

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MODALIDADE PROFISSIONAL

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA  
DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA POR OSMOSE REVERSA**

ÉLVIO CAETANO

Campos dos Goytacazes/RJ

2017

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
MODALIDADE PROFISSIONAL

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA  
DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA POR OSMOSE REVERSA**

**ÉLVIO CAETANO**

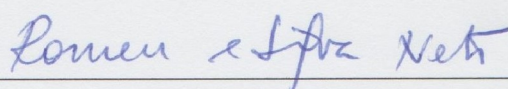
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação e Gestão Ambiental.

**Orientação:** Romeu e Silva Neto, D.Sc.

Dissertação intitulada **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE BAIXO CUSTO PARA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA POR OSMOSE REVERSA** elaborada por Elvio Caetano e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação e Gestão Ambiental do Instituto Federal Fluminense – IFFluminense.

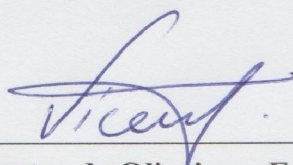
Aprovado em: 31/08/2017

Banca Examinadora:



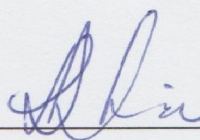
**Romeu e Silva Neto - Orientador**

Doutor em Engenharia de Produção - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense



**Vicente de Paulo Santos de Oliveira – Examinador Interno**

Doutor em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense



**Lilian Rodrigues Avila Ribeiro – Examinador Externo**

PhD em Química – UFRJ  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a todos os alunos que ajudei a formar ao longo da minha trajetória como professor no Curso de Automação do Instituto Federal Fluminense. Cada um deles, em suas diferenças, me ajudou a ser o educador que sou.

.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família em primeiro lugar.

À Direção e Reitoria do IFFluminense.

Aos colegas de trabalho e de curso.

A Deus, por ter me conferido forças para chegar até aqui.

Um agradecimento especial, ao orientador Dr. Romeu e Silva Neto.

“A terra, esse belo planeta, é o lugar da espécie humana, que em nome da ambição, da arrogância, da mesquinha, da vaidade e cobiça, vem ao longo dos tempos, destruindo o seu habitat natural. Como diriam os antigos gregos, a ira dos deuses é implacável e ela já se faz sentir em cada canto do céu, terra e mar da Gaia”. (David Harvey)

## RESUMO

A água é um patrimônio da humanidade, em razão disso, deve ser conservada para as gerações futuras. No entanto, várias regiões do mundo enfrentam o grave problema da escassez de água potável e, em razão disso, implementado alternativas a fim de tentar racionalizar a utilização desses recursos hídricos pela população global. A dessalinização da água do mar apresenta-se como uma alternativa viável em países que não possuem grandes reservas de água; aliás, outra forma de se obter água doce é a retirada das águas salobras dos açudes e dos poços, consideradas águas subterrâneas. Dentre os métodos existentes, a Dessalinização por Energia Solar (Destilação Térmica) e por Osmose Reversa são as mais usuais, cada qual com suas peculiaridades, apresentando-se viáveis ou não, dependendo da região onde for implantada. Sendo assim, a presente dissertação tem por objetivo geral apresentar um estudo acerca da viabilidade técnica da Dessalinização de água salobra por Osmose Reversa, para aplicabilidade tanto no 5º Distrito do Município de São João da Barra, como nas localidades do município de São Francisco do Itabapoana. Para tanto será realizada uma abordagem teórica e experimental acerca do Sistema de Dessalinização por Osmose Reversa, a fim de evidenciar a viabilidade técnica deste sistema aos casos de dessalinização de água salgada / salobra. No que se refere à parte teórica, trata-se de uma pesquisa de cunho qualitativo, baseada em fontes secundárias, sendo utilizada como estratégia metodológica uma Revisão de Literatura, em publicações nacionais e internacionais, realizada em bancos de dados na internet. A partir dos dados obtidos na revisão de literatura observou-se que o método de dessalinização por Osmose Reversa apresenta-se vantajoso e viável às situações que visam à dessalinização das águas subterrâneas. Quanto à abordagem experimental, foi desenvolvido um protótipo de Dessalinizador por Osmose Reversa, utilizando amostra de solução (água salobra) equivalente à captada nos poços artesianos de São Francisco do Itabapoana, a fim de verificar a possibilidade de obter água doce, visando assim atender às necessidades dos pequenos produtores daquela região, bem como, da população local. A partir da análise de quatro níveis de concentração de sal (1,0‰; 2,0‰ e 3,0‰), geralmente encontrados nos poços com água salobra da região de São Francisco de Itabapoana, foi possível permear para todos os níveis de salinidade numa projeção de volume de 432 L/dia (equivalente a 18 L/h e 03 L/min), sendo todos eles reduzidos ao nível de salinidade de 0,00‰, evidenciando assim a viabilidade técnica do Método de Dessalinização por Osmose Reversa para obtenção de água potável. Por fim, concluiu-se que o Método de Dessalinização por Osmose Reversa apresenta-se tecnicamente relevante e viável para tratamento de água salobra, com indicação para implantação no município de São Francisco de Itabapoana, estendido aos demais municípios e localidades com características semelhantes à amostra de solução salina (água salobra) analisada.

**Palavras – chave:** Dessalinização, Osmose Reversa, Protótipo, Água Salobra.

## ABSTRACT

Water is a patrimony of humanity, and for this reason it must be conserved for future generations. However, several regions of the world face the acute problem of drinking water shortages and have therefore implemented alternatives to try to rationalize the use of these water resources by the global population. Desalination of sea water is a viable alternative in countries that do not have large water reserves; In fact, another way to obtain fresh water is to remove brackish water from the dams and wells, which are considered groundwater. Among the existing methods, Desalination by Solar Energy (Thermal Distillation) and by Reverse Osmosis are the most usual, each with its peculiarities, being feasible or not, depending on the region where it is implanted. Thus, the present dissertation aims to present a study about the technical feasibility of Reverse Osmosis Desalination of Brackish Water, for applicability in the 5th District of the Municipality of São João da Barra, and in the localities of the municipality of São Francisco do Itabapoana. For this, a theoretical and experimental approach will be carried out on the Reverse Osmosis Desalination System, in order to demonstrate the technical feasibility of this system in cases of salt / brackish water desalination. As regards the theoretical part, this is a qualitative research, based on secondary sources, being used as methodological strategy a Literature Review, in national and international publications, carried out in databases on the Internet. From the data obtained in the literature review it was observed that the desalination method by Reverse Osmosis is advantageous and feasible to the situations that aim at the desalination of the groundwater. As for the experimental approach, a Reverse Osmosis Desalinator prototype was developed using a solution sample (brackish water) equivalent to that collected at the Artesian wells of São Francisco do Itabapoana, in order to verify the possibility of obtaining fresh water, in order to small producers in that region, as well as the local population. From the analysis of four levels of salt concentration (1.0‰, 2.0‰ and 3.0‰), generally found in the brackish water wells of the São Francisco de Itabapoana region, it was possible permeate to all salinity levels in a volume projection of 432 L / day (equivalent to 18 L / h and 03 L / min), all of which were reduced to the salinity level of 0.00 ‰, thus evidencing the technical feasibility of the Method of Reverse Osmosis Desalination for drinking water. Finally, it was concluded that the Reverse Osmosis Desalination Method is technically relevant and feasible for the treatment of brackish water, with indication for implantation in the municipality of São Francisco de Itabapoana, extended to other municipalities and localities with characteristics similar to the sample of saline solution (brackish water) analyzed.

**Keywords:** Desalination, Reverse Osmosis, Prototype, Brackish Water.



**LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 1**

FIGURA 1: Esquema geral do princípio da dessalinização da água.....	27
FIGURA 2: Dessalinização por meio de fervura.....	27
FIGURA 3: Dessalinização por meio de destilação.....	27
FIGURA 4: Infográfico do quantitativo dos sistemas de dessalinização dos poços subterrâneos do Brasil em 2014.....	28
FIGURA 5: Dessalinização por energia solar.....	30
FIGURA 6: Demonstração da dessalinização por osmose reversa.....	31
FIGURA 7: Funcionalidade da membrana para osmose reversa.....	32
FIGURA 8: Dessalinização por filtração com membranas – Poço artesiano.....	32
FIGURA 9: Demonstração da dessalinização por osmose reversa – Água do Mar.....	32

**LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 2**

FIGURA 1: Processo de Osmose Reversa (Inversa).....	47
FIGURA 2: Detalhe interno de uma membrana filtrante usada em Osmose Reversa ou ultrafiltração.....	48
FIGURA 3: Esquema simplificado de um sistema de osmose reversa.....	50
FIGURA 4: Mapa do município de São Francisco de Itabapoana.....	52
FIGURA 5: Mapa Temático do parâmetro de salinidade das amostras dos poços de São Francisco de Itabapoana.....	53
FIGURA 6: Esquema do funcionamento do Protótipo Experimental de Dessalinização por OR.....	58
FIGURA 7: Exemplo de implantação de Processo de Dessalinização por OR.....	60
FOTO 1: Protótipo Experimental de Dessalinização por Osmose Reversa.....	54

**LISTA DE QUADROS DO ARTIGO 1**

QUADRO 1: Comparativo das Vantagens e Desvantagens dos métodos de dessalinização por Energia Solar (Destilação Solar) e Osmose Reversa.....	34
QUADRO 2: Dessalinização por Osmose Reversa x Destilador Solar.....	35

**LISTA DE TABELAS DOS ARTIGOS 1 E 2**

TABELA 1 – Artigo 1: Comparação das substâncias encontradas na água de rio e na água do mar.....	25
TABELA 1 – Artigo 2: Índices obtidos no 1º Teste Experimental.....	59
TABELA 2 – Artigo 2: Índices obtidos no 2ª Teste Experimental.....	59
TABELA 3 – Artigo 2: Índices obtidos no 3ª Teste Experimental.....	59

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro.  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COT - Carbono Orgânico Total  
BDTD – Biblioteca Digital de Teses e Dissertações  
DRf – Dose de Referência  
EUA – Estados Unidos da América  
IDA – Ingestão Diária Aceitável  
IDT – Ingresso Diário Tolerável  
IFF – Instituto Federal Fluminense  
INEA - Instituto Estadual do Ambiente  
IRIS – *Integrated Risk Information System*  
LABFOZ – Laboratório do Polo de Inovação Tecnológica do IFF  
MS – Ministério da Saúde  
OD - oxigênio dissolvido  
OI – Osmose Inversa  
OMS – Organização Mundial de Saúde  
OR – Osmose Reversa  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PVC – Policloreto de Polivinila  
SEA - Secretaria de Estado do Ambiente  
STD - Sólidos Totais Dissolvidos  
USEPA - U.S. Environmental Protection Agency  
WHO – *World Health Organization*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS – ARTIGO 1 .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS – ARTIGO 2 .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE QUADROS – ARTIGO 1 .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS – ARTIGOS 1 E 2 .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>ARTIGO CIENTÍFICO 1 – ANÁLISE TEÓRICO-COMPARATIVA DA VIABILIDADE DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA POR ENERGIA SOLAR E POR OSMOSE REVERSA.....</b>	<b>19</b>
RESUMO.....	19
<i>ABSTRACT</i> .....	19
1. INTRODUÇÃO .....	20
2. METODOLOGIA.....	22
3. REVISÃO DA LITERATURA .....	23
3.1 Potabilidade da Água.....	23
3.2 Salinização da Água.....	24
3.2.1 Salinização da região do Açú – 5º Distrito do município de São João da Barra	25
3.3 Conceito de Dessalinização.....	27
3.4 Dessalinização Térmica por Energia Solar (Destilação Térmica).....	29
3.5 Dessalinização por Osmose Reversa (ou Inversa).....	30
3.6 Análise Comparativa entre os Métodos de Dessalinização por Energia Solar e Osmose Reversa.....	33
3.7 Resíduos do Processo de Dessalinização.....	35
4. CONCLUSÃO .....	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36

<b>ARTIGO CIENTÍFICO 2 – VIABILIDADE TÉCNICA DE PROTÓTIPO EXPERIMENTAL DE DESSALINIZADOR POR OSMOSE REVERSA PARA APLICABILIDADE EM ÁGUA SALOBRA.....</b>	<b>43</b>
RESUMO.....	43
<i>ABSTRACT</i> .....	43
1. INTRODUÇÃO .....	44
2. METODOLOGIA.....	44
3. REVISÃO DA LITERATURA .....	46
3.1 Aspectos Gerais para implantação de um processo de Dessalinização por Osmose Reversa.....	46
3.2 Pré-Tratamento da água salgada e água salobra.....	49
3.3 Principais Métodos de Pré-Tratamento.....	51
3.4 Poços Artesianos do município de São Francisco de Itabapoana.....	52
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
4.1 Elementos para construção do Protótipo Experimental de Dessalinizador por OR...54	
4.2 Preparação da Amostra de Água Salobra para o Teste Experimental.....	56
4.3 Procedimentos para o funcionamento do Protótipo Experimental - Dessalinizador por OR .....	56
5. RESULTADO.....	58
6. CONCLUSÃO .....	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES.....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>65</b>

## APRESENTAÇÃO

O Brasil é um país cujas reservas hídricas são consideradas abundantes. Todavia, questões relacionadas ao aumento da população urbana, assim como, à poluição contribuem para o comprometimento da qualidade da água doce disponível, que cada vez mais se encontra escassa (BICUDO, TUNDISI, SCHEUENSTUHL, 2010).

Disponíveis na maioria das regiões brasileiras, as águas subterrâneas são os principais recursos hídricos das áreas rurais onde há pouca oferta, ou nenhuma, de abastecimento de água canalizada, cuja captação visa atender o consumo próprio das pessoas, bem como, irrigação agrícola e consumo dos animais destas áreas.

No entanto, apesar do potencial das águas subterrâneas para o abastecimento da população de uma região, é preciso ressaltar que estas águas demandam grandes preocupações e estudos, haja vista que determinados fatores podem contribuir, por exemplo, para o aumento da quantidade de sais na água destas reservas hídricas, denominada salinização, tendo em vista que as mesmas são vulneráveis a quaisquer tipos de intervenção, seja natural ou humana (LÖBLER et al., 2014)

Os municípios de São João da Barra e São Francisco do Itabapoana, localizados no norte do estado do Rio de Janeiro, são regiões, dentre tantas outras do Brasil que devida à falta de água canalizada, seja na zona urbana ou rural, em que a população local consome água subterrânea captada por meio da perfuração de poços, sendo esta uma medida gerencial visando sua própria subsistência.

No 5º Distrito do município de São João da Barra está localizado o Complexo Industrial do Porto do Açú, uma área com grande movimentação de carga e armazenamento, tendo no início do seu processo de construção atividades referentes à dragagem do mar a fim de permitir o acesso de grandes embarcações ao porto. Na época, a areia dragada foi depositada próxima à Lagoa de Iquipari e ao Canal de Quitingute contribuindo para salinização do lençol freático, prejudicando diretamente à população local que capta água para consumo destes recursos hídricos (PEDLOWSKI, 2015). É o caso também de algumas localidades de São Francisco do Itabapoana, em que os cursos d'água à margem oriental da estação ecológica de Guaxindiba e do brejo da Tigela, por exemplos, contam com salinidade excessiva, comprometendo seu uso para irrigação ou abastecimento (WERNECK, FULGENCIO, SALES, 2012).

Em vários países com áreas desérticas, e, principalmente, nas regiões áridas e semiáridas do Brasil, quando não há disponibilidade de água suficiente para abastecer a



população, a dessalinização da água, salobra ou salgada, é a principal via de obter água potável. Dentre os principais métodos dessalinizadores utilizados em todo o mundo, os quatro mais adotados, visando promover a conversão da água salgada e salobra em doce (potável), são: a Osmose Reversa ou Inversa, a Destilação Multiestágios, a Dessalinização por Energia Solar (também conhecida como Destilação Técnica) e o método por Congelamento (GOMES FILHO, ROCHA, OLIVEIRA, 2014).

Recentemente uma nova técnica de dessalinização de água do mar visando torná-la potável foi desenvolvida pelos cientistas, uma “peneira” de grafeno” ou filtro de grafeno. Trata-se de uma peneira criada por cientistas da Universidade de Manchester, no Reino Unido, desenvolvida a partir de um derivado químico, o óxido de grafeno, com alto potencial de eficiência na filtragem do sal. O referido filtro está em processo de teste de comparação às membranas de dessalinização já existentes (RINCON, 2017).

Segundo Rubim (2012), a escolha entre os vários dessalinizadores existentes no mercado requer a observação de vários fatores, dentre eles: local a ser implantado, a energia consumida para implantação, a tecnologia e a característica da água a ser dessalinizada.

Apesar do método de dessalinização de água do mar por Osmose Reversa ser um processo consolidado mundialmente, no Brasil é pouco aplicado devido à grande abundância de água salobra; entretanto nada impede que esta tecnologia seja utilizada, requerendo, no entanto, de equipamentos específicos para dessalinizar águas com alta salinidade. Outro método bastante utilizado é a Dessalinização por Energia Solar, principalmente nas áreas onde há predomínio do sol na maioria das estações (RUBIM, 2012).

Assim, o objetivo geral desta dissertação é apresentar um estudo acerca da viabilidade técnica da dessalinização de água salobra por Osmose Reversa, para aplicabilidade tanto no 5º Distrito do Município de São João da Barra, como nas localidades do município de São Francisco do Itabapoana.

Esta dissertação é composta por dois artigos de comunicação científica, conforme normalização do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do IFFluminense. No entanto, de forma preliminar, será apresentado o primeiro Artigo ou ARTIGO 1 que se refere à “Análise Teórico-Comparativa da Viabilidade de Dessalinização de Água do Mar / Salobra por Energia Solar e por Osmose Reversa”, estudo qualitativo, de caráter exploratório, realizado por meio de fontes secundárias – mediante revisão na literatura nacional e internacional referente às publicações que tratam das questões centrais deste estudo: Dessalinização, Água, Mar, Salobra, Destilação Térmica, Osmose Reversa. O ARTIGO 2 abordará a questão da “Viabilidade Técnica de Protótipo Experimental de Dessalinizador por

Osrose Reversa para Aplicabilidade em Água Salobra”. Trata-se de um estudo, a partir do método experimental, evidenciando demonstrar, por meio da construção de protótipo, a viabilidade técnica do Método de Dessalinização por Osrose Reversa para obtenção de água potável. O estudo foi direcionado pelas palavras chave: Dessalinização, Osrose Reversa, Pré-tratamento, Protótipo, Água Salobra.

Assim, nota-se a importância deste estudo, visto que o mesmo busca suscitar uma alternativa para o futuro abastecimento de água de área com risco iminente de escassez de água potável, além de contribuir também nas questões de saúde pública e ambiental, bem como para novas pesquisas.

## ARTIGO CIENTÍFICO 1

### ANÁLISE TEÓRICO-COMPARATIVA DA VIABILIDADE DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR / SALOBRA POR ENERGIA SOLAR E POR OSMOSE REVERSA

Élvio Caetano - IFFluminense/PPEA

Romeu e Silva Neto - IFFluminense/PPEA

#### Resumo

A dessalinização da água do mar ou de águas salobras é comum em países desérticos ou com pouca disponibilidade de água potável, como no Oriente Médio e na África. No Brasil, o sistema de dessalinização da água já é usado em nove estados, inclusive Fernando de Noronha, literalmente cercado pelo mar, além de algumas comunidades do sertão do Ceará. Este artigo trata-se de um estudo qualitativo, de caráter exploratório, realizado por meio de pesquisa em bancos de dados na internet, além de pesquisa em livros de leitura corrente e de referência, cujo objetivo é apresentar uma abordagem teórico-comparativa acerca dos sistemas de Dessalinização por Energia Solar (Destilação Térmica) e por Osmose Reversa, a fim de evidenciar qual método é mais viável tecnicamente na dessalinização de água do mar e salobra. Assim, concluiu-se que, dentre várias outras vantagens, a implantação de um sistema de Dessalinização por Osmose Reversa apresenta-se mais viável, pois demanda menor energia que a Dessalinização por Energia Solar.

