 44%. E conseqüentemente, menor salinidade gera menos trocas de membrana²⁷.

A extração da água salobra é feita por sistemas de captação e bombeamento que levam a água até o pré-tratamento. Nesta etapa é adicionado agentes químicos com a função de controlar o pH, tratar determinados compostos químicos presentes na água e impedir o acúmulo de sais, para evitar a formação de crostas no equipamento e logo sua corrosão. Outro método utilizado é a aplicação de coagulantes para facilitar a filtração posteriormente. Após este processo o sistema de bombeamento aplica pressão na água pré-tratada contra a membrana de osmose reversa. Essa membrana tem capacidade de impedir a passagem de 98 a 99,5% dos sais, dependendo da qualidade da água e da membrana utilizada.

A água que atravessa a membrana é chamada de permeado, que é ajustada aos padrões de qualidade de acordo com os parâmetros de potabilidade de água na região, essa etapa é definida como pós-tratamento. A água só é considerada dessalinizada, quando atinge menos de 100 mg.L⁻¹ de sais ou de total de sólidos dissolvidos (TDS); entretanto a osmose reversa permite que essas determinações cheguem a zero. Para calcular a taxa de recuperação do método de dessalinização empregado, basta ver a relação entre volume de permeado e volume total de água de alimentação²⁸.

As técnicas por dessalinização térmica apresentam alguns pontos positivos, tais como uma água de melhor qualidade, exige menos manutenção, troca de peças do equipamento e limpeza. O pré-tratamento não utiliza coagulantes e tratamento químico específico, se tornando mais simples. Entretanto, a técnica de osmose reversa oferece menor demanda de energia e menos problemas com corrosão de equipamentos. Apresenta uma taxa de recuperação maior, além de oferecer a vantagem de eliminar contaminantes que possuem ponto de evaporação menor que a água, como os pesticidas, que na dessalinização térmica evapora e condensa junto ao produto. Outro ponto positivo são as instalações, que são compactas, de implantação mais rápida e simples. E por não aquecer a água faz com que os resíduos lançados ao meio ambiente causem um impacto menor²⁶.

Impactos ambientais

As atividades de dessalinização são responsáveis por impactos ambientais quando associadas ao descarte inadequado dos seus resíduos, causando degradação às áreas próximas das usinas de dessalinização por osmose reversa²⁹, podendo causar a salinização do solo e diminuição da produção agrícola³⁰. A permeabilidade do solo fica comprometida quando ele é submetido a alta concentração de sódio, modificando sua estrutura e impedindo o acesso de água e nutrientes para as raízes

das plantas. Além disso, pode diminuir a aeração e causar acúmulo de água na superfície. Entretanto, se o resíduo penetrar no solo, ele pode não apenas aumentar a dureza dos lençóis como também contaminá-los com elementos tóxicos presentes nos produtos químicos utilizados no processo³¹. Estes resíduos também possuem potencial de degradar ecossistemas costeiros e marinhos. Na maioria dos processos, para cada litro de água produzido 1,5 litro de concentrado poluído com cloro e cobre é produzido. Além de tudo, ela pode trazer impactos na cadeia alimentar pois diminui o oxigênio disponível na água quando descartada de forma inadequada³².

Conseqüentemente, é indispensável que sistemas de reutilização e tratamento destes resíduos sejam implantados para evitar maiores degradações ambientais e permitir com que esta tecnologia de obtenção de água potável seja sustentável²⁴.

Soluções

É comum que o concentrado que resta após o processo de dessalinização seja descartado no oceano ou injetado em poços, porém alternativas como bacias de evaporação, bacias de percolação e irrigação de plantas halófitas foram estudadas³³.

É possível que haja um melhor manejo do descarte ou reaproveitamento dos rejeitos em produtos de alto valor agregado, como por exemplo a extração de minerais; a obtenção de compostos como carbonato de sódio, bicarbonato de sódio e cloreto de amônio obtidos a partir do cloreto de sódio concentrado; aplicações na biotecnologia como por exemplo na irrigação de plantas; aplicações na gastronomia; na produção de tilápias e microalgas do gênero *Arthrospira*, conhecida como *Spirulina*³⁴.