**Palavras chave:** Dessalinização, Água, Mar, Salobra, Destilação Térmica, Osmose Reversa.

#### Abstract

Desalination of seawater or brackish water is common in desert countries or with little availability of potable water, such as in the Middle East and Africa. In Brazil, the water desalination system is already used in nine states, including Fernando de Noronha, literally surrounded by the sea, as well as some communities in the hinterland of Ceará. This article is a qualitative exploratory study carried out by searching databases in the Internet, as well as a research in current and reference reading books, whose objective is to present a theoretical-comparative approach to the systems of Desalination by Solar Energy (Thermal Distillation) and by Reverse Osmosis, in order to demonstrate which method is most technically feasible in the desalination of sea water and brackish. Thus, it was concluded that, among several other advantages, the implementation of a Reverse Osmosis Desalination system is more feasible, since it requires less energy than Desalination by Solar Energy.

**Keywords:** Desalination, Water, Sea, Brackish, Thermal distillation, reverse osmosis.

## 1. INTRODUÇÃO

A constituição da superfície do nosso planeta é formada por 30% de terra firme, sendo os demais 70% de água, distribuídos entre: água doce (superficial e subterrânea), água salobra e água salgada. Considerado um recurso natural vital aos diversos ecossistemas, a água é um agente nuclear para a regulação climática do planeta, devida sua função no ciclo hidrológico e da circulação atmosférica global (BICUDO, TUNDISI, SCHEUENSTUHL, 2010).

Especificamente com relação à parcela renovável de água doce da Terra cerca de 40.000 km<sup>3</sup> anuais desta água correspondem à diferença que há entre as precipitações atmosféricas e a evaporação de água sobre a superfície dos continentes, no entanto, apesar deste volume o mesmo não é totalmente aproveitado pelo homem, tendo em vista que “quase dois terços retornam rapidamente aos cursos de água e aos oceanos, após as grandes chuvas. O restante é absorvido pelo solo, permeando suas camadas superficiais e armazenando-se nos aquíferos subterrâneos (...)”. Registra-se que pouco menos de 14.000 km<sup>3</sup> anuais são destinados ao suprimento de água doce acessível à humanidade, é o que se denomina “recursos hídricos” (PEREIRA JÚNIOR, 2004, p.3). Os recursos hídricos são as águas superficiais ou subterrâneas disponíveis para qualquer tipo de uso de região ou bacia

Nas últimas décadas, presencia-se cada vez mais o crescimento da demanda da água pelo homem, principalmente, em razão do aumento da população mundial, concentrada nas metrópoles. Ademais, para que haja satisfação dessa demanda, é necessário um aporte aquífero potável considerável, o que representa atualmente um grave problema, porque além do volume consumido pela referida demanda há também o desperdício (a falta de controle no consumo). Associado a isto, há ainda a degradação ambiental, questão que vem escasseando e contaminando rapidamente as reservas superficiais e subterrâneas dos recursos hídricos (VICTORINO, 2007).

A respeito disso, torna-se importante considerar que a água poluída sem tratamento prévio, coloca em risco não só a saúde da população, mas também o desenvolvimento econômico e sustentável do meio ambiente.

Para Fuzer (2005), o mundo enfrenta um sério problema de escassez de água potável, e, em razão disso, vários países têm implementado alternativas para tentar racionalizar a utilização dos recursos hídricos pela população global. Nesse contexto, segundo o autor, caso medidas urgentes a fim de minimizar tal situação não sejam tomadas, no ano de 2050 faltará água potável para cerca de quarenta por cento da humanidade. No Brasil, grandes cidades como, por exemplo, o Rio de Janeiro, já vem enfrentando grande dificuldade para distribuir água de qualidade para a população (BRASIL, MS, Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, 2012 p.8).

Com a crise hídrica deflagrada de forma avassaladora nos últimos dois anos, principalmente na Região Sudeste do Brasil, apesar de ser uma constante nas regiões áridas e semiáridas (que na maioria das vezes ocorre nos países em desenvolvimento), algumas alternativas vêm sendo vislumbradas visando minimizar seus impactos nas populações (OLIVEIRA, 2105).

É o caso, por exemplo, da captação da água proveniente das chuvas e da dessalinização da água do mar ou salina, também conhecida como: dessalinização ou dessalgação. Esta técnica já era aplicada na antiguidade por Aristóteles, que há mais 2300 anos já se preocupava com a questão hídrica, ao ressaltar que: “a água salgada, quando passa a vapor torna-se doce e o vapor não produz água salgada depois de se condensar” (Alves, 2007 apud CRUZ, 2012, p.28).

Desta forma, percebe-se que o excesso e a escassez da água, desde a Antiguidade estiveram presentes na evolução dos povos, que preferiam instalar-se em locais com fartura de

recursos hídricos e de fácil captação, garantindo nestes locais, ao longo do tempo, moradia e evolução como sociedade (BARROS, 2008).

Burla et al. (2015) comentam que nas civilizações antigas, na prática da irrigação, era comum fazer represamentos de água cercados por diques, permitindo assim estabelecer uma fonte mais estável de alimentos, fibras e suportar populações mais densas. No entanto, houve insucesso de algumas civilizações quanto ao processo de desenvolvimento da irrigação, seja por inabilidade em lidar com inundações ou devido à salinidade da água represada.

A dessalinização da água do mar, por exemplo, apresenta-se como uma alternativa viável em países que não possuem grandes reservas de água. Além disso, no futuro, haverá um problema significativo, não somente com relação à quantidade de água, mas também quanto à pureza desta água. Posto isto, a dessalinização da água do mar é uma solução provável para aquisição e fornecimento de água potável.

Como bem coloca Cruz (2012, p.2), o “problema da pureza e da quantidade da água tornar-se-á mais grave no futuro, restando como uma das alternativas, a produção de água doce através dos processos de dessalinização, retirando-a do mar ou das águas salobras dos açudes e dos poços”.

Por outro lado, apesar de ser um conceito secular, não era tão usado pela população da época haja vista que se torna desvantajoso o processo de dessalinização da água para abastecer uma população muito grande de maneira eficiente. Tempos mais atuais, a dessalinização, em alguns casos, apresenta-se desvantajosa em razão dos resíduos gerados, pois, com o retorno dos sais em grande quantidade para o mar poderá ocorrer desequilíbrio ambiental e, conseqüentemente, prejuízo à vida (LARANJEIRAS, 2010).

Registra-se que em todo o mundo são adotados quatro métodos diferentes para promover a conversão da água salgada / salobra em doce: a Osmose Reversa ou Inversa, a Destilação Multiestágios, a Dessalinização Solar (também conhecida como Destilação Técnica) e o método por Congelamento (GOMES FILHO, ROCHA, OLIVEIRA, 2014).

Segundo Spitzcovsky (2015), o uso da dessalinização como uma grande solução para o abastecimento futuro dos 9 bilhões de habitantes do planeta, dando destaque ainda às duas tecnologias mais usuais: a destilação por energia solar (térmica - evaporação) e a osmose reversa. “A dessalinização da água do mar, por exemplo, apresenta-se como uma alternativa viável em países que não possuem grandes reservas de água”. (GOMES FILHO, ROCHA, OLIVEIRA, 2014, p. 12).

De acordo com Correa Júnior (2014) existem 13,8 mil plantas de dessalinização em operação no mundo. No Oriente encontra-se a maior usina de dessalinização por osmose reversa, a Soreq inaugurada em outubro de 2013, a partir de um investimento de US\$ 500 milhões do governo de Israel visando aumentar a quantidade de água doce para abastecimento da população do país, por meio de captação da água do Mar Mediterrâneo. “Localizada a 15 quilômetros ao sul de Tel Aviv, Soreq produz 624.000 m<sup>3</sup> por dia de água doce, o que representa 7,23 m<sup>3</sup>/s, suficientes para abastecer uma cidade com população de mais de 2 milhões de habitantes” (CONSÓRCIO PCJ, 2015). A outra grande usina de dessalinização do Oriente fica em Ras al-Khair, na Arábia Saudita, com perspectiva de se tornar maior que a de Israel, com estimativa de produção de 1 bilhão de litros por dia (BELTON, 2015). No Ocidente a maior estação de dessalinização está sendo construída em Carlsbad na Califórnia, com produção estimada em 50 milhões de litros de água doce por dia (CORREA JÚNIOR, 2014).

Diante da situação apresentada, pode-se trazer à tona a seguinte questão de pesquisa: Considerando que os métodos mais comuns de dessalinização são por Energia Solar e Osmose Reversa, qual deles apresenta-se viável tecnicamente para implantação e manutenção, no caso de dessalinização de água do mar e salobra?

Com base na pergunta central definiu-se o objetivo geral, apresentar uma abordagem teórico-comparativa acerca dos sistemas de dessalinização por Energia Solar (Destilação Térmica) e por Osmose Reversa, a fim de evidenciar aquele mais viável tecnicamente, aos casos de dessalinização de água do mar e salobra.

Entretanto, a fim de que o objetivo geral seja cumprido, foram delimitados os seguintes objetivos específicos: conceituar os termos potabilidade, salinização da água e dessalinização; descrever o processo de dessalinização por energia solar; descrever o processo de dessalinização por osmose reversa; e apresentar comentários sobre o reaproveitamento dos resíduos dos processos de dessalinização.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia adotada na elaboração da presente produção científica refere-se a um estudo qualitativo, de caráter exploratório. Silveira e Córdova (2009) se referem à pesquisa de natureza qualitativa como aquela que:

(...) não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização, etc. Os pesquisadores que adotam a abordagem qualitativa opõem-se ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências, já que as ciências sociais têm sua especificidade, o que pressupõe uma metodologia própria (Silveira e Córdova, 2009, p.31).

Quanto ao caráter exploratório, a pesquisa deve ao fato de que tem por escopo proporcionar,

(...) maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, as formas de **Pesquisas Bibliográficas** e Estudos de Caso (grifo meu) (Gil, 1991 apud SILVA, MENEZES, 2005, p. 21).

Por tratar-se de uma Revisão de Literatura, este artigo tem como estratégia prioritária a pesquisa secundária, por meio de publicações em bancos de dados na internet, como: Portal de Periódicos – CAPES, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD, *Google Scholar*, *Google Books*.

De acordo com Selltiz (1987 apud BONI e QUARESMA, 2005, p.70), “a finalidade da pesquisa é descobrir respostas para algumas questões mediante a aplicação de métodos científicos”, ressaltando que dentre os métodos existentes associados ao processo de coleta de dados, podem ser destacados: a pesquisa secundária, que consiste na compilação de dados já coletados e disponíveis para utilização, e a pesquisa primária, na qual os dados são coletados diretamente pela pessoa que está desenvolvendo a pesquisa.

Para análise dos dados, o presente artigo optou por apresentar os principais pontos destacados na coleta em fontes secundárias – os quais foram obtidos mediante revisão na literatura nacional e internacional referente às publicações que tratam das questões centrais deste estudo: Dessalinização, Água, Mar, Salobra, Destilação Térmica, Osmose Reversa.

Entretanto, atento à análise de dados de pesquisa proposto por Freitas (2010, p.61) comentou que foram consideradas outras questões, como por exemplo:

Foram descartados os artigos que não apresentavam pistas em nenhum dos itens elencados, buscando assim, maior fidedignidade ao universo temático pesquisado. (...) identificamos a editora responsável, o título do periódico ou revista, a periodicidade, o número do ISSN, o ano, o mês, o volume da publicação, bem como o título

do artigo, o número de páginas de cada artigo, quando havia e, o nome do autor ou autores (DEL-MASSO, 2012, p.47-48).

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Potabilidade da Água

Segundo Ovalle & Aragon (2004), dentre os reservatórios de águas potáveis mais importantes nos continentes está o lençol freático, que faz parte da água subterrânea, cuja composição química está relacionada com o percurso que esta faz desde a atmosfera até a zona saturada do solo próxima ao contato solo-rocha.

De acordo com Soares (2004), a água em seu estado de pureza não apresenta sabor e odores próprios, nesse sentido, quando destilada tem sabor desagradável ao paladar, assim para sua “palatabilidade”, a água potável requer a presença de algumas substâncias em baixas concentrações, entre eles: carbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio, ferro, magnésio e sódio.

Sob o mesmo entendimento, Cruz (2012, p.28) salienta que a água natural é composta por sólidos dissolvidos como “cloreto de sódio, bicarbonato de cálcio, sulfato de magnésio e outros que existem naturalmente”. De acordo com o autor, uma amostra de água que não contenha as referidas substâncias apresenta-se com um sabor insípido. O autor acrescenta ainda que “água que é destinada para consumo humano terá que ter um equilíbrio na concentração dos sais dissolvidos”.

De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade, ou seja, deve apresentar um conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011). A referida portaria revogou e substituiu a Portaria nº 518 de 2004, e nesta mudança as novas regras de vigilância passaram a ser destinadas também às soluções alternativas coletivas, como poços artesanais que comumente são usados em propriedades particulares, condomínios e hospitais, por exemplos.

Para proteger a saúde humana, deveríamos conhecer todas as substâncias químicas às quais os indivíduos estão expostos e a quantidade máxima delas que esses indivíduos podem ingerir durante toda a vida sem que efeitos adversos ocorram. Essa quantidade é designada por diversos termos, entre eles: IDT (Ingresso Diário Tolerável), DRf (Dose de Referência) ou IDA (Ingestão Diária Aceitável). De acordo com o *Integrated Risk Information System – Iris* da USEPA, a dose de referência é uma estimativa (com incertezas que podem chegar até uma ordem de magnitude) da exposição por via oral diária a que uma população humana pode estar exposta sem que ocorram apreciáveis efeitos adversos durante toda a vida. Para que esse valor seja determinado é necessário que se conheça preferencialmente o NOAEL (nível de efeito adverso não observado) (UMBUZEIRO, 2012, p.27).

Segundo a Portaria nº 2.914/2011 a verificação da potabilidade para consumo humano é dividida em classes de análises, sendo as mais frequentes por meio das análises físico-químicas (Potencial Hidrogeniônico - pH, Alumínio, Amônia - como NH<sub>3</sub>, Cloretos, Cor Aparente, Dureza, Temperatura, Condutividade Elétrica, Etilbenzeno, Ferro, Manganês, Monoclorobenzeno, Odor, Gosto, Sódio, Sólidos dissolvidos totais, Sulfato, Sulfeto de Hidrogênio, Surfactantes, Tolueno, Turbidez, Zinco, Xileno) e do parâmetro de caráter microbiológico de potabilidade da água para consumo humano (*Escherichia coli* ou Coliformes termotolerantes) (BRASIL, 2011).

Cabe mencionar que a verificação da potabilidade da água é de extrema relevância, porque geralmente nas águas naturais superficiais e subterrâneas são encontradas as seguintes substâncias dissolvidas (TROVATTI, s/d):

- Dureza, representada basicamente pelos íons cálcio e magnésio ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ), principalmente os sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ).
- Sílica solúvel ( $\text{SiO}_2$ ) e silicatos ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) associados a vários cátions.
- Óxidos metálicos (principalmente de ferro), originados de processos corrosivos.
- Diversas outras substâncias inorgânicas dissolvidas.
- Material orgânico, óleos, graxas, açúcares, material de processo, contaminantes de condensados, etc.
- Gases, como oxigênio, gás carbônico, amônia, óxidos de nitrogênio e enxofre.
- Materiais em suspensão, como areia, argila, lodo, etc.

Considerando as lições de Cerqueira et al. (2014), uma água captada de poços rasos, por exemplo, pode apresentar uma qualidade deficiente, quer por questões naturais intrínsecas ao meio ambiente, quer pela influência do material geológico, ou até mesmo devido à contaminação por diversas atividades humanas. A respeito disso, Alves et al. (2010, p.4) salienta que “a avaliação da qualidade da água subterrânea, bem como de suas características hidrogeológicas, constituem uma informação de grande importância para a gestão e sua adequabilidade ao uso, seja consumo humano, industrial, irrigação ou dessedentação animal”.

### 3.2 Salinização da Água

Conceitua-se salinidade como o termo usado para descrever a quantidade de sais em uma amostra de água.

Usualmente é medida em termos de sólidos totais dissolvidos (STD), em miligramas de sólidos por litro (mg/L). A água salobra é, portanto, uma mistura de água doce com água salgada. A água do mar possui concentração de STD de cerca de 35 mil mg/L. Uma medida técnica adotada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), assim como pelo Ministério da Saúde (MS) do Brasil, considera água doce para consumo humano a que possui teor de sais (ou sólidos totais dissolvidos) inferior a 1 mil mg/L. É importante observar que também há limites individuais para os diversos sais encontrados na água: sódio, cálcio, magnésio, potássio, cloreto, bicarbonato, sulfato, dentre outros (CNPq, 2014, p.73).

Segundo a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) – alterada pelas Resoluções nº 410/2009 e nº 430/2011 as águas podem ser classificadas de acordo com o teor de sais.

- a) Água Doce - com salinidade igual ou inferior a 5‰ (cinco por mil);
- b) Água Salobra - com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30 ‰; e
- c) Água Salina - com salinidade superior ou igual a 30‰.

Para Oliveira et al. (2013) no caso das águas superficiais e subterrâneas a ocorrência de altas concentrações nos solos está intrinsecamente vinculada às seguintes situações, que podem ocorrer de forma isolada ou associadas: material de origem rica em sais; baixa ou nula ocorrência de chuvas, isto é, precipitação insuficiente para lixiviação do excesso de sais; alta evapotranspiração e regiões com aporte de sais por estarem próximas ao mar.

Sendo assim, é possível observar que a em água obtida em terra, por exemplo, a água do rio, difere consideravelmente da água do mar, em razão da quantidade relativa de sais encontrados nas mesmas, assim como, dos valores e da presença de outras substâncias, conforme demonstra a Tabela 1.



Tabela 1: Comparação das substâncias encontradas na água de rio e na água do mar

Parâmetros	Água de rio (%)	Água do mar (%)
Cloreto	8.6	55
Sódio	6.9	30.6
Sulfato	12.4	7.6
Magnésio	4.6	3.7
Cálcio	16.6	1.2
Potássio	2.6	1.1
Bicarbonato	31.9	0.4
Brometo	-	0.2
Borato	-	0.08
Estrôncio	-	0.04
Fluoreto	-	0.003
Sílica	14,6	-
Ferro	0,7	-
Nitrato	1.1	-

Fonte: Lermontov et. al., 2013, p. 4.

Por oportuno, cabe mencionar, segundo Esteves e Suzuki (2008, p.662), que a salinização pode ser definida como:

a) Primária – processo natural onde ocorrem poucas chuvas, elevada evaporação e acumulação gradual de íons oriundos do intemperismo;

b) Secundária – resulta de um evento antrópico ligado ao ambiente marinho

Campos (2007, p.965) considerando os ensinamentos de Nobre (1985), ressalta que a salinização é uma característica comum às zonas semiáridas do mundo, como: “os Estados Unidos da América (EUA), China, Índia, Paquistão, Egito, Sudão e na antiga União Soviética e que, em nenhum desses países, a salinização desestimulou a formação de reservatórios para aproveitamento na irrigação, ou para outros usos”.

No Brasil, assim como, nas outras regiões semiáridas do mundo, o Nordeste destaca-se com um quantitativo elevado (aproximadamente 80%) de poços perfurados com água subterrânea apresentando “teores de sais muito acima do aceitável para o consumo humano, que é de 1000mg/L, conforme a Organização Mundial de Saúde” (CAMPOS, 2007, p.965). Importa salientar que a maior parte da região Nordeste do Brasil, a água é salobra e necessita de tratamento para torná-la possível ao consumo humano.

Registra-se que, em tempos atuais, frente às tecnologias de dessalinização, a presença de altas concentrações salinas não é um impeditivo para o seu consumo humano, haja vista a possibilidade de processar tais águas para torná-las próprias a esta finalidade, como por exemplo: por meio do processo de dessalinização por osmose reversa, como será mencionado mais adiante.

Entretanto, seja a água salgada ou salobras, a partir da remoção de um determinado nível de sais, a água dessalinizada é destinada ao consumo humano, à dessedentação de animais, à irrigação ou aos usos industriais. No entanto, as técnicas utilizadas para dessalinizar a água costuma ser bastante dispendiosas e, em muitos casos, não são viáveis para uma determinada região (PAGAIME, 2011).

### 3.2.1 Salinização da região do Açú – 5º Distrito do município de São João da Barra

Tendo em vista a rápida mudança no cenário da área rural do 5º Distrito do município de São João da Barra, devido à construção do Complexo Industrial do Superporto

do Açú – já em operação e atendendo os conceitos mais modernos de porto-indústria, (PRUMO LOGÍSTICA GLOBAL, 2015) o superporto tem sido apontado como principal causa da salinização de lagos e canais da região, prejudicando diretamente à população local, haja vista que “é costume captar a água por meio de poços tubulares ou bombas injetoras com 6 metros de profundidade ou menos ou por canais de irrigação/drenagem (MANSUR et al., 2004 apud BURLA et al., 2015, p.39).

Após o transportamento do sistema de drenagem da dragagem<sup>1</sup> do porto, a água salgada que deveria retornar ao mar acabou atingindo a Lagoa de Iquipari e os canais de água doce da região, causando assim a salinização destes reservatórios. “O canal mais atingido foi o Quintingute; principal fonte de abastecimento dos agricultores locais”, que após análise realizada pelo Laboratório de Ciências Ambientais da UENF foi constatado índice de salinidade em 2,10‰ (BORLINA FILHO, 2013).

Segundo Pedlowski (2015), as atividades do porto têm contribuído efetivamente para contaminação de todo lençol freático da região, apesar dos responsáveis pelo Complexo Industrial do Superporto do Açú, assim como, os técnicos do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) afirmar publicamente o constante monitoramento acerca da qualidade da água da região, cujo consumo é direcionado para diferentes finalidades: consumo próprio dos moradores do 5º Distrito de São João da Barra e irrigação da cultura agrícola local.

De acordo com Pedlowski (2015, p.1), apesar dos estudos realizados pelos responsáveis do superporto não terem encontrando: “quaisquer alterações após o derrame de água salgada que ocorreu em novembro de 2013 por causa de um erro de engenharia na construção do aterro hidráulico do Porto do Açú há uma inquietação crescente na população sobre a condição real da qualidade das águas”.

O fato é que a empresa OSX, na época responsável,

(...) foi multada em R\$ 1,3 milhão por danos ambientais causados pelo processo de dragagem para a construção do Complexo Industrial Porto Açú, em São João da Barra, no Norte Fluminense, que provocou o aumento da salinidade das águas do Canal Quintingute. Além disso, terá que investir R\$ 2 milhões na implementação do Parque Estadual da Lagoa do Açú e bancar, anualmente, o custo de cerca de R\$ 350 mil para a manutenção dessa unidade de conservação. E para ajudar na diluição do nível de salinidade das águas do Canal Quintingute, a OSX será obrigada a dragar três pontos assoreados desse corpo hídrico, aumentando assim o volume de sua correnteza, obra de cerca de R\$ 1 milhão (HOFFMANN, 2013, p.1).

Por outro lado, independente da salinização decorrente da construção do superporto do Açú, há especulações que a salinização da água dos poços da região de São João da Barra deve-se ao avanço do mar, contribuindo também para o aumento dos valores elevados de salinidade (GONZAGA, 2014).

Cabe mencionar que em estudo realizado sobre os aspectos socioambientais sobre a gestão da água de poços rasos em São Francisco de Itabapoana – município limítrofe ao de São João da Barra, Silva (2013) mencionou que ao buscarem “água de qualidade e com valor acessível, muitos moradores de São Francisco de Itabapoana têm preferido usar água de poço. Entretanto, essa água nem sempre é de qualidade, ou seja, não está dentro dos padrões de potabilidade exigidos por lei”.

Nesse sentido, Silva (2013) mapeou a qualidade da água em uso na área urbana e rural de São Francisco de Itabapoana como objetivo de caracterizar as águas subterrâneas da localidade. Para tanto, foram realizadas análises físico-químicas da água subterrânea dos poços da região, sendo o resultado das mesmas correlacionadas aos parâmetros: turbidez, pH, salinidade, cloro total, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Especificamente quanto ao

---

<sup>1</sup> As dragagens têm por objetivo aumentar a profundidade marítima do canal que foi aberto pelo empreendimento para facilitar o acesso de grandes embarcações (BORLINA FILHO, 2013).

parâmetro salinidade, as análises realizadas constataram que a água subterrânea dos poços da região estava fora dos padrões em 29,94% das amostras, apresentando salinidade acima de 0,5‰ (ver tópico 2.3 do artigo 2), ou seja, ultrapassando o padrão para a água doce e o consumo humano, sendo este fato, possivelmente, atribuído à percolação da água do mar nas localidades costeiras da região.

### 3.3 Conceito de Dessalinização

O termo Dessalinização refere-se a vários processos físico-químicos de retirada de excesso de sal e outros minerais da água (Figura 1). Na natureza, a dessalinização é um processo contínuo e natural, alimentador do Ciclo Hidrológico, que se comporta como um sistema físico, fechado, sequencial e dinâmico (GALDINO; NOIA, 2014).

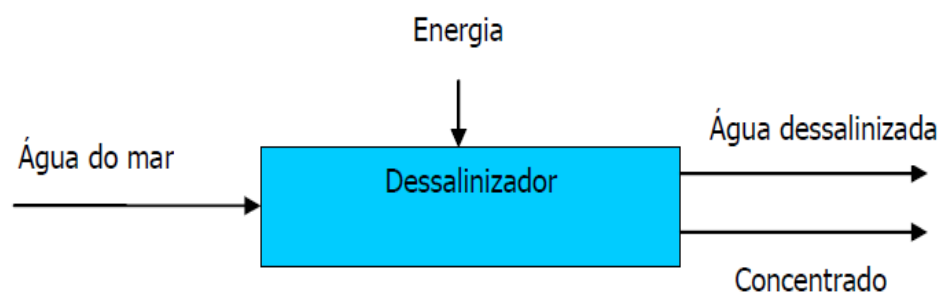


Figura 1: Esquema geral do princípio da dessalinização da água  
Fonte: Cruz, 2012, p.29.

Revisando a história da escassez de água potável na antiguidade, Barros (2008) salienta que a dessalinização da água do mar é uma prática já utilizada há muitos séculos antes de Cristo, por marinheiros e soldados. Aristóteles (384-332 a.C) também estudou o processo de dessalinização. Já no ano 721 d.C, um alquimista árabe escreveu o primeiro tratado sobre dessalinização de águas. Registra-se que neste período a água potável era obtida a partir da água salina ou salobra somente por meio de fervura e/ou destilação (Figuras 2 e 3) (BARROS, 2008).

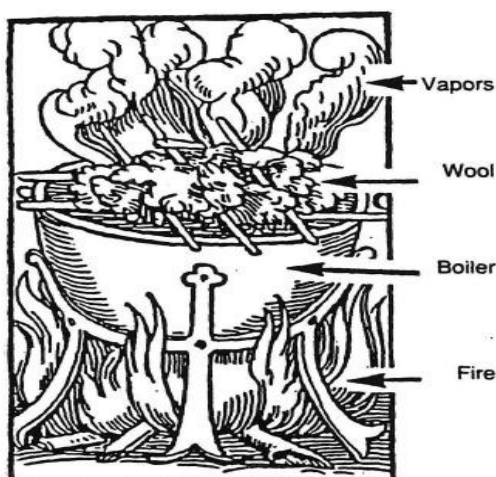


Figura 2: Dessalinização por meio de fervura.  
Fonte: Essential Spirits<sup>2</sup>

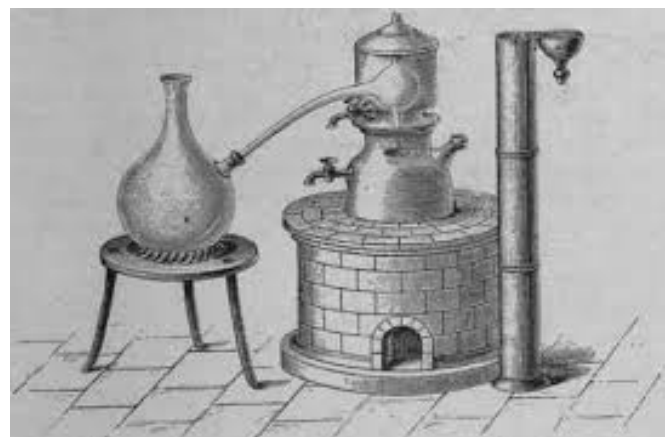


Figura 3: Dessalinização por meio de destilação  
Fonte: The-Whisky-Academy-Module-One<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Disponível em <http://essentialspirits.com/history.htm>, acesso em 27 de jul. 2016.

<sup>3</sup> Disponível em <http://bayareaspirts.tumblr.com/post/4386267745/the-whisky-academy-module-one>, acesso em 27 de jul. 2016.

Atualmente, a dessalinização da água do mar ou de águas salobras é comum em países desérticos ou com pouca disponibilidade de água potável, como no Oriente Médio e na África. No Brasil, o sistema de dessalinização já é usado em oito estados, incluindo Fernando de Noronha, além de algumas comunidades do sertão do Ceará. Igualmente como no Oriente Médio, a região semiárida do nordeste brasileiro, também é carente de recursos hídricos, com falta de chuvas e seca. E os poucos recursos de fontes de água potável disponíveis já estão contaminadas, porém há reservas subterrâneas de águas, no entanto estas águas apresentam-se salobras (Revista Em Discussão – SENADO FEDERAL, 2014).

Gomes Filho, Rocha e Oliveira (2014) mencionam que os métodos de dessalinização eram limitados décadas atrás em razão do seu elevado custo de implantação e manutenção, apresentam-se na atualmente mais acessíveis e isto é demonstrado em números de sistemas de dessalinização instalados em várias partes do mundo, não apenas em países ricos, mas também na região Nordeste do Brasil, há vários sistemas de dessalinização implantados. De acordo com dados do CNPq,

Estima-se que existam, em todo o Nordeste, mais de 30 mil poços com vazão superior a 2 mil L/h, mas a água apresenta salinidade média de 5 mil microgramas por litro (mg/l) contra os mil mg/l estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como o máximo tolerável para consumo humano. A exploração dessas águas ocorre através de poços tubulares perfurados nos aquíferos do embasamento cristalino (...). Acoplar dessalinizadores aos poços e transferir a água tratada para estas mesmas cisternas é uma das alternativas mais viáveis para tais comunidades (CNPq, 2014, p.82).

Segundo Spitzcovsky (2015), em matéria publicada na Revista Planeta Sustentável (2015), nos últimos anos o número de sistemas de dessalinização de poços subterrâneos no Brasil mais que duplicou: em 2012 o país apresentava 1.200 sistemas implantados, já em 2014, o número era de 2.750, conforme Figura 4.



Figura 4: Infográfico do quantitativo dos sistemas de dessalinização de poços subterrâneos no Brasil em 2014. Fonte: Programa Água Doce (MS). Spitzcovsky (2015).

Registra-se que, com relação ao processo de dessalinização utilizado na região Nordeste do Brasil, o método comumente utilizado é da Osmose Reversa, método viável economicamente devido ao seu custo ser bem inferior comparado ao abastecimento da população por caminhões-pipa, por exemplo. Na referida dessalinização dos poços da região Nordeste, o custo operacional restringe-se apenas ao suprimento de filtros de cartucho, aos gastos com energia elétrica e outras pequenas despesas; “além de garantir a autonomia de gestão às comunidades” (CNPq, 2014, p.82).

Todavia, a escolha de um sistema de dessalinização depende da finalidade do uso da água, da concentração de sais da água bruta, das taxas de vazão da fonte de água bruta, da capacidade da central de dessalinização, além de outros fatores relacionados com o local de implantação (CNPq, 2014).

No caso das usinas de Israel, a dessalinização é a única alternativa para obtenção de água potável, o inconveniente é o alto custo energético e financeiro, haja vista que atualmente o gasto energético para que seja produzido 1 m<sup>3</sup> de água do mar dessalinizada gira em torno de 8 quilowatts-hora (kWh). Acrescenta-se a isso o custo de construção e manutenção das plantas, em geral dependentes de combustíveis fósseis, como óleo diesel. Porém, assim como no Oriente Médio, na Austrália, nas ilhas do Caribe, este processo além de compensável é a melhor alternativa (CORREA JÚNIOR, 2014).

Segundo Fernandes et. al (2015, p. 41) o custo de dessalinização da água salgada ou salobra varia de acordo com o processo adotado, sendo considerado: “o equipamento instalado, o sistema de energia utilizado, o montante de água produzido e a forma de transporte até o cliente”. A respeito disso, pode-se mencionar o projeto divulgado pelo Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) que previu a dessalinização de água do mar como opção para a crise hídrica do Sistema Cantareira, das Bacias PCJ e do Alto Tietê. Uma proposta com custo calculado em R\$ 6,1 bilhões cujo objetivo é “aumentar a oferta de água tanto na capital como no interior do estado de São Paulo com a construção de uma usina de dessalinização em Bertoga. O projeto já foi entregue à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) que o classificou como inviável” (FERNANDES et. al, 2015, p.41).

Inúmeras pesquisas têm buscado alternativas a fim de reduzir tais custos de implantação e de operação, exemplo disso é o uso de fontes alternativas ou energias excedentes para amenizar o consumo de eletricidade. Da mesma forma, surgem novas técnicas de destinação correta do rejeito da dessalinização (CNPQ, 2014).

Dentre as principais técnicas de dessalinização estão: a dessalinização por energia solar ou destilação térmica e a osmose reversa, cujas peculiaridades serão demonstradas nos tópicos a seguir.

### **3.4 Dessalinização Térmica por Energia Solar (Destilação Térmica)**

A dessalinização térmica por energia solar é um dos processos mais antigos, imitando a circulação natural da água. O modo mais simples, a "destilação solar", é utilizada em lugares quentes, com a construção de grandes tanques cobertos com vidro ou outro material transparente. “A luz solar atravessa o vidro, a água do líquido bruto evapora, os vapores se condensam na parte interna do vidro, transformando-se novamente em água, que escorre para um sistema de recolhimento” (GOMES FILHO, ROCHA, OLIVEIRA, 2014, p.13).

Trata-se do aquecimento da água do mar ou salobra, que atinge seu ponto de ebulição e passa para o estado de vapor, indo para um condensador onde é resfriada e retorna ao estado líquido. Essa água líquida é coletada em outro recipiente enquanto os sais ficam no recipiente original. O nome da destilação mais usada para a dessalinização da água é a destilação rápida em fases múltiplas.

Segundo Destefani et al. (2015), a finalidade do destilador solar (Figura 5) é a obtenção de água potável partindo da água salgada ou salobra. Estudos indicam a produção da ordem de 5 L/m<sup>2</sup>/dia de água destilada, para dias de nenhuma ou pouca nebulosidade.

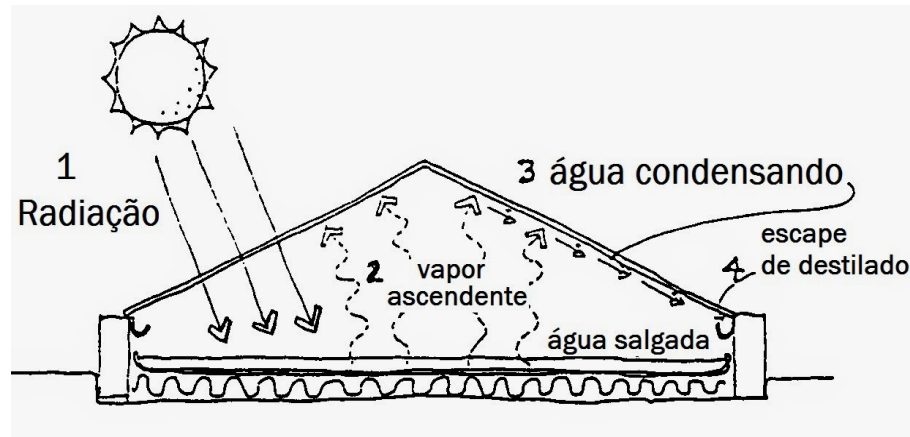


Figura 5: Dessalinização por Energia Solar

Fonte: Notícias Alternativas - Informações para uma revolução da consciência<sup>4</sup>.

Silva et al. (2014) citando um estudo de Carvalho et al. (2004) apresentou um dessalinizador de baixo custo, para uso familiar, visando atender a comunidades na região do semi-árido brasileiro, sendo que na construção do protótipo (dois dessalinizadores térmicos) utilizou-se materiais de fácil aquisição e baixo custo (madeira, forro de PVC, lona plástica, vidro, tinta preta). Segundo este estudo, foi obtido um volume diário de água de até de 2,6 L/dia de água destilada, obtendo-se uma concentração de sal na faixa de 200 mg/L, abaixo do limite de 500 mg/L para água doce, classe 1 (CONAMA nº 357, 2005).

Em estudo realizado por Marinho et al. (2014, p. 21) a partir da implantação de um modelo de destilador solar na zona rural do Nordeste brasileiro, foi constatado que: “A dessalinização por destilação solar proporciona água segura para o consumo humano, é de fácil aplicação, fácil transferência aos usuários de comunidades. Caracteriza-se pelos baixos custos de implantação e de manutenção e com mínimo ou nenhum impacto ambiental”.

Isto posto, evidencia-se que a Dessalinização Térmica por Energia Solar (ou Destilação Térmica) é um método que requer baixo investimento inicial, de tecnologia simples (SILVA et al., 2014), manutenção simples e inquestionável eficiência, ou seja, praticamente sem custos operacionais, purificando a água salgada e salobra transformando-a em água potável adequada para consumo humano e dos animais (SOARES, 2004).

Apesar de aparentemente ser um sistema rudimentar, a Dessalinização Térmica por Energia Solar é bastante utilizada em estações de tratamento associadas a grandes indústrias, que reaproveitam as energias térmicas dissipadas (por exemplo por meio das caldeiras ou fornos industriais) (CNPq, 2014).