A aplicação do concentrado na produção de *Spirulina* se baseia na boa adequação destes microorganismos às condições ambientais de elevadas temperaturas e às propriedades do concentrado, pois elas se adaptam bem à alta salinidade e ao pH do mesmo. Esta microalga possui uma biomassa de alto valor agregado, considerada uma “*superfood*”, sua composição química é extremamente interessante para a indústria farmacêutica e alimentícia³⁵. A utilização do concentrado vem mostrando resultados satisfatórios em cultivos de sistema hidropônico³⁶ além de potencial na produção de biocombustível a partir de microalgas³⁷. Portanto, com a comprovada viabilidade de diversos métodos de reaproveitamento da água residual, a implementação de procedimentos que mitiguem o impacto nas áreas adjacentes às plantas deste processo é essencial para a sustentabilidade desta tecnologia²⁴.

4. CONCLUSÃO

A partir da pesquisa bibliográfica realizada, pode-se concluir que o uso de membranas revolucionou a indústria e a eficácia dos processos. A dessalinização, foi o primeiro grande motivador do uso desta tecnologia, e hoje é um processo extremamente importante para o acesso de muitas populações à água

potável, principalmente as de regiões árida e semiárida. O crescimento populacional e econômico causa um crescimento exponencial da demanda por água, ultrapassando os potenciais de recursos hídricos em muitas regiões. Existem vários métodos de dessalinização, como por exemplo os por destilação ou congelamento, mas o mais utilizado é o por osmose reversa, por ser um processo menos complexo e menos dispendioso em relação aos outros. Algumas desvantagens deste método são que ele gera subprodutos como por exemplo uma água com elevada salinidade além de contaminações por cloro e cobre. Estes rejeitos podem causar impactos ambientais se descartados de forma incorreta, pois possuem o potencial de prejudicar ecossistemas marinhos e costeiros ao diminuir o volume de oxigênio na água. Para isso é necessário que haja inovações nessa tecnologia para que todos seus rejeitos sejam aproveitados na produção de subprodutos ou na recuperação dos componentes com potencial tóxico