### 3.5 Dessalinização por Osmose Reversa (OR) ou Inversa (OI)

Segundo Moura et al. (2008), a osmose foi descoberta por Abbè Nollet há mais de 200 anos, a partir da observação do transporte da água por meio de “uma bexiga de porco que tampava a boca de uma jarra contendo ‘espírito de vinho’”. Entretanto, foi somente em 1855 que Adolf Eugen Fick, publicou sua lei da difusão, presente até os dias atuais para descrever

<sup>4</sup> Disponível em <http://noticias-alternativas.blogspot.com.br/2014/07/faca-seu-proprio-dessalinizador-e.html>, acesso em 27 de jul. 2016.

os vários fenômenos que ocorrem em membranas. Quanto ao estudo da permeação de gases através de borrachas, este se deve à Graham que efetuou os primeiros ensaios experimentais de diálise utilizando membranas sintéticas.

Graham e von Wroblewski são considerados os formuladores originais do modelo de sorção-difusão utilizado para explicar o transporte de gases, vapores e líquidos através de membranas densas. O primeiro utilizou bexigas de porco para permear diversos gases em 1829 e posteriormente, em 1866, concluiu através da permeação de gases em borracha natural, que o fluxo através de uma membrana é inversamente proporcional a sua espessura e que a seletividade não é influenciada por esta. O segundo delineou as bases matemáticas para o modelo de sorção-difusão estudando filmes de sabão (FERNANDES, 2010, p.7).

A osmose é a passagem de solvente por uma membrana semipermeável para uma solução concentrada, ou seja, é o movimento da água contendo menor salinidade que passa a membrana para o lado contendo a solução de maior salinidade, ocorrendo o processo até as concentrações salinas serem iguais dos dois lados. Contudo, quando se aplica uma pressão bastante elevada (acima da pressão osmótica<sup>5</sup>), ocorrerá o processo inverso, ou seja, o solvente da solução concentrada passará pela membrana e irá em direção ao solvente puro (figura 6) (CRUZ, 2012; NOBRE et al, 2013).

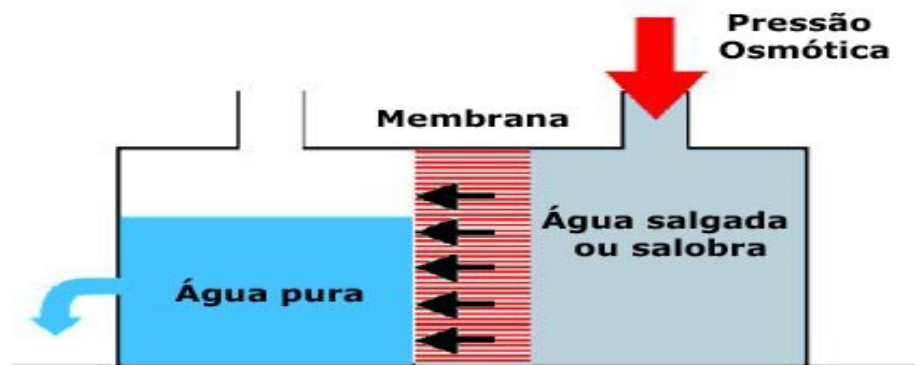


Figura 6: Demonstração da dessalinização por osmose reversa  
Fonte: EcoD<sup>6</sup>

Registra-se que a Dessalinização por Osmose Reversa (ou Osmose Inversa), ocorre quando é exercida uma forte pressão numa solução salina, sendo necessária uma energia a fim de dar pressão à água de alimentação

De acordo com Galdino & Nóia (2014), a Osmose Reversa é utilizada na dessalinização de águas salinas (do mar), salobras e de superfície. Sendo assim, a principal função das membranas (Figura 7) é a rejeição de sais, que depende da temperatura, pressão, pH, concentração de sal e rendimento. Aliás, as estações de dessalinização mais modernas utilizam tecnologia de ponta, com membranas osmóticas sintéticas. Convém mencionar ainda, conforme mencionam Gomes Filho, Rocha e Oliveira (2014), que no contexto dos custos para implantação de dessalinização por Osmose Reversa, o valor das membranas pode atingir o percentual de até 67% do valor total de um aparelho com vazão de 1.800 L/h, representando assim a importância da sua função para o sucesso do referido sistema de dessalinização.

<sup>5</sup> A pressão osmótica é uma das propriedades coligativas de soluções, logo, depende do número de íons, moléculas ou partículas presentes na solução. Assim, para uma mesma concentração mássica, a pressão osmótica de soluções de baixa massa molar será muito maior do que as de soluções de macromoléculas ou suspensões (LERMONTOV et al., 2013, p.3).

<sup>6</sup> Disponível em <http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2011/marco/ecod-basico-dessalinizacao>, acesso em 27 de jul. 2016.



Figura 7: Funcionalidade da Membrana para Osmose Reversa  
Fonte: Brasil Escola (2015)<sup>7</sup>

Com relação à dessalinização por Osmose Reversa de água do mar (salina) (Figura 9), neste processo,

(...) a água do mar de alimentação é bombeada a alta pressão para membranas especiais, forçando a água fresca a fluir através das membranas. Nenhum aquecimento ou mudança de fase é necessário para esta separação. A principal energia necessária para a dessalinização é para dar pressão à água de alimentação. O concentrado (salmoura) permanece a montante da membrana, que passa num dispositivo de recuperação de energia antes de ser descarregado de volta ao mar (Marcovecchio et al., 2005 apud LARANJEIRA, 2010).

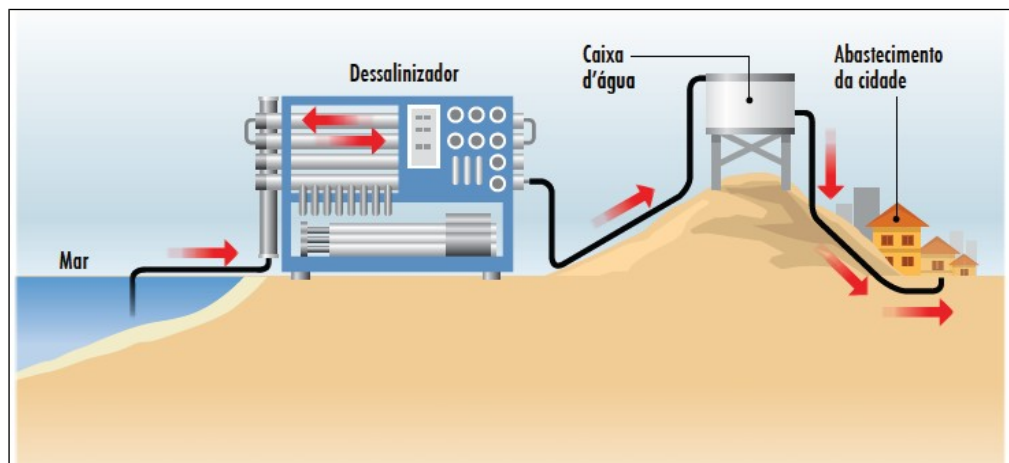


Figura 8: Demonstração da dessalinização por osmose reversa da água do mar  
Fonte: CNPq, 2014, p.73.

Neste processo, a água do mar é colocada de um lado e água pura de outro, separando-as por uma membrana semipermeável, pode-se aplicar uma pressão elevada (bem superior a 30 atm, que é a pressão osmótica da água do mar) sobre a água do mar. O resultado será a osmose inversa (CRUZ, 2012).

Salienta-se que, na dessalinização por Osmose Reversa, é necessário observar dois aspectos fundamentais: um aspecto referente à existência de fonte de energia a fim sustentar o

<sup>7</sup> Disponível em [http://www.meioambienteonline.com/2015\\_03\\_01\\_archive.html](http://www.meioambienteonline.com/2015_03_01_archive.html), acesso em 27 de jul. 2016.



potencial osmótico da água salina, isto é, para ‘inverter a direção’ que ocorre na osmose; e outro aspecto referente à qualidade da membrana semipermeável que será utilizada na separação dos sais (SOARES et al., 2006, p.732).

Quanto à dessalinização por Osmose Reversa de água salobra (Figura 9), o procedimento ocorre a partir do uso de água doce, proveniente de água subterrânea salobra ou salina, captada por meio de poço tubular profundo e armazenada em um reservatório de água bruta; em seguida, essa água passa pelo dessalinizador, que utiliza o processo de Osmose Reversa (BRASIL, 2014). Registra-se que este é um processo implantado nos poços artesianos da região Nordeste.

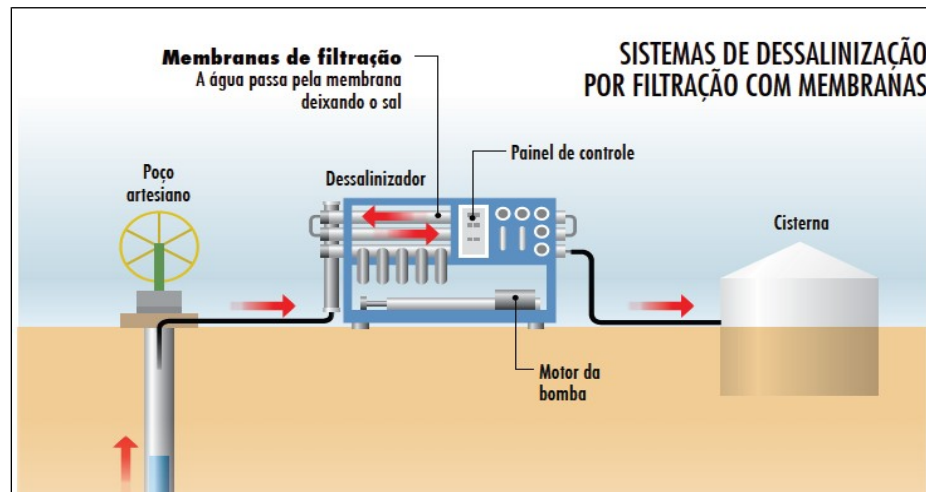


Figura 9: Dessalinização por Osmose Reversa de água de poço artesiano  
Fonte: CNPq, 2014, p. 73.

Torna-se importante ressaltar ainda que a dessalinização por Osmose Reversa apresenta como fator limitante, a elevada produção de rejeitos de água com nível alto de salinidade, necessitando assim de descarte de forma ambientalmente correta, conforme será visto no item 3.7 deste estudo (SANTOS et al., 2010).

Landaburu-Aguirre et al. (2016) consideram que na dessalinização por Osmose Reversa o consumo de energia e entupimento da membrana representam algumas das principais preocupações em tecnologia de membrana, tendo em vista que, aumentam os custos associados à água tratada. Segundo os autores, a vida útil das membranas está correlacionada à qualidade da água e às condições de operação, sendo estimado o tempo de vida das membranas de 5 a 10 anos. Os autores acrescentam ainda que visando melhorar o processo de dessalinização de osmose reversa torna-se fundamental a implementação de um pré-tratamento da água a ser dessalinizada.

### 3.6 Análise Comparativa entre os Métodos de Dessalinização por Energia Solar e Osmose Reversa

Segundo Laranjeira (2010) apesar da dessalinização térmica ser um dos processos mais antigos, tendo em vista que imita a circulação natural da água, a dessalinização por membranas destaca-se como uma alternativa bastante promissora, uma vez que oferece vantagens no que se refere ao consumo de energia e especificidade, podendo ser aplicada nos mais diversificados setores da indústria.

Cruz (2012) menciona que tanto o processo de dessalinização por Destilação Solar como por Osmose Reversa apresenta aspectos negativos e positivos, apresentados a seguir no quadro 1.

Quadro 1: Quadro Comparativo das Vantagens e Desvantagens dos métodos de dessalinização por Energia Solar (Destilação Solar) e Osmose Reversa.

	Vantagens	Desvantagens
DESTILAÇÃO SOLAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seu custo de instalação é inferior comparado aos demais processos de dessalinização;</li> <li>• Independe da salinidade da água;</li> <li>• Produz uma água de qualidade quase pura;</li> <li>• Pode acoplar-se a uma central elétrica produtora de energia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de elevado consumo energético;</li> <li>• Requer considerável extensão de terreno;</li> <li>• Sua eficiência é baixa;</li> <li>• Necessita de uma fonte de vapor que segundo os casos pode ou não ser independente do processo.</li> </ul>
OSMOSE REVERSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor consumo energético;</li> <li>• Utilizado em água salobra e água do mar;</li> <li>• Requer uma extensão média do terreno;</li> <li>• Possui aplicações como sistema de desinfecção, dentre outras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisa estar em consonância com as características da água a ser dessalinizada e, em geral, é inferior em relação aos outros sistemas;</li> <li>• Requer pré-tratamentos físico-químicos;</li> <li>• Requer uma fonte externa de energia.</li> </ul>

Fonte: Cruz (2012, p.42).

Com relação à produção de água dessalinizada torna-se oportuna a referência que Luna (2016) fez em seus estudos à descrição de um destilador solar convencional elaborado e construído por Cappelletti (2002), ressaltando que o referido dessalinizador produziu aproximadamente 5 L/m<sup>2</sup>/dia, em um dia quente de verão e 2 L/m<sup>2</sup>/dia, em um dia de inverno, com radiação difusa. Luna (2016) citando ainda as lições de Jorge (2011) enfatizou que os resultados obtidos na dessalinização por destilação solar sofrem influências dos seguintes parâmetros como: “a profundidade da bacia, a espessura do isolamento do revestimento da bacia, o ângulo de inclinação da cobertura, o número de coletores solares e o ângulo de inclinação dos coletores” (p. 29). Entretanto, outros fatores também contribuem para a produção de água dessalinizada por destilação solar, como a “forte dependência do clima, que corresponde à intensidade de radiação solar e da temperatura ambiente” (p. 29).

No caso da Osmose Reversa, a produção de água dessalinizada depende do desempenho dos materiais que compõe a membrana e das etapas/módulos subsequentes, que contribuem para o aumento da capacidade de rejeição de sal. “O aumento de superfície por unidade de volume, do fluxo, assim como o prolongamento da vida da membrana e a capacidade de trabalhar com maior pressão, são fatores que contribuem para a diminuição do custo da membrana” (SAMPAIO, 2016, p. 13).

Torri (2015) ressalta que uma água com níveis baixos de salinidade para ser dessalinizada por Osmose Reversa requer menor consumo de energia, assim como, baixa dosagem de produtos químicos anti-incrustantes, nesse sentido, considera-se o custo para dessalinizar a água salobra um terço do custo para dessalinizar água do mar. De acordo com Kepler Borges França, coordenador do Laboratório de Referência em Dessalinização (Labdes), do Depart-

mento de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no que se refere à viabilidade econômica, o custo da dessalinização por destilação é de 10 a 15 vezes superior ao de técnicas com membranas, por exemplo: “com a osmose inversa, é possível gastar apenas R\$ 1 para dessalinizar mil litros de água salobra e entre R\$ 1,50 e R\$ 2 de água do mar”. Ademais, a dessalinização por osmose inversa é responsável não somente por sua eficácia na retirada dos sais da água, mas também na retirada de micro-organismos, bactérias e fungos, tornando-a potável para o uso humano. França ressalta ainda, (Revista Em Discussão – SENADO FEDERAL, 2014).

Torna-se importante mencionar ainda que a viabilidade da dessalinização por Osmose Reversa deve-se ainda ao baixo consumo energético a partir do uso de energias renováveis, por exemplo, com a alimentação combinada do referido processo de dessalinização por sistemas solares fotovoltaicos (FERNANDES, 2013).

Sob o mesmo entendimento, Torri (2015) salienta que a Dessalinização por Osmose Reversa apresenta custo reduzido comparado à destilação solar em razão do “desenvolvimento de membranas que podem operar eficientemente por longo tempo e do uso e equipamentos de recuperação de energia.

Enfim, dos sistemas de Purificação de Água e Dessalinização, a Osmose Reversa é o mais ecologicamente correto, com baixíssimo consumo de água e energia elétrica, conforme quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Dessalinização por Osmose Reversa x Destilador Solar

	Osmose Reversa	Destilador Solar
Consumo de Energia	35W	3500W + 6W
Desperdício de Água	10L/h	200L/h
Produção de Água	10L/h	5 L/h
Condutividade	< 1 us	< 20 US / < 1 us
Controle Microbiológico	Membrana de Osmose + U.V	Não tem

Fonte: MAJOB, 2017, p. 6.

### 3.7 Resíduos do Processo de Dessalinização

Laranjeira (2010) ressalta que apesar das tecnologias de dessalinização apresentam viáveis para obtenção de água potável, as mesmas nem sempre são aceitas de forma passiva, tendo em vista os frequentes protestos por parte dos ambientalistas em defesa e respeito ao meio ambiente. “Os métodos de deposição final da salmoura empregados, como a injeção em poços, despejo no solo, lançamento em corpos de águas superficiais, descarga junto a efluentes de esgoto e uso de lagoas de evaporação são preocupantes e, muitas vezes feitos de forma inadequada” (CRUZ, 2012, p. 44).

Nesse sentido, segundo Laranjeira (2010), visando minimizar tais protestos, assim como a preservação do meio ambiente, é necessário observar três fatores importantes, sendo estes: a escolha do local onde será implantado o sistema de dessalinização (observando todos os requisitos legais referentes a esta implantação), a energia adotada, objetivando o mínimo de consumo; o descarte do material residual da dessalinização (relacionado com a contaminação/poluição da área ou ecossistema onde a salmoura deve ser eliminada).

Especificamente quanto ao descarte do material residual da dessalinização, Moura et al. (2008) mencionam ser este um grande problema ambiental, pois os resíduos da filtragem (concentrado), no caso da osmose reversa, podem ser depositados diretamente na natureza, provocando assim a salinização do solo, prejudicando assim as culturas que nele crescem.

Nos dessalinizadores instalados no interior, caso dos sistemas simplificados de abastecimento de água potável do sertão nordestino, o efluente concentrado de sal pode ser aproveitado para a criação de tilápias, camarão ou para a irrigação de plantas resistentes à salinidade (halófitas), depois aproveitadas para a alimentação de animais, por exemplo. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) de Petrolina, em Pernambuco, trabalha nesse sentido e já estudou e testou algumas aplicações dos sais. No Programa Água Doce, a recuperação dos sistemas está vinculada ao aproveitamento do rejeito, dando oportunidade à comunidade de mantê-lo autossustentável (CNPQ, 2014, p.85).

Com relação às águas subterrâneas, rios ou lagos, há várias formas de evitar o contato do concentrado com o solo, exemplo disso é a introdução de sistemas de tratamento ou reutilização do referido concentrado de modo a evitar impactos ambientais em decorrência dos processos de dessalinização da água, a partir de práticas sustentáveis (CRUZ, 2012).

#### 4. CONCLUSÃO

Inquestionavelmente, é preciso cada vez considerar a relevância dos sistemas de dessalinização frente à possibilidade de escassez de água potável num futuro bem próximo. Escassez esta já presente em vários países do mundo, inclusive em algumas regiões do Brasil, como o Nordeste e no Sudeste, conforme demonstrado na situação atual do município de São João da Barra, no norte fluminense.

O presente estudo objetivou apresentar uma abordagem teórico-comparativa acerca dos sistemas de dessalinização por Energia Solar (Destilação Térmica) e por Osmose Reversa, visando evidenciar àquele mais viável aos casos de dessalinização de água do mar / salobra.

Nesse sentido, ante o exposto no decorrer deste artigo concluiu-se que a dessalinização por membranas – Osmose Reversa – por requerer exclusivamente energia elétrica, apresenta-se como o processo mais viável aos casos de dessalinização de água do mar - salobra, por demandar menor consumo de energia que a dessalinização térmica. Além disso, esta viabilidade apresenta-se ainda mais reforçada se for utilizada energias renováveis, bem como, sistemas de recuperação de energia. Ademais, a partir da literatura pesquisada, foi evidenciado que a água potável obtida por meio do referido processo de dessalinização é uma água de qualidade para o consumo humano.

Registra-se que a título de sugestão para futuras pesquisas, a efetiva aplicabilidade da dessalinização por Osmose Reversa no contexto do município de São João da Barra especificamente no 5º distrito, na localidade do Açú, sede do Complexo Portuário do Superporto do Açú apresenta-se como um tema extremamente relevante e viável, haja vista que a região dispõe de todos os requisitos necessários para haja a implantação deste método de dessalinização.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. G.; COSTA, A. N.; POLIVANOV, H.; SILVA JUNIOR, G. C.; COSTA, M. C. O. **Qualidade das águas de poços rasos provenientes de áreas urbanas e rurais de Campos dos Goytacazes (RJ)**, PAP003030. In: Associação Brasileira de águas Subterrâneas, 2010, São Luis. XVI Congresso Brasileiro de águas subterrâneas, 2010.

BARROS, J. G. C. **Osmose Inversa**: o que você talvez gostaria de saber. 2008. Disponível em: <<http://revistadasaguas.pgr.mpf.gov.br/aguas/edicoes-da-revista/edicao-atual/>> Acesso em 12 de out. 2015.

BELTON, P. **O grande salto tecnológico que pode acabar com a sede no mundo**. In: BBC Brasil, 18/10/2015. Disponível em <<http://www.bbc.com/news/election-2017-40209282>> Acesso em 12 de out. 2015.

BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (orgs). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010.

BORLINA FILHO, V. Porto de Eike causou salinização de água doce, confirmam autoridades. In: **Folha de São Paulo**. 16/01/2013. Disponível <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2013/01/1215695-porto-de-eike-causou-salinizacao-de-agua-doce-confirmam-autoridades.shtml>> Acesso em 27 de jul. 2016.

BONI, V.; QUARESMA, S. J. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais. In: **Em Tese, Revista Eletrônica dos Pós-Graduados em Sociologia Política da UFSC**. v.2, n.1 (3). Florianópolis: UFSC, janeiro-julho/2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em 11 de fev. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 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. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)> Acesso em 16 abr. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde Secretaria de Vigilância em Saúde Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. **Avaliação da Vigilância da Qualidade da Água no Estado do Rio de Janeiro – Ano base 2011**. Brasília 2012. Disponível em <<http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/07/Rio-de-Janeiro.pdf>> Acesso em 16 abr. 2016.

BURLA, R. S.; OLIVEIRA, V. P. S.; COSTA, L. M.; MANHÃES, C. M. C.; SANTOS, J. C. O. R.; COLUCC, M. C.; FRANCELINO, F. M. A. Avaliação do processo de salinização da água na Microbacia do Rio Doce, São João da Barra-RJ, em decorrência do acidente ambiental no Superporto do Açú. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.9 n.1, p. 35-48 jan./jun. 2015. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/boletim/article/view/5930/4641>> Acesso em 24 de abr. 2016.

CAMPOS, R. T. Avaliação benefício-custo de sistemas de dessalinização de água em comunidades rurais cearenses. **Revista de Economia e Sociologia Rural - RER**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 04, p. 963-984, out/dez 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/resr/v45n4/a07v45n4.pdf>> Acesso em 05 de jun. 2015.

CERQUEIRA, F. C.; ALVES, M. G.; CHRISPIM, Z. M. P.; ALMEIDA, F. F.; CORREIA, L. C.; SILVA JÚNIOR, G. C. **Análise Preliminar da Qualidade das Águas do Aquífero Livre no Município de São João da Barra, RJ.** Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. XIX Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. VIII FENÁGUA – Feira Nacional da Água. Belo Horizonte – MG. 14 a 17 de outubro de 2014.

CNPq. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Tecnologias para dessalinização da água.** In: Água: desafios da sociedade. Prêmio Jovem Cientista. Caderno do Professor. Capítulo 4. 2014, pp. 71-85. Disponível em: <[http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2014/pjc/imagens/publicacoes/01\\_cadernoProfessor\\_2013\\_pjc\\_web.pdf](http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2014/pjc/imagens/publicacoes/01_cadernoProfessor_2013_pjc_web.pdf)> Acesso em 19 out. 2015.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Watec 2015: Maior usina de dessalinização de Israel produz 624mil m<sup>3</sup> de água doce tratada por dia.** Disponível em <<http://agua.org.br/maior-usina-dessalinizacao-israel/>> Acesso em 11 out. 2015.

CORREA JÚNIOR, M. Aliados contra a seca. **Revista Planeta.** Tecnologia. Edição 505 - dezembro/2014. Disponível em <<http://revistaplaneta.terra.com.br/secao/tecnologia/aliados-contra-seca>> Acesso 11 out. 2015.

CRUZ, C. E. M. **Dessalinização da água do mar através da energia solar – Caso de estudo: Salamansa-Cabo Verde.** Dissertação (Mestrado) Engenharia do Ambiente. Universidade do Algarve. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Faro, 2012. Disponível em: <<https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/3291/1/Tesefinal2.pdf>> Acesso em 15 mai. 2015.

DEL-MASSO, M. C. S. **Metodologia do Trabalho Científico:** aspectos introdutórios. Volume 6. 72 p. Marília: Oficina Universitária.; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.

DESTEFANI, A.; CORRÊA, C. T.; BEHLING, E. E.; BAIFUS, W. C. **Destilador Solar.** Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Catarinense. 2015. Disponível em <http://www.researchgate.net/publication/265448591>> Acesso em 11 out. 2015.

ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 6, 2008. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2883337>> Acesso em 25 de abr. 2016.

FERNANDES, M. T. C. A. **Membranas Isotrópicas e Anisotrópicas Densas Baseadas em Polímeros Naturais para Desidratação de Etanol por Pervaporação.** Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Química. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

FERNANDES, A. S. R. **Adequabilidade da Energia Solar para a Produção Autônoma de Água Dessalinizada. Estudo de Caso: Praia-Baixo, Cabo Verde.** Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Universidade de Lisboa. Portugal, 2013.

FERNANDES, A. B. B.; SILVEIRA, F. R.; CASTRO, A. M. M. G.; LIMA, E. S.; NERY, V. L. H. O processo de dessalinização da água para consumo. **Atas de Saúde Ambiental – ASA**, São Paulo, vol.3, n.2, p. 38-43, ago. 2015. Disponível em <http://revistas.bvs-vet.org.br/asa/article/view/29656/31788> Acesso em 22 julho 2017.

FLUID BRASIL. **Manual de Operação Osmose Reversa**, 2009. Disponível em [http://www.abia.org.br/ftp/F0834G005\\_0Osmose.pdf](http://www.abia.org.br/ftp/F0834G005_0Osmose.pdf) Acesso em 12 fev. 2017.

FUZER, L. Água para a vida. **Informativo Conselho Regional de Química (CRQ) – 3º Região**, Rio de Janeiro (RJ) e Espírito Santo (ES), 2005.

GALDINO, L. D. S.; NOIA, S. K. B. **Sistema de Dessalinização de Águas: uma alternativa de desenvolvimento para o município de povoado cabaceiros**. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste de 4 a 7 de novembro de 2014.

GOMES, R. K.; BRAGA, C. V. M. **A Dessalinização Térmica como Alternativa para Abastecimento de Água** – Estudo da Técnica de Dessalinização Térmica e Avaliação Econômica Preliminar. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

GOMES FILHO, H. R.; ROCHA, E. F. C.; OLIVEIRA, V. P. S. Produção e consumo de água dessalinizada em plataforma de petróleo. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes/RJ, v.8, n.2, p. 9-17, jul./dez. 2014.

GOMIDE, C. **Mar Doce**. Revista Planeta. Edição 492 - Outubro/2013. Disponível em: <<http://revistaplaneta.terra.com.br/secao/meio-ambiente/mar-doce>> Acesso em 17 de junho de 2015.

GONZAGA, R. “É preciso conscientizar, reflorestar e economizar, diz especialista sobre água”. In: **Jornal do Brasil. Ciência e Tecnologia**. 16/11/2014. Disponível em <<http://www.jb.com.br/ciencia-e-tecnologia/noticias/2014/11/16/e-preciso-conscientizar-reflorestar-e-economizar-diz-especialista-sobre-agua/>> Acesso em 29 abril de 2016.

HOFFMANN, S. **Empresa OSX é punida por danos ambientais em São João da Barra**. Secretaria de Estado do Ambiente - SEA. Governo do Estado do Rio de Janeiro. 01/02/2013. Disponível em <<http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=1432813>> Acesso em 17 de junho de 2015.

LANDABURU-AGUIRRE, J.; GARCIA-PACHECO, R.; MOLINA, S. et al. Fouling prevention, preparing for re-use and membrane recycling. Towards circular economy in RO desalination. **Desalination**, v. 393, ed.: SI, pp: 16-30. 2016.

LARANJEIRA, C. P. F. **Estudo Numérico dos Escoamentos em Canais de Dessalinização por Osmose**. Dissertação (Mestrado). Curso Engenharia Civil. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro. Outubro, 2010.

LERMONTOV, A.; BORGES, C. P.; REUTHER, P. W. T.; YOKOYAMA, L.; LUVISOTTO, D. L. **Análise Econômica da Dessalinização de Água do Mar por Osmose Inversa visando abastecimento público no Estado do Rio de Janeiro**. 2013. Disponível em: <<http://www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-parademinas/wp-content/uploads/2013/01/artigo-dessalinizacao.pdf>> Acesso em 17 de junho de 2015.

LÖBLER, C.A.; SILVÉRIO, J.L.; TERRA, L.G. Mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas e uso do solo na área urbana do município de Nova Palma, RS. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p.587-592, 2014.

LUNA, F. M. **Desenvolvimento e Testes de um Dessalinizador Solar com Pré-Aquecimento de Água**. Dissertação (Mestrado - concentração em Energias Renováveis). Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa/PB, 2016.

MAJOB - **Osmose Reversa – Conheça este processo de purificação de água**. Disponível em <http://www.majop.com.br/ARTIGO%20T%C3%89CNICO%20OSMOSE%20REVERSA%20ENTENDA%20O%20SEU%20FUNCIONAMENTO%20.pdf> Acesso em 11 out. 2017.

MARINHO, F. J. L.; ALMEIDA, E. S.; ROCHA, E. N. da; UCHOA, T. R.; SANTOS, S. A.; MARINHO, N. B. **Destilador Solar para fornecimento de Água Potável**. In: Tecnologias adaptadas para o desenvolvimento sustentável do semiárido brasileiro / Organizadores, Dermeval Araújo Furtado, José Geraldo de Vasconcelos Baracuchy, Paulo Roberto Megna Francisco, Silvana Fernandes Neto, Verneck Abrantes de Sousa. — Campina Grande: EPGRAF, 2014.

MENDONÇA, D. E. **Planta de osmose reversa acionada por módulos fotovoltaicos com MPPT e válvula autoreguladora de pressão**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2016. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15924/1/2016\\_dis\\_demendoca.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/15924/1/2016_dis_demendoca.pdf) Acesso em 29 abril de 2016.

MOURA, J. P.; MONTEIRO, G. S.; SILVA, J. N.; PINTO, F. A. & FRANÇA, K. P. Aplicações do Processo de Osmose Reversa para o aproveitamento de Água Salobra do Semi-Árido Nordeste. In: **Revista Águas Subterrâneas** (suplemento). XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23343/15435> Acesso em 11 maio de 2016.

NASCIMENTO, A. R., AZEVEDO, T. K. L., FILHO, N. E. M., ROJAS, M. O. A. I. Qualidade microbiológica das águas minerais consumidas na cidade de São Luis – MA. **Revista Higiene Alimentar**. v. 14, n. 76, São Paulo, SP, 2000.

OLIVEIRA, V. P. S.; SANTOS, J. C. O. R.; BURLA, R. S.; COLUCCI, M. C.; FRANCELINO, F. M. A.; MANHÃES, C. M. C. **Parecer técnico conclusivo sobre os possíveis impactos na agricultura da microbacia do Rio Doce, São João da Barra, RJ, decorrentes do processo de alteração da salinidade pontual e transitória do Canal Quitungite**. Instituto Federal Fluminense. UPEA. Campos dos Goytacazes, 2013.

OLIVEIRA, J. C. **Crise hídrica: falta d'água chega ao Sudeste; como tudo começou? Bloco 1**. Câmara dos Deputados, 2015. Disponível em <http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/radio/materias/reportagem-especial/481135-crise-hidrica-falta-d%e2%80%99agua-chega-ao-sudeste-como-tudo-comecou-bloco-1.html>.> Acesso em 01 out. 2017.

OVALLE, A. R. & ARAGON, G. T. **Dinâmica da Terra**. v.2 – 2. ed. revisada. Rio de Janeiro, RJ: Fundação CECIERJ, 2004.

PAGAIME, L. M. T. **Dimensionar uma instalação de dessalinização de água por destilação a baixa temperatura**. Mestrado em Engenharia Mecânica. Instituto Superior



Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, 2011. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143169547/Dissertacao.pdf>> Acesso em 12 out. 2015.

PEDLOWSKI, M. **Salinização de água e solos preocupa comunidades no entorno do Porto do Açú. Afinal, quem é “o pai da criança feia”?** Fevereiro de 2015. Disponível em: <<https://blogdopedlowski.com/2015/02/02/salinizacao-de-agua-e-solos-preocupa-comunidades-no-entorno-do-porto-do-acu-afinal-quem-e-o-pai-da-crianca-feia/>> Acesso em 23 jul. 2016.

PEREIRA JUNIOR, J. S. **Recursos Hídricos – conceituação, disponibilidade e usos.** Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados – Área XI Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional. Estudo. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Centro de Documentação e Informação. Coordenação de Biblioteca. Abril, 2004.

RUBIM, C. Dessalinização de água do mar, um mercado a ser explorado no Brasil. **Revista TAE**, ano II, ed. n. 7, jun./jul. 2012. Disponível em <<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=4263>> Acesso em 24 jul. 2016.

SAMPAIO, C. M. S. **Dessalinização da água através de painéis solares fotovoltaicos.** Dissertação (Mestrado) em Sistemas Energéticos Sustentáveis. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro, 2016.

SANTOS, R. S. S.; DIAS, N. S. D.; SOUSA NETO, O. N.; GUERGEL, M. T. Uso do rejeito da dessalinização da água salobra no cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 983-989, jul./ago., 2010.

SENADO FEDERAL. Dessalinizar a água é cada vez mais viável. **Revista em Discussão**, ano 5, n. 23, dezembro de 2014. Disponível [https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/escassez-de-agua/@@images/arquivo\\_pdf/](https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/escassez-de-agua/@@images/arquivo_pdf/) Acesso em 22 jan. 2016.

SILVA; G. F.; SANT’ANNA, M. C. S.; LEITE, N. S.; LOPES, D. F. C.; SANTOS, J. A. B.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M. Sistema de Dessalinização e Purificação de Água. In: **Cadernos de Estudos Desenvolvimento Social em Debate** – Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. Universidade Federal de Sergipe, 2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4. ed. revisada e atualizada. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, R. A. **Mapeamento da Qualidade da Água de Poços Rasos em São Francisco de Itabapoana – RJ.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia. Área de concentração: Análise Ambiental e Geoprocessamento. Avaliação e Gestão Ambiental. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2013.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. Unidade 2 - A Pesquisa Científica. In: GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>> Acesso em 22 jul. de 2016.

SOARES, T. M.; SILVA, I. J. O.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.10, n.3, p.730–737, 2006.

SOARES, C. **Tratamento de Água Unifamiliar através de Destilação Solar Natural utilizando Água Salgada, Salobra e Doce**. Dissertação (Mestrado). Área de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87556/208790.pdf?sequence=1>> Acesso em 25 mai.2016.

SPITZCOVSKY, D. Ambiente: Dessalinização de água. **Revista Planeta Sustentável**. 2015. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/pops/dessalinizacao-da-agua-superinteressante-infografico.shtml>> Acesso em 22 mai. 2016.

TORRI, J. B. **Dessalinização de água salobra e/ou salgada: métodos, custos e aplicações**. Trabalho de Conclusão de Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2015. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127799/000970356.pdf?sequence=1>> Acesso em 12 set. 2017.

UMBUZEIRO, G. A. (coord.). **Guia de potabilidade para substâncias químicas**. ABES-SP – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – Seção São Paulo. São Paulo: Limiar, 2012.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta Água Morrendo de Sede**: uma visão analítica de metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. Porto Alegre: ediPUCRS, 2007.

## ARTIGO CIENTÍFICO 2

### VIABILIDADE TÉCNICA DE PROTÓTIPO EXPERIMENTAL DE DESSALINIZADOR POR OSMOSE REVERSA PARA APLICABILIDADE EM ÁGUA SALOBRA

Élvio Caetano - IFFluminense/PPEA

Romeu e Silva Neto - IFFluminense/PPEA

#### Resumo

A Osmose Reversa ou Inversa (OR) é reconhecida como a tecnologia que apresenta um processo de dessalinar a água salgada e salobra de forma mais efetiva e econômica por meio de membranas, em que a principal função destas é reter os sais, dependendo da temperatura, pressão, pH, concentração de sal e rendimento. Na OR o pré-tratamento é considerado uma das etapas importantes, pois tem a finalidade de garantir que os compostos presentes na água salgada e salobra não comprometam o rendimento das unidades de dessalinização; refere-se à filtração fina e à adição de ácidos ou outros produtos químicos objetivamente inibir a precipitação de sais. Os objetivos deste estudo são: descrever a importância da fase de pré-tratamento da água salgada e salobra no processo de dessalinização por Osmose Reversa (OR) e construir um protótipo experimental de Dessalinizador por Osmose Reversa, utilizando amostra de solução (água salobra) equivalente à captada nos poços artesianos de São Francisco do Itabapoana, a fim de verificar a possibilidade de obter água doce, visando assim atender às necessidades dos pequenos produtores daquela região, bem como, da população local. A partir da análise de três níveis de concentração de sal (1,0‰; 2,0‰ e 3,0‰), geralmente encontrados nos poços com água salobra da região de São Francisco de Itabapoana, foi possível permear para todos os níveis de salinidade numa projeção de volume de 432 L/dia (equivalente a 18 L/h e 03 L/min), sendo todos eles reduzidos ao nível de salinidade de 0,00‰, evidenciando assim a viabilidade técnica do Método de Dessalinização por Osmose Reversa para obtenção de água potável.

**Palavras chave:** Dessalinização, Osmose Reversa, Pré-tratamento, Protótipo, Água Salobra.

#### Abstract

The process of salt and brackish water desalination more effectively and economically by means of membranes, the main function of which is to retain the salts, depending on the temperature, pressure, pH, salt concentration and yield. In OR, pre-treatment is considered one of the important steps, since it has the purpose of guaranteeing that the compounds present in salt and brackish water do not compromise the performance of the desalination units; refers to the fine filtration and addition of acids or other chemicals objectively inhibiting the precipitation of salts. The objectives of this study are: to describe the importance of the pre-treatment phase of salt and brackish water in the reverse osmosis (OR) desalination process and to construct an experimental prototype of Reverse Osmosis Desaliner using a solution (brackish water) equivalent to the catchment at the Artesian wells of São Francisco do Itabapoana, in order to verify the possibility of obtaining fresh

water, in order to meet the needs of the small producers of that region, as well as the local population. From the analysis of three levels of salt concentration (1.0 ‰, 2.0 ‰ and 3.0 ‰), generally found in the brackish water wells of the São Francisco de Itabapoana region, it was possible to permeate at all levels of salinity in a volume projection of 432 L / day (equivalent to 18 L / h and 03 L / min), all of which were reduced to the salinity level of 0.00 ‰, thus evidencing the technical feasibility of the Reverse Osmosis Desalination Method to obtain potable water.