5. REFERÊNCIAS

- [1] Kramer PJ, Boyer JS. Water relations of plant and soils. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.
- [2] Oliveira AM. Potencial de utilização agrícola das águas "salobras" e residuárias da dessalinização por osmose reversa. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Semiárido, 2011.
- [3] Delyannis E, Belessiotis V. Desalination: The recent development path. *Desalination*, [S.L.], v. 264, n. 3, p. 206-213, dez. 2010.
- [4] Nebbia G, Menozzi GN. Early Experiments on Water desalination by freezing. *Desalination*, Bari, p.49-54, 1968.
- [5] Ayers RS, Westcot DW. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB,1999. 153 p. (Estudos PAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- [6] Habert AC, Borges CP, Nobrega R. Processos de separação por membranas. Rio de Janeiro: E-papers, 2006. 180 p.
- [7] Geise GM, Park HB, Sagle AC, Freeman BD, McGrath JE. Water permeability and water/salt selectivity tradeoff in polymers for desalination. *J. Membr. Sci.*, 369, 130-138 (2011).
- [8] Scott K. Handbook of Industrial Membranes, Elsevier Advanced Technology. 1.ed. Oxford,UK, 1997. 912 p.
- [9] Smolders CA, Mulder MHV, Van Der Velden P. M. A survey of structure characterization methods for ultrafiltration and reverse osmosis membranes. *Desalination*, 19, p. 481-491, 1976.
- [10] Lucas CL. Medida de tamanho de poro em membrana polimérica de microfiltração utilizando técnica ultrassônica e redes neurais artificiais. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Nuclear. Instituto de Energia Nuclear. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro,2009.
- [11] Baker RW. Membrane technology and applications. 2.ed. John Wiley and Sons, p. 4-7, 90-96, 2004.
- [12] Christensen ML.,et. al. Nonlinear filtration behavior of soft particles: Effect of dynamic cake compression. *Powder Technology* 207, p. 428-436, 2011.
- [13] Haneda RN. Investigação do desempenho de diferentes estruturas microporosas tubulares na retenção de bactérias em suspensão por microfiltração tangencial. 2006, 153f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- [14] Colle RD. Desemulsificação de emulsões estáveis de água e óleo de girassol por processo de filtração tangencial. 2005, 99f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- [15] VENTURINI FILHO WG, Nogueira AMP., Clarificação de caldo de cana por micro e ultrafiltração: Comprovação de viabilidade técnica em experimentos preliminares, *Brazilian Journal of Food Technology*, v.10, n.1, p. 57-52, 2007.
- [16] Fusati. O que é ultrafiltração e seus benefícios.[Internet].[acesso em 2021 mai 27]. Disponível em: <https://www.fusati.com.br/o-que-e-ultrafiltracao-e-seus-beneficios/>.
- [17] Wang XL, Shang W, Wang D, Wu L, Tu C. Characterization and applications of nanofiltration membranes: state of the art, *Desalination*, 236 (2009) 316–326.
- [18] Geens J, Boussu K, Vandecasteele C. Modelling of solute transport in non-aqueous nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, v. 281, n. 1-2, p. 139-148, 2006.
- [19] Glarer J. The early history of reverse osmosis membrane. *Revista Desalination*, Los Angeles, p.297-309, 7 June 1998.
- [20] Libardi PL. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: EDUSP. 2005. 344 p.
- [21] Ferraro RJS. Sistema de Osmose Reversa. Campinas: Universidade São Francisco, 2008. 60 p.
- [22] Massot A, Mietton-Peuchot M, Peuchot C, Milisic V. Nanofiltration and reverse osmosis in winemaking. *Desalination*, 231, p. 283-289, 2007.
- [23] Miller GW. Integrated concepts in water reuse: managing global water needs. *Desalination*, v. 187, n. 1-3, p. 65-75, 2006.
- [24] Qadir M, Sharma BR, Bruggeman A, Choukr-Allah R, Karajeh F. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural Water Management*, v.87, p. 2-22, 2007.
- [25] Fritzmann C, Lowenberg J, Wintgens T, Melin T. State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*, v. 216, n.1-3, p.1-76, 2007.
- [26] Villafafila A, Mujtaba IM. Fresh water by reverse osmosis based desalination: simulation and optimisation. *Desalination*, v. 155, p. 1-13, 2003.
- [27] Greenlee LF, Lawler DF, Freeman BD, Marrot B, Moulin P. Reverse Osmosis Desalination: Water Sources, Technology, and Today's Challenges. *Water Research*, in press, 2009.
- [28] Ministério da Saúde (BR). Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Portaria n.518, de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/>.
- [29] Alameddine I, Fadel M. Brine discharge from desalination plants: a modeling approach to an optimized outfall design. *Desalination*, v. 214, p. 241-260, 2007.
- [30] Beltran JM. Irrigation with saline water: Benefits and environmental impact. *Agricultural Water Management*, v.40, n.2, p.183-194, 1999.
- [31] Mohamed AMO, Maraqa M, Al-handhaly J. Impact of

- land disposal of reject brine from desalination plants on soil and groundwater. *Desalination*, v. 182, n. 1-3, p. 411-433, 2005.
- [32] Alves IM. Environmental Sustainability of desalination systems for brackish deployed in the city of Boa Vista in the semiarid region of Paraíba. Campina Grande, UEPB, 2013, n. 61 p. (Monograph for Undergraduate Sanitary and Environmental Engineering).
- [33] Boegli WJ, Thullen JS. Eastern municipal water district to treatment/saline vegetated wetlands pilot study: Final report. Denver, Colorado: U.S. Department of the Interior; Bureau of Reclamation, 1996. 116 p.
- [34] Jordan F, Morino K, Seaman RB, Yoklic M, Brown P, Glenn E. Consumptive water use and stomatal conductance of *Atriplex lentiformis* irrigated with industrial brine in a desert irrigation district. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 149, n. 5-7, p. 899- 912, 2009.
- [35] Raof B, Kaushik BD, Reinher RP. Formulation of a lowcost medium for mass production of *Spirulina*. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, n.6, p. 537-542, 2006.
- [36] Soares TM, Silva EFF, Duarte SN, Melo RF, Jorge CA, Bonfim-Silva EM. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. *Rev Irriga*. 2007;12(2): 235-248.
- [37] Ferreira WB. Aproveitamento do Concentrado de 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.