**Keywords:** Desalination, Reverse Osmosis, Pretreatment, Prototype, Brackish Water.

## 1. INTRODUÇÃO

Há várias regiões do planeta onde o recurso hídrico é escasso; regiões cuja disponibilidade hídrica apresenta-se extremamente crítica, onde a única solução para obtenção de água doce são os processos de dessalinização de águas salobras ou salgadas. Dentre as regiões escassas de água doce estão países do Oriente Médio – parte desértica –, e países como Austrália, Argélia, Espanha, Israel, regiões costeiras dos EUA, inúmeras ilhas ao redor do mundo (em solo brasileiro, Fernando de Noronha) e a região nordeste do Brasil.

A escolha de um sistema de dessalinização depende da finalidade do uso da água, da concentração de sais da água bruta, das taxas de vazão da fonte de água bruta, da capacidade da central de dessalinização, além de outros fatores relacionados com o local de implantação (CNPq, 2014). Especificamente quanto à Osmose Reversa (OR) este é considerada um sistema de dessalinização de água comumente utilizado no mundo todo, viável para obtenção de grande quantidade de água doce. No entanto é uma tecnologia que demanda consumo de energia e, por usar membranas para realização da filtração, estas são passíveis de entupimento, onerando assim os custos associados com água tratada (LANDABURU-AGUIRRE et al., 2016).

O processo de dessalinização por osmose reversa (OR) tem a água de alimentação como sua principal matéria (água salobra e salina) visando produzir água doce e potável. A qualidade da água obtida por meio do processo de dessalinização tem relação direta com o tipo de fonte hídrica que irá alimentar o dessalinizador, isso ocorre porque a composição físico-química da água subterrânea é diferente da água superficial. A água subterrânea é caracterizada por apresentar menor índice de variação durante as estações climáticas; já a água superficial (rios, lagos e do mar) é caracterizada pelo alto nível de sólidos suspensos, atividades microbiológicas e variações climáticas. Dessa forma, torna-se fundamental a realização de uma boa análise da água de alimentação antes do início do processo de dessalinização por OR (MOURA, 2008)

De acordo com Farrugia (2013) a implantação do sistema de dessalinização por OR requer atenção especial para dois pontos importantes: (1) pré-tratamento e (2) composição química da água. O primeiro ponto é fundamental para o processo de osmose reversa, tendo em vista que as membranas são passíveis ao entupimento com partículas, por isso elas devem ser removidas totalmente antes de ingressar no sistema, a fim de remover os sólidos suspensos. O segundo ponto, por considerar que o processo de dessalinização envolve a concentração de sais, e possivelmente essa concentração pode atingir um nível alto de saturação com subsequente precipitação. Se isso ocorresse (ou seja, a precipitação de sais na membrana) poderia ocorrer o entupimento da mesma, com necessidade de limpeza química.

A par disso, no processo de dessalinização entende-se como pré-tratamento da água uma fase preliminar que permitirá, como já bem define o termo, o preparo da água salgada ou salobra antes da introdução na fase de dessalinização em si, obedecendo a determinados

critérios. Na verdade, conforme dispõe Araújo (2013), a finalidade do pré-tratamento é garantir que os compostos presentes na água salgada e salobra não comprometam o rendimento das unidades de dessalinização. Registra-se que a partir da remoção de eventuais sólidos suspensos na fase de pré-tratamento, não haverá precipitação de sais ou crescimento de micro-organismos sobre as membranas. Enfim, a fase de pré-tratamento refere-se à filtração fina e à adição de ácidos ou outros produtos químicos objetivamente inibir a precipitação de sais, por isso que ela é considerada uma das etapas mais importantes do processo de dessalinização por OR (FARRUGIA 2013, ARAÚJO, 2013).

Como se sabe nas áreas rurais, nos locais mais afastadas das zonas urbanas, é comum a prática do consumo de água captada de poços. Porém, há situações em que a água subterrânea apresenta-se imprópria não somente para o consumo humano, mas também para irrigação de culturas agrícolas, bem como dessedentação de animais, tendo em vista o índice elevado de sais dissolvidos, por exemplo. Nesse contexto, a tecnologia de dessalinização por osmose reversa torna-se viável à medida que garante “produção” de água doce e de qualidade disponível para o consumo humano, e outras finalidades.

Considerando o estudo realizado por Silva, Hora e Oliveira (2017) a respeito do mapeamento dos poços artesanais de São Francisco de Itabapoana, cuja água apresentou índice de salinidade elevado em 29,94% das amostras analisadas e, ainda, considerando que a Osmose Reversa é um método de dessalinização relevante e funcional no tratamento da água salobra, o presente artigo propõe os seguintes questionamentos: Quais os benefícios do pré-tratamento para o sucesso do processo de dessalinização por OR? O método de dessalinização por OR pode ter aplicabilidade viável no tratamento da água salobra captada dos poços artesanais do referido município, visando obter água doce?

Nesse sentido, o presente artigo delimitou como objetivos gerais deste estudo: (1) descrever a importância da fase de pré-tratamento da água salgada e da água salobra no processo de dessalinização por Osmose Reversa (OR) e (2) construir um protótipo experimental de dessalinizador por Osmose Reversa, com água salobra, simulando os níveis de salinidade existentes nos poços artesanais de São Francisco do Itabapoana, a fim de verificar se o referido protótipo atende a necessidade dos pequenos produtores daquela região, bem como da população em geral.

## 2. METODOLOGIA

Preliminarmente o presente estudo trará uma abordagem teórica, a fim de subsidiar a temática proposta; nesse contexto, foi realizada uma Revisão de Literatura, por meio de publicações em bancos de dados na internet, como: Portal de Periódicos – CAPES, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD, *Google Scholar*, *Google Books*. Em seguida, o estudo demonstrará por intermédio do método experimental, o desenvolvimento do protótipo de dessalinizador por Osmose Reversa e do procedimento das etapas de “dessalinização” da água salobra para obtenção de água doce. A respeito da adoção do método experimental, Prodanov e Freitas (2013, p.37) considerando as lições de Gil (2008) ressaltam sua relevância, pois submete “os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto”. Ademais, sua importância deve-se ainda ao fato de que nos últimos três séculos o emprego do método experimental tem sido cada vez mais usual, e por isso, “pode ser considerado como o método por excelência das ciências naturais”.

Entende-se que este estudo seja relevante, na medida em que busca suscitar uma alternativa para o futuro abastecimento de água de área com risco iminente de escassez de

água potável, além de contribuir também nas questões de saúde pública e ambiental, bem como para novas pesquisas.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Aspectos Gerais para implantação de um processo de Dessalinização por Osmose Reversa (OR)

A Osmose Reversa trata-se de uma tecnologia que utiliza membranas apresentando-se como uma opção de processo de dessalinização mais efetiva e econômica atualmente disponível, além de ser disponível em sistemas de pequeno a grande porte, e aplicável tanto à água salobra como água do mar. A osmose reversa pode reduzir custos de regeneração e desperdício de água quando utilizada independentemente ou em combinação com outros processos, como troca iônica. Ele também pode produzir água de qualidade elevada, ou, quando utilizado junto com processos de destilação térmicos, pode melhorar utilização de recurso em geração de energia (FLUID BRASIL, 2009).

Conforme dispõe Oristanio et al (2006), o sistema de dessalinização por osmose reversa é um processo capaz de remover sólidos dissolvidos na água com eficiência extremamente alta, obtendo assim uma água potável com índice de salinidade próxima a água destilada. Vale ressaltar ainda que a dessalinização por OR visa tratar a água para inúmeras finalidades, entre elas:

- **Dessalinização de água do mar:** seja para consumo humano ou para outros processos, em que a membrana de Osmose Reversa pode reduzir a concentração de cloreto de sódio de 35.000mg/L para 350mg/L.
- **Irrigação:** considerando que um dos problemas da agricultura é a acumulação de sais no solo em função da irrigação com água de rios ou poços, e a partir de certo patamar os sais tornam-se nocivos às plantações. Nesse sentido, a OR é capaz de remover este excesso de sais de forma economicamente viável.
- **Alimentação de caldeiras:** tendo em vista que as caldeiras exigem água puríssima, pois a evaporação da água causa a incrustação da superfície dos tubos pelos sólidos presentes na mesma, reduzindo a transferência de calor, aumentando o consumo de combustível e o risco de explosões. Assim, a OR, bem como a troca iônica, têm sido o tratamento mais utilizado nestes casos.
- **Produção de produtos químicos:** haja vista que o processo de OR é utilizado pelos hospitais, conglomerados farmacêuticos e laboratórios visando garantir a máxima pureza em seus produtos. Aliás, os processos de hemodiálise também são alimentados com água desmineralizada ou destilada.

Para Rodrigues, Menezes, Campos (2016, p.6-7), dependendo do processo e do tamanho da empresa, as vazões do rejeito da osmose podem variar consideravelmente. Por exemplo, nas indústrias de papel e celulose as osmose são de grande porte, cuja vazão de rejeito é de 30 m<sup>3</sup> por cada equipamento; além disso, a vazão do rejeito dependerá também da quantidade de água tratada em cada processo.

O processo de Osmose Reversa (ou Osmose Inversa) (figura 1) tem por objetivo permear água previamente filtrada, por meio de dispositivo normalmente cilíndrico denominado “permeador”, onde serão retidos os sais existentes na água (salobra ou salgada) por meio de membranas seletivas especialmente fabricadas. Após essa etapa, se obtém uma parcela de água pura que será eliminada pelo permeador; já a outra parcela de água não permeada será descartada a uma concentração mais elevada de sais. A água permeada

produzida atende a maioria dos padrões estabelecidos para controle de qualidade de água potável (TROVATI, s/d).

Segundo Guerreiro (2009), no processo de dessalinização por OR não é necessário que haja calor para que a separação das partículas seja concretizada. Mas, apesar do processo ocorrer à temperatura ambiente é necessária utilização de energia elétrica para que os dispositivos sejam acionados e, dessa forma, conferir a pressão necessária fazendo com que a água se escoe pelas membranas.

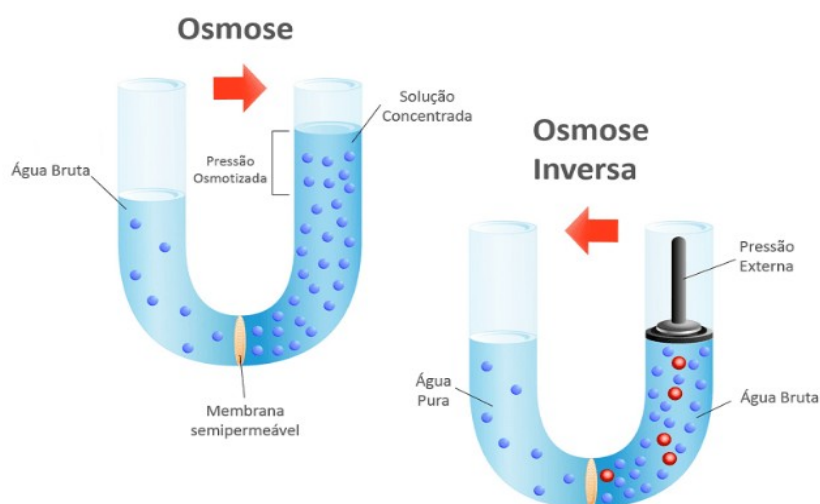


Figura 1: Processo de Osmose Reversa (Inversa)  
Fonte: Petrochem® – Produtos Químicos de Portugal<sup>8</sup>

O supracitado descreve o procedimento de osmose reversa da seguinte forma:

Na fase isotônica da osmose há um diferencial de pressão designada de pressão osmótica. Na osmose inversa a pressão a aplicar no sistema terá que ser igual ou superior à pressão osmótica. Para conseguir uma pressão superior à pressão osmótica recorre-se a uma bomba de alta pressão especialmente desenhada e revestida para o efeito. Conseguida essa pressão a água salgada é pressionada contra as membranas de modo a que o fenómeno, osmose inversa, aconteça. Apenas uma parte da água é que é convertida em água doce (cerca de 40%) enquanto que a salmoura é enviada ao meio receptor, caso contrário a água continuaria a aumentar a sua salinidade, o que faria com que a pressão osmótica necessária para atravessar a membrana aumentasse. A taxa de rejeição de salmoura no final do processo varia entre 20 a 70% do volume total de água que entra no circuito, consoante a quantidade de sais na água bruta (GUERREIRO, 2009, p.28).

De acordo com Farrugia (2013), a implantação do sistema de dessalinização por OR requer atenção especial para dois pontos importantes:

- (1) Pré-Tratamento - fundamental para o processo de osmose reversa, tendo em vista que as membranas são passíveis ao entupimento com partículas, por isso elas devem ser removidas totalmente antes de ingressar no sistema.
- (2) Composição Química da Água - por considerar que o processo de dessalinização envolve a concentração de sais, e possivelmente essa concentração pode atingir um nível alto de saturação com subsequente precipitação.

Para que a dessalinização por Osmose Reversa seja bem-sucedida é fundamental proteger as membranas, por isso é fundamental a observação da fase de pré-tratamento. O tratamento preliminar da água ou pré-tratamento atua primeiramente sobre as impurezas mais

<sup>8</sup> Disponível em <http://www.petrochem.pt/source/fotografias/tratamento-aguas/como-funciona-osmose-inversa.png>, acesso em 11 de junho 2017.

grosseiras, tais como turbidez, sólidos em suspensão e material orgânico. Depois, dependendo da necessidade, são feitos tratamentos mais sofisticados para eliminação do material dissolvido. A falta de pré-tratamento de água é extremamente desaconselhável e dificulta enormemente o trabalho do tratamento químico interno (quando é feito) (CAETANO, SILVA NETO, 2017).

Com relação à membrana utilizada na dessalinização por OR, várias foram as pesquisas realizadas até o surgimento das membranas OR atuais. Destaca-se o desenvolvimento de membranas NS-100 pela Cadotte em 1977 e subsequente otimização das condições de fabricação. As inovações devem-se também à modificação da superfície e das ações pós-tratamento da membrana. Comumente, a configuração mais usual nos sistemas de dessalinização refere-se “as membranas em espiral com espiral de poliamida (SWM), que envolve várias membranas de folha plana que são coladas juntas em dois lados, com o quarto lado aberto à esquerda” (RODRÍGUEZ-CALVO et al., 2014).

A membrana para OR, em seu aspecto físico, apresenta-se como um fino filme que é enrolado inúmeras vezes, composto por 3 (três) camadas: 1 (uma) camada com suporte de poliéster, 1 (uma) segunda camada intermediária de polisulfona microporosa e 1 (uma) terceira camada ultrafina de poliamida na superfície (Figura 2) (RODRÍGUEZ-CALVO et al., 2014).

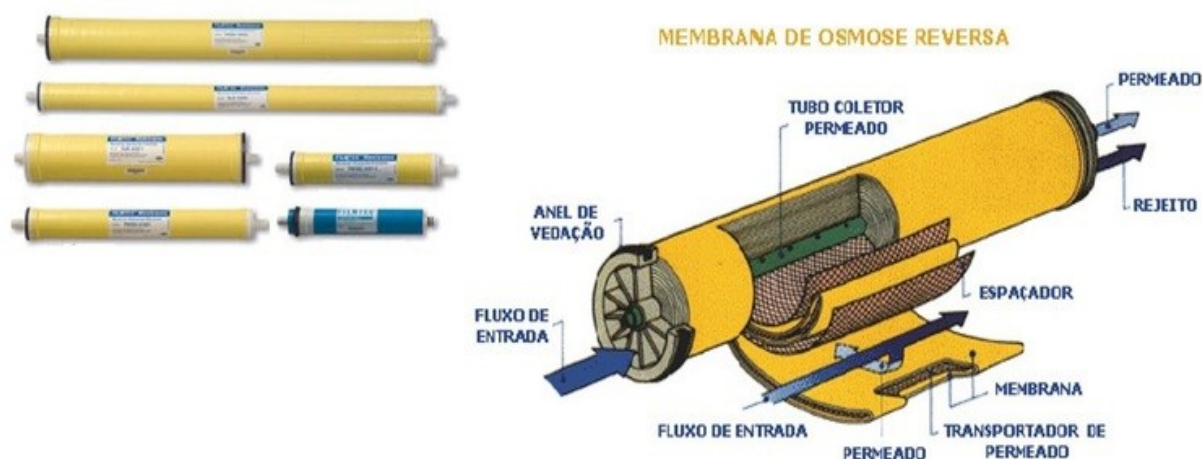


Figura 2: Detalhe interno de uma membrana filtrante usada em Osmose Reversa ou ultrafiltração.  
Fonte: REEFCLUB<sup>9</sup>

De forma oportuna, torna-se relevante ressaltar que, assim como a desmineralização e abrandamento de água, a síntese e catálise química, a purificação de salmoura, a remoção e a recuperação seletiva de metais, o processo de OR também se utiliza das membranas (resinas) de troca iônica, uma tecnologia eficaz e comumente conhecida no tratamento de água e efluentes. Em contato com a água, as resinas de troca iônica poderão liberar íons sódio ou hidrogênio (resinas catiônicas) ou hidroxila (resinas aniônicas), captando ainda “desta mesma água, respectivamente, cátions e ânions, que são responsáveis por seu teor de sólidos dissolvidos, indesejáveis a muitos processos industriais” (SAKAI, 2012, p.1), proporcionando assim uma purificação de ótima eficácia e garantindo uma água de qualidade (GABCO, 2017).

As resinas catiônicas são aquelas que possuem grupos funcionais carboxílico para as catiônicas fraca ou grupos sulfônicos para as catiônicas fortes. ‘As resinas catiônicas

<sup>9</sup> Disponível em <http://www.reefclub.com.br/community/index.php?threads/sistema-indicado-para-tratamento-de-%C3%A1gua-para-%C3%A1gua-de-reposi%C3%A7%C3%A3o-de-aqu%C3%A1rios-marinhos.2026>, acesso em julho de 2017.



são capazes de remover os cátions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , assim como outros metais etc, presentes em água ou em uma determinada solução'. As resinas aniônicas podem apresentar o grupo funcional quaternário de amônio, formando resinas fortemente básicas, ou o grupo funcional de amins terciárias, gerando resinas fracamente básicas. As resinas aniônicas fracamente básicas removem apenas ânions fortes, como sulfato, cloretos e nitratos, enquanto as resinas aniônicas fortemente básicas removem todos os ânions presentes na solução. Ambas as resinas aniônicas possuem aplicação na produção de água desmineralizada e descoloração de soluções orgânicas, sendo que as resinas aniônicas fortemente básicas também são utilizadas para remoção seletiva de flúor e polimento de condensado (GABCO, 2017, p.1).

Nos processos de tratamento da água, como no caso da dessalinização por OR, a utilização das membranas catiônicas e aniônicas requer uma atenção quanto aos protocolos técnicos, ou seja, devem ser seguidos todos os rígidos padrões técnicos e normas de segurança para sua aplicação, de forma a garantir a eficácia das mesmas, bem como, suas propriedades privilegiadas. As vantagens quanto à utilização das membranas catiônicas e aniônicas vão desde ao bom custo benefício, haja vista que a oferta desde procedimento é apresenta preços competitivos no mercado, à purificação e à filtragem da água de forma ágil, “sendo possível produzir um líquido de qualidade em um curto período” (GABCO, 2017, p.1).

Quanto à vida útil das membranas há uma variação de 5 a 10 anos, dependendo da qualidade da água e das condições de operação, e, portanto, tem uma taxa de substituição anual significativa (cerca de 15%). Portanto, uma vez que as membranas OR deixaram de ser efetivas no processo, uma vez que sua descarga e a sua capacidade de separação diminuem ou porque requerem uma maior pressão de operação, são descartadas pelas plantas dessalinizadoras. Atualmente, o Grupo de Tecnologia de Membranas da IMDEA *Water*, em cooperação com Sadyt e Valoriza Agua estão desenvolvendo o Projeto Europeu *TRANSFOMEM* (LIFE+2013ENV/ES/000751). Através do projeto eles estão transformando com sucesso as membranas OR descartadas em membranas de nano e ultrafiltração. O projeto está em fase piloto e está abrindo um campo de aplicação para membranas recicladas, que poderiam ter um potencial mercado a nível industrial se forem competitivas em termos de custo, efetividade, durabilidade, requisitos de energia e manutenção (*INSTITUTE IMDEA WATER*, 2016).

Convém registrar que a membrana ideal de OR é aquela que apresenta uma alta permeabilidade de água e uma alta rejeição de sais. Devido à cadeia aromática que compõe a membrana, o grau de retenção de sais desta é de 99%, enquanto que a pressão de alimentação varia em torno de 10 bar e a vazão é dependente da área superficial e da membrana e de seu modelo. Na prática, osmose reversa é aplicada como um processo de filtração de *crossflow*<sup>10</sup> (FLUID BRASIL, 2009). No entanto, para que a dessalinização por Osmose Reversa seja bem-sucedida é fundamental proteger as membranas, por isso é fundamental a observação da fase de pré-tratamento.

### 3.2 Pré-Tratamento da água salgada e água salobra

O tratamento preliminar da água ou pré-tratamento (figura 3) atua primeiramente sobre as impurezas mais “grosseiras” presentes na água salgada e salobra, tais como turbidez, sólidos em suspensão e material orgânico. Depois, dependendo da necessidade, são feitos tratamentos mais sofisticados para eliminação do material dissolvido. A falta de pré-tratamento de água é extremamente desaconselhável e dificulta enormemente o trabalho do

10 Segundo Daniel Brooke Peig na filtração de *crossflow* ou filtração tangencial, “parte do fluxo que alimenta a membrana é permeado e parte é eliminado em uma corrente denominada concentrado. A filtração tangencial é utilizada em sistemas que lidam com uma quantidade elevada de sólidos que podem obstruir em questão de segundos os poros das membranas bloqueando o fluxo” (AQUINO, 2011, p.1).

tratamento químico interno (quando é feito). Um tratamento preliminar que também deve ser executado é a remoção de oxigênio e outros gases dissolvidos na água, através de uma desaeração (TROVATTI, s/d).

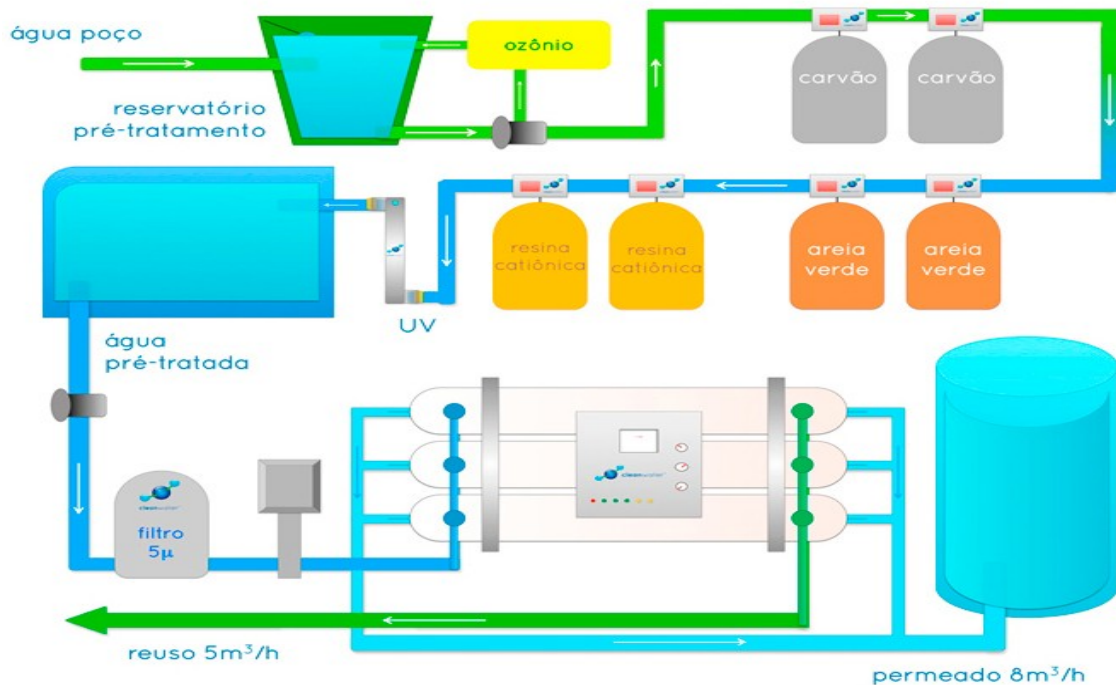


Figura 3: Esquema simplificado de um sistema de osmose reversa, iniciando com o pré-tratamento.  
Fonte: Clean Services WTC<sup>11</sup>

A fase de pré-tratamento é uma etapa do processo de dessalinização extremamente importante, entretanto essa fase varia de acordo com a tecnologia de dessalinização utilizada. Por exemplo, nos processos de dessalinização térmicos, os metais pesados devem ser considerados, a fim de evitar a corrosão dos equipamentos (ARAÚJO, 2013).

Quanto à Osmose Reversa, a fase de pré-tratamento visa à preservação das membranas, tendo em vista a sensibilidade das mesmas que requer uma remoção eficiente, não somente dos metais pesados e partículas de maiores dimensões, como também de partículas coloidais e em suspensão, para além da matéria orgânica natural, para que estes não fiquem depositados (incrustados) nas membranas (ARAÚJO, 2013).

Assim, visando preservar as membranas, ou seja, aumentar a vida útil dos elementos da membrana é fundamental que limpeza química seja executada de forma a remover todos os componentes dos depósitos, caso contrário, a membrana ficará colmatada de forma irreversível, exigindo a sua reposição, considerando que o depósito irreversível é aquele que não pode ser eliminado nas limpezas químicas, por isso que é fundamental a fase de pré-tratamento (ORISTANIO et al., 2006).

Segundo Malaeb e Ayoub (2010), o pré-tratamento consiste em coagulação química, filtração fina, ultrafiltração ou microfiltração, controle de escala, suavização e acidificação. O pré-tratamento ácido da água de alimentação de osmose reversa reduz o pH para controlar a escala de carbonato de cálcio aumentando a solubilidade, ao mesmo tempo em que suprime a contaminação biológica das membranas. Registra-se que o ácido clorídrico [HCl] ou ácido sulfúrico [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] são tipicamente usados no pré-tratamento ácido (KANG, CAO, 2012).

<sup>11</sup> Disponível em <http://www.cleanserviceswtc.com.br/site/osmose-reversa-or-wtc/>, acesso em 17 de julho de 2017.

De acordo com Moura et al. (2008) a utilização de soluções de ácido clorídrico com pH=3 tem a finalidade de combater as incrustações que se depositam sobre as membranas. Segundo os autores, o tipo de ácido para a solução depende do grau e do tipo de incrustação), principalmente as formadas a partir de sílica (compostos de dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>)).

Cabe mencionar ainda, de acordo com Moura et al. (2008) que por serem biologicamente estabilizadas, ou seja, por possuírem cargas baixas de microrganismos e baixa disponibilidade de compostos orgânicos utilizados por estes microrganismos, as águas subterrâneas poderão ser bombeadas para o sistema de OR sem necessidade de realizar pré-tratamento. No entanto, visando garantir um processo de dessalinização seguro poderá ser realizada adição de anti-incrustantes, correção de pH e pré-filtração através de filtros cartucho de 5µm.

Quanto à dessalinização as águas de superfície por meio da OR estas requerem que o pré-tratamento seja realizado, a fim remover os microrganismos, bem como, reduzir a quantidade de matéria orgânica disponível para o crescimento destes organismos nos canais de alimentação no interior dos módulos de membranas (MOURA et al., 2008).

### 3.3 Principais Métodos de Pré-Tratamento

De acordo com Oristanio et al (2006), há vários métodos de pré-tratamento de água de alimentação nos processos de dessalinização, sendo os principais:

a) Método Convencional – neste método é adicionado um coagulante na água a ser tratada, em seguida há a floculação, sedimentação das partículas maiores e, finalmente, a passagem por filtros de areia, antracito ou granada, para remover partículas menores. O método convencional é considerado o mais antigo, com ampla difusão em diversos campos do tratamento de água e dominado por projetistas de sistemas de tratamento de água.

b) Microfiltração e ultrafiltração – considera-se estes métodos as opções mais modernas no pré-tratamento para sistemas de osmose reversa, haja vista que possuem uma alta eficiência na remoção de sólidos em suspensão e coloides, ocupam pouco espaço e permitem a operação automatizada. No entanto, apresentam como desvantagens seus elevados custos de implantação e operação, além da remoção insuficiente dos causadores de depósito biológico nas membranas.

c) Tratamento Biológico – este método realiza tudo aquilo que o tratamento convencional ou por membranas de micro ou ultrafiltração não faz, ou seja, ele remove todo o material biodisponível presente na água de alimentação, principal responsável pela ocorrência do depósito biológico na superfície das membranas de osmose reversa, mesmo na presença de baixíssimas taxas de carbono orgânico total (TOC). Este método apresenta como principal desvantagem a ineficácia na remoção de material particulado, de sais inorgânicos e de compostos dissolvidos não biodegradáveis, além da alta sensibilidade dos reatores às variações de pH, oxigênio dissolvido (OD), temperatura e fontes de carbono, que influenciam no crescimento e manutenção dos microrganismos responsáveis pela degradação biológica.

d) Condicionamento Químico – é um método comumente utilizado em associação com algum dos métodos acima citados ou como parte de alguns deles. É uma prática comum no controle dos agentes causadores de depósitos em membranas, por meio de limpeza química que utiliza compostos químicos como os anti-incrustantes, objetivando reduzir a colmatação por deposição de sulfatos e carbonatos.

### 3.4 Poços Artesianos do Município de São Francisco de Itabapoana/RJ

Localizado no norte do estado do Rio de Janeiro, o município de São Francisco do Itapaboana (Figura 4) nasceu do território desmembrado do município de São João da Barra entre a foz dos rios Paraíba do Sul e Itapaboana na divisa com o estado do Espírito Santo, e ocupa uma área de 1.122,438 km<sup>2</sup>, sendo o segundo maior município do Estado do Rio de Janeiro em extensão territorial. Segundo o último censo, o município possui 40.495 habitantes (IBGE/2010).

O município tem sua economia dependente da agropecuária e da pesca, destacando-se na agricultura, sendo o maior produtor de cana-de-açúcar e de abacaxi do estado do Rio de Janeiro, cultivos, aliás, que requerem uso constante de pesticidas e adubação química que contribuem também para a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos (OLIVEIRA et al., 2006).

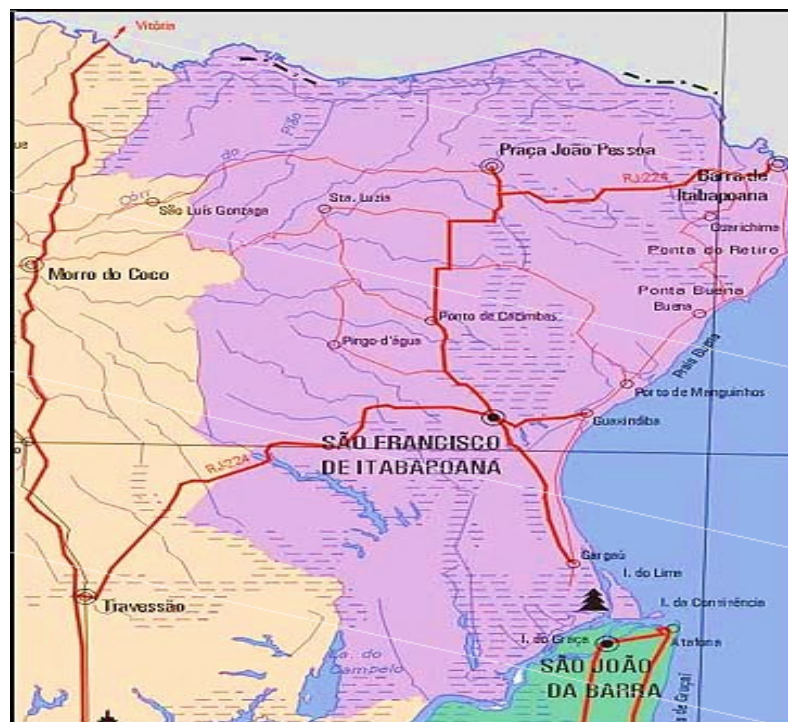


Figura 4: Mapa do município de São Francisco de Itapaboana.  
Fonte: LOCAWEB<sup>12</sup>

Associada a isto pode mencionar ainda que a composição da água subterrânea tem influência do material geológico que compõe o subsolo da região, pois lá está localizada uma das maiores jazidas de areias monazíticas do Brasil, exploradas pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB), com planta de beneficiamento, instalada na vila de Buena. Enfim, a associação dos fatores ora mencionados evidencia a baixa qualidade do aquífero subterrâneo, contribuindo assim para que a água se torne imprópria para o consumo humano, ou seja, não atendendo aos padrões de potabilidade exigidos por lei (SILVA, 2017).

Segundo Werneck, Fulgencio e Sales (2012) a característica hídrica do município de São Francisco de Itapaboana deve-se aos rios Itapaboana e Paraíba do Sul. O primeiro separa o município do estado vizinho Espírito Santo; o segundo, do município vizinho de São João da Barra. Os dois rios distanciam-se entre si em aproximadamente 100 km, fato este que contribui para que a população do município de São Francisco de Itapaboana seja carente de água doce. Sendo assim, por não haver recursos hídricos superficiais próximos a maioria das localidades do município, a população é dependente da captação de águas subterrâneas de poços

<sup>12</sup>Disponível [http://www.ivt.locaweb.com.br/ivt/upl/municipios/sao\\_francisco\\_de\\_itapaboana.jpg](http://www.ivt.locaweb.com.br/ivt/upl/municipios/sao_francisco_de_itapaboana.jpg), acesso em 26 de junho 2017.

profundos. Nas localidades mais interioranas há alguns córregos, porém de baixa vazão. Há também escassez das águas dos aquíferos artesianos que são de grande profundidade, exceto no sul do município. Alguns cursos d'água (margem oriental da estação ecológica do Guaxindiba e brejo da Tigela, por exemplo) contam com salinidade excessiva, comprometendo seu uso para irrigação ou abastecimento. Os supracitados autores salientam que até os poços artesianos da CEDAE<sup>13</sup>, como o de Barra de Itabapoana, apresentam baixa qualidade da água captada, sendo alvo de constantes reclamações.

A captação de água subterrânea proveniente dos poços artesianos é prática comum à população das localidades de Barra de Itabapoana e Guaxindiba. Nas vilas e nas áreas rurais há o predomínio dos poços domiciliares, do tipo cacimbas (ALVES et al., 2012).

Em estudo realizado por Alves et al (2012) buscou analisar a qualidade da água dos poços subterrâneos profundos da região. Na oportunidade foram coletadas amostra de água em 07 poços profundos, para análises físico-químicas e bacteriológicas, obtendo resultados insatisfatórios na maioria das amostras, concluindo assim que águas subterrâneas, de alguns poços profundos estão fora do padrão de potabilidade.

Num estudo mais específico, Silva, Hora, Oliveira (2017) buscou mapear a qualidade da água subterrânea consumida pela população do município de São Francisco de Itabapoana (figura 5), a partir de análises físico-químicas e bacteriológicas dos poços da região, sendo o resultado das mesmas correlacionadas aos parâmetros: turbidez, pH, salinidade, cloro total, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

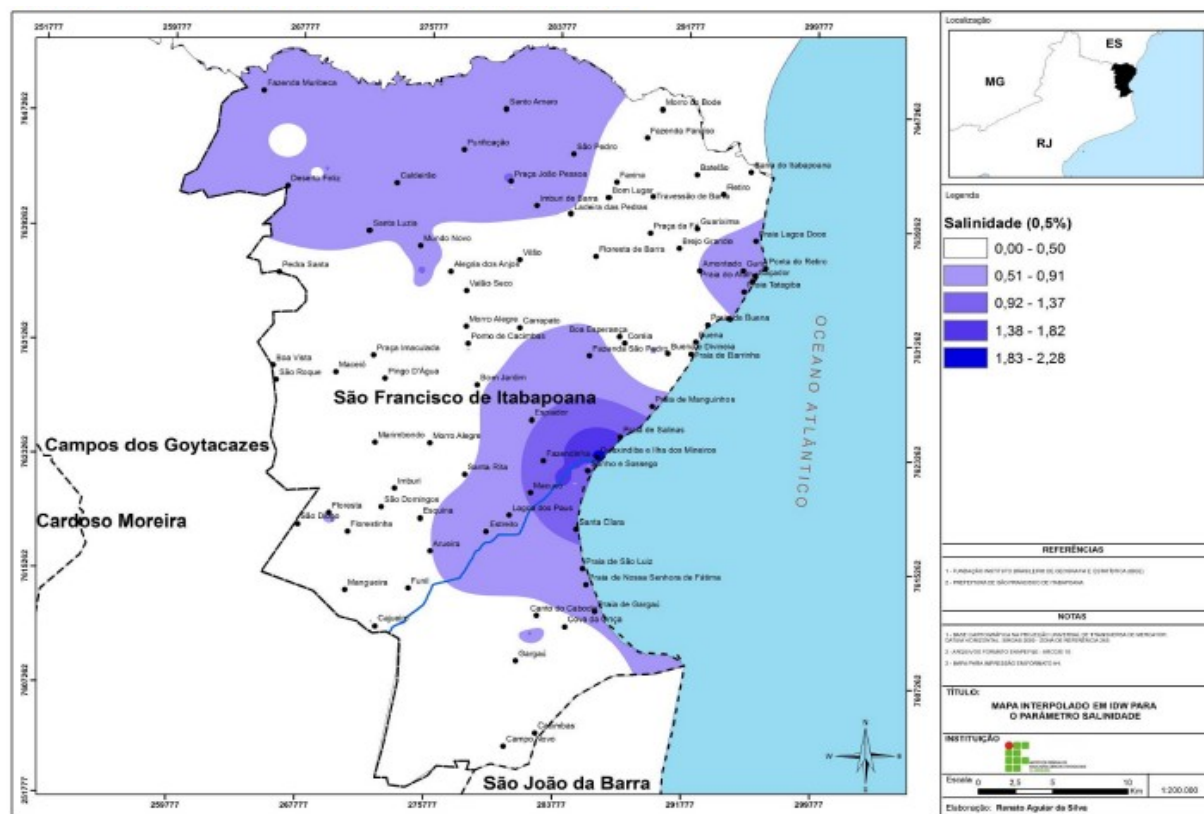


Figura 5: Mapa Temático do parâmetro de salinidade das amostras dos poços de São Francisco de Itabapoana. Fonte: Silva, Da Hora, Oliveira, 2017, p.266.

Especificamente quanto ao parâmetro salinidade, as análises realizadas constataram que a água subterrânea dos poços da região estava fora dos padrões de salinidade em 29,94% das amostras coletadas, apresentando teor de sais acima de 0,5‰ (Água Salobra - com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30 ‰), ou seja, ultrapassando o padrão para a água doce e

para o consumo humano, conforme determina a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) – alterada pelas Resoluções nº 410/2009 e nº 430/2011. Este índice elevado, possivelmente, está atribuído à percolação da água do mar nas localidades costeiras da região. “A visualização fica mais clara quando verificamos a área da foz do rio Guaxindiba, onde se pode observar que nela a influência marinha é muito maior que nas outras áreas da costa. Ao norte do município o mesmo comportamento é observado cuja origem provável é a intrusão de cunha salina via rio Itabapoana” (SILVA, HORA, 2017, p.265).

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

##### 4.1 Elementos para construção do Protótipo Experimental de Dessalinizador por OR

O protótipo experimental de dessalinizador por OR (foto 1) foi desenvolvido no Laboratório de Elementos Finais de Controle do Curso de Automação do Instituto Federal Fluminense - (IFF- *Campus* Centro).



Foto 1: Protótipo Experimental do Dessalinizador por Osmose Reversa  
Fonte: Fotografada pelo autor

O protótipo foi construído com os seguintes elementos abaixo descritos, a saber:

- 1 (um) Skid de aço com 2 (duas) prateleiras de madeira
- 1 (um) reservatório de plástico azul de 80L para água salobra
- Tubulação composta de:
  - a) 1 (um) tubo soldável de 20 mm

- b) 1 (uma) válvula de bloqueio esfera
- c) 1 (uma) união de 20 mm
- d) 1 (um) joelho de 20 mm
- Filtro composto por:
  - a) 1 (um) tubo PVC 150 mm de 1,4 m
  - b) 2 (dois) caps de 150 mm com 2 (dois) anéis de vedação e interno, constituído por:
    - ✓ 1 (uma) camada de manta acrílica
    - ✓ 25% de brita 1
    - ✓ 1 (uma) camada de manta acrílica
    - ✓ 25% de brita zero
    - ✓ 1 (uma) camada de manta acrílica
    - ✓ 30% de área
    - ✓ 1 (uma) camada de manta acrílica
    - ✓ 20 % de carvão ativado
    - ✓ 1 (uma) camada de manta acrílica
- Tubulação composta de:
  - a) 1 (um) joelho de 20 mm
  - b) 1 (um) tubo de 20 mm,
  - c) 2 (duas) válvulas de bloqueio esfera
  - d) 1 (uma) união de 20 mm
- 1 (um) reservatório de plástico azul de 80L para água pré-filtrada
- Filtro de papel na extremidade do tubo de entrada do reservatório de água pré-tratada preso com braçadeira de plástico
- Tubulação composta de:
  - a) 1 (um) tubo 20 mm
  - b) 1 (uma) válvula de bloqueio esfera
  - c) 1 (uma) união com redução de 20 mm para 3/8"
- 1 (uma) bomba de deslocamento positivo de 24V, com pressão de recalque de 150 psi
- Tubulação para o vaso de pressão e retorno para o reservatório de água pré-tratada composta por:
  - a) 1 (um) tubo de 22 mm para água quente
  - b) 1 (uma) união
  - c) 1 (uma) válvula esfera de bloqueio
  - d) 1 (um) "T" 22 mm
  - e) 1 (um) joelho 22 mm
  - f) 1 (uma) redução de 22 mm para 1/4"
- 1 (um) manômetro de 0 a 250 psi
- 1 (uma) válvula de regulagem
- 1 (um) vaso de pressão para membrana de 200
- 1 (uma) membrana 200
- 1 (uma) conexão e mangueira leitosa para 8 bar
- 1 (um) reservatório de plástico transparente de 20 L para água permeada
- 1 (uma) conexão mangueira leitosa para 8 bar com restritor de fluxo
- 1 (um) reservatório de plástico transparente de 20 L para resíduo
- 1 (um) conversor de 110 V para 24 V

#### **4.2 Preparação da Amostra de Água Salobra para o Teste Experimental**

As amostras de água salobra foram sintetizadas no LABFOZ – Laboratório do Polo de Inovação Tecnológica do IFF – Campos dos Goytacazes/RJ a partir da captação de

amostras de água do Rio Paraíba do Sul (coletada na frente da Polo de Inovação Tecnológica) e de água do mar (coletada próximo ao Porto do Açú – São João da Barra).

A sintetização das amostras de água salobra ocorreu por meio da diluição da água do mar (água salgada) em água do Rio Paraíba do Sul (água doce), de forma que apresentassem salinidades 1, 2 e 3 ‰. Sendo assim, as seguintes amostras das soluções foram utilizadas no teste experimental:

- a) Água do rio com salinidade igual a zero
- b) Solução com salinidade igual a 1,0‰
- c) Solução com salinidade igual a 2,0‰
- d) Solução com salinidade igual a 3,0‰

Após o tratamento, as amostras tiveram sua salinidade medida com o condutivímetro Digimed DM-32. Todas as amostras apresentaram salinidade 0‰ após o tratamento. Tal resultado indica 100% de remoção de sal das amostras, evidenciando a viabilidade técnica da Osmose Reversa na obtenção de água doce a partir de águas salobras.

Durante as etapas de passagem das 4 (quatro) soluções pelo protótipo, objetivou-se obter os seguintes resultados:

- 1º) 15 litros de água do rio com salinidade igual a zero - testar a mesma permeada e analisar se a amostra mantém o índice zero de salinidade;
- 2º) 15 litros de solução com salinidade igual a 1‰ (preparado no LABFOZ) - testar a mesma permeada e analisar se a amostra apresenta índice entre 0 e 0,5 ‰ de salinidade, conforme Resolução nº 357/2005 do CONAMA;
- 3º) 15 litros de solução com salinidade igual a 2‰ (preparado no LABFOZ) - testar a mesma permeada e se a amostra apresenta índice entre 0 e 0,5 ‰ de salinidade, conforme Resolução nº 357/2005 do CONAMA;
- 4º) 15 litros de solução com salinidade igual a 3‰ (preparado no LABFOZ) - testar a mesma permeada e analisar se a amostra apresenta índice entre 0 e 0,5 ‰ de salinidade, conforme Resolução nº 357/2005 do CONAMA.

### **4.3 Procedimentos para o funcionamento do Protótipo Experimental - Dessalinizador por OR**

O protótipo experimental do dessalinizador por OR composto pelos elementos mencionados no tópico 3.1, com a disposição dos 2 (dois) reservatórios de cor azul de 80 L, sendo um para simulação do poço com água salobra e outro para armazenamento da água pré-filtrada. Quanto aos reservatórios plásticos transparentes de 20 L, foram utilizados para o acondicionamento da água permeada e dos resíduos.

O procedimento apresentou a seguinte dinâmica (sentido horário), considerando a ordem numérica dos elementos que compõem o dessalinizador experimental, a seguir descritos:

Tanque (01) – tanque de 80 litros para armazenamento d'água salobra.

Válvula esfera – válvula de bloqueio para manter água no tanque.

União – para desmontagem.

Tubo de ½” – para escoar à água salobra.

Joelho – para mudança de direção do escoamento.

Filtro de área (02) – Para reter impurezas, composto de camadas de brita 1, brita 0, areia grossa, areia fina, carvão ativado e todas as camadas separadas por manta acrílica.

Joelho – mudança de direção

Tubo de ½” – escoar à água do filtro para tanque (3).

Válvula esfera – válvula de bloqueio d'água do filtro de areia.



União - para desmontagem.

Válvula de esfera – válvula de bloqueio de entrada do tanque (03).

Filtro de papel 14micra.

Tanque (03) – tanque de 80 litros para armazenamento d'água salobra após filtragem pelo filtro de área.

Válvula de esfera – para bloqueio da água armazenada no tanque (03).

União – para desmontagem

Tubo ½” - para escoamento de água para bomba (04).

Bomba de alta pressão (04) – para pressurizar à água salobra conta membrana.

Joelho de 20 – mudança de direção.

Tubo de 20 – tubo de água quente por resistir a maiores pressões.

PT – transmissor de pressão.

FT transmissor de vazão.

PI – indicador de pressão.

Válvula de regulação de pressão.

Vaso de pressão com membrana para osmose reversa (05) – para promover a reação de íons+ e íons-.

Restrito de fluxo - para aumentar a produtividade d'água permeada.

Tubo leitoso de 1/4” - para escoar os resíduos.

Tanque transparente de 20 litros (07) – para armazenar resíduos.

Tubo leitoso de ¼” para escoar à água permeada.

Tanque transparente de 20 litros (07) – para armazenar água permeada.

Disjuntor (09) – para ligar e desligar bomba (04).

No período de 24 de julho a 11 de agosto de 2017 foram realizados os testes de des-salinização experimental, sendo medidos durante os procedimentos realizados os valores referentes à amostra de solução (água salobra) equivalente à captada nos poços artesianos de São Francisco do Itabapoana, de forma a garantir a representatividade das características dos poços daquela região, cuja salinidade apresenta-se acima de 0,5‰, ou seja, ultrapassando o padrão para a água doce e o consumo humano, sendo este fato, possivelmente, atribuído à percolação da água do mar nas localidades costeiras da região (ver tópico 3.2.1 do artigo 1).

Quanto ao funcionamento do protótipo (figura 6) o mesmo foi realizado da seguinte forma: a amostra da água salobra inicialmente foi armazenada no tanque (01). Abriu-se a válvula esfera, então a água escoou passando pelo filtro de área a fim de reter as impurezas, passando pelo filtro de papel para reter impurezas mais finas. Em seguida, a água salobra limpa foi armazenada no tanque (03); ao ligar a bomba de alta pressão (04) com a válvula de regulação de pressão aberta ocorreu o retorno desta água para o tanque (03). À medida que a válvula de regulação é fechada, a água salobra foi pressurizada contra a membrana no vaso de pressão (05) provocando uma reação química de íons + e íons – contribuindo assim para que as soluções mais salinas (resíduos) fossem para o tanque de resíduos (07) e, conseqüentemente, a água permeada para o tanque (08).

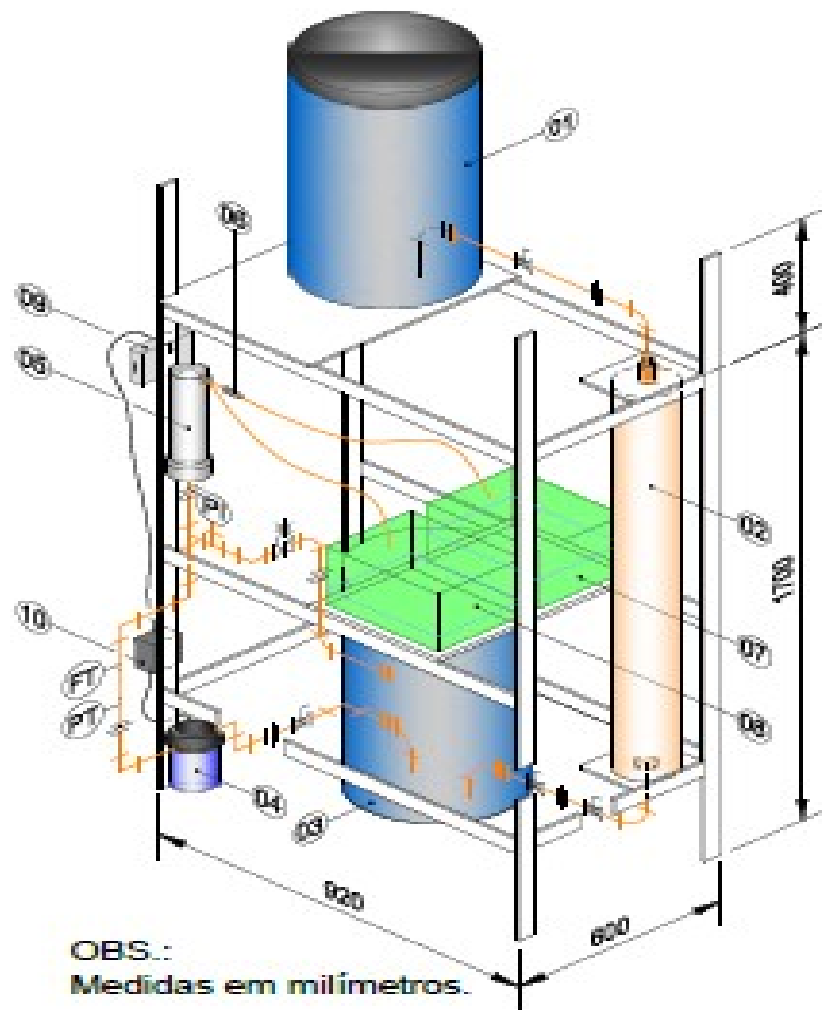


Figura 6: Esquema do funcionamento do Protótipo Experimental do Dessalinizador por OR  
Fonte: Ilustração Autocad -Wellington S.Gomes - Arquitetura e Urbanismo

## 5. RESULTADOS

O protótipo de dessalinização por OR foi testado com 3 (três) níveis de concentração de sal (1,0‰; 2,0‰ e 3‰), similares aos encontrados nos poços com água salobra da região de São Francisco de Itabapoana. Foi possível permear para todos os níveis de salinidade uma projeção de volume de 432 L/dia (equivalente a 18 L/h e 03 L/min), sendo todos eles reduzidos ao nível de salinidade de 0,00‰, sendo as amostras aferidas por meio do condutivímetro Digimed DM-32.

Foram realizados 3 (três) testes em períodos (semanas) diferentes, porém com as amostras e procedimentos padronizados. O primeiro teste foi realizado no período de 24/07 a 28/07/2017; o segundo teste foi realizado no período de 31/07 a 04/08/2017; e o terceiro e último teste foi realizado no período de 07/08 a 11/08/2017.

As tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados obtidos a partir da realização do procedimento de dessalinização experimental para uma amostra de 15 L, no período de 24 de julho a 11 de agosto de 2017.

Tabela 1 – Índices obtidos no 1º Teste Experimental

Amostra (15 L)	Período de Teste				
	24/07	25/07	26/07	27/07	28/07
Salinidade da água de entrada (‰)	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0
Salinidade do permeado (‰)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Permeado produzido (L/min)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Pressão de entrada(psi)	75	75	75	75	75
Tempo médio de operação por amostra (min)	15	15	15	15	15
Resíduo produzido (L/min)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Fonte: Elaboração própria

Tabela 2 – Índices obtidos no 2º Teste Experimental

Amostra (15 L)	Período de Teste				
	31/07	01/08	02/08	03/08	04/08
Salinidade da água de entrada (‰)	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0
Salinidade do permeado (‰)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Permeado produzido (L/min)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Pressão de entrada(psi)	75	75	75	75	75
Tempo médio de operação por amostra (min)	15	15	15	15	15
Resíduo produzido (L/min)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3 – Índices obtidos no 3º Teste Experimental

Período de Teste				
------------------	--	--	--	--

Amostra (15 L)	07/08	08/08	09/08	10/08	11/08
Salinidade da água de entrada (‰)	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0
Salinidade do permeado (‰)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Permeado produzido (L/min)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Pressão de entrada(psi)	75	75	75	75	75
Tempo médio de operação por amostra (min)	15	15	15	15	15
Resíduo produzido (L/min)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Fonte: Elaboração própria

Ao analisar os valores obtidos por meio dos testes experimentais de dessalinização por OR restou demonstrada a eficiência do protótipo, tendo em vista que o nível de concentração de salinidade da amostra de solução (água salobra), presente nos poços artesanais da região de São Francisco de Itabapoana, foi reduzido a 0,00‰ evidenciando assim a viabilidade técnica do equipamento e da implantação desse sistema na referida região (Figura 7).

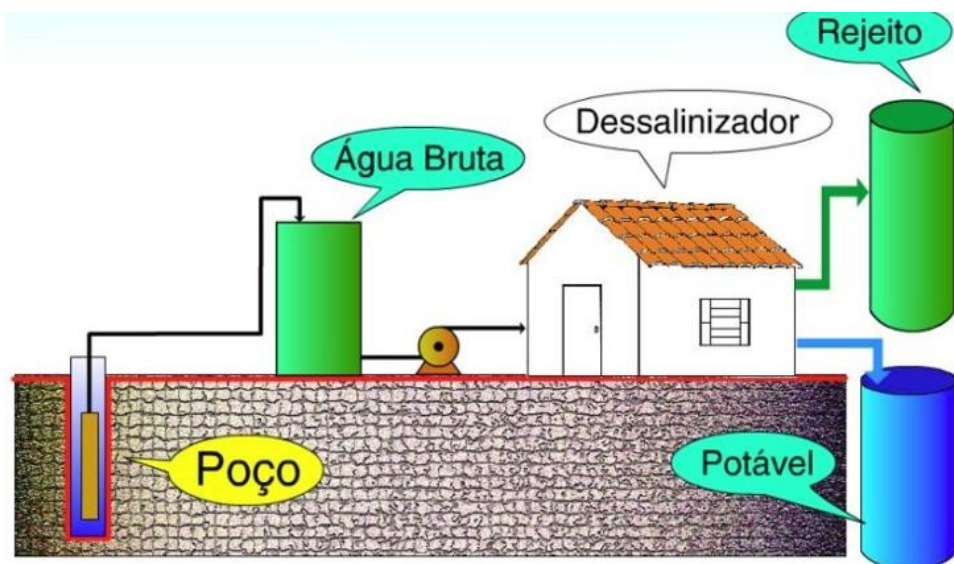


Figura 7: Exemplo de implantação de Processo de Dessalinização por OR  
 Fonte: Governo do Estado do Pernambuco - GTI-SRHE/2012<sup>14</sup>

Por fim, cabe evidenciar ainda que apesar do equipamento de dessalinização por OR utilizar energia elétrica para seu funcionamento, o mesmo poderá ser acoplado a um sistema de energia fotovoltaica, visando tornar assim o processo de dessalinização mais econômico, haja

<sup>14</sup> Disponível em [http://www.sirh.srh.pe.gov.br/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=464](http://www.sirh.srh.pe.gov.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=464), acesso 26 de junho 2017.

vista que trará maior flexibilidade quanto à alternância de energia e, conseqüentemente, redução no custo.

## 6. CONCLUSÃO

A partir da Revisão de Literatura realizada foi possível constatar que o pré-tratamento é uma fase cujo objetivo é reduzir o nível de incrustações presentes na água de alimentação do sistema, a partir da remoção de partículas micropoluentes e microrganismos, com intuito de preservar a formação de incrustação inorgânica e, conseqüentemente, melhorar a qualidade da água de alimentação, e um resultado seguro ao final da operação do sistema, isto é, água doce.

Assim, com base na literatura pesquisada tornou-se possível concluir que a dessalinização por membranas – Osmose Reversa (OR) - apresenta-se como um processo viável aos casos de dessalinização de água salobra, obtendo-se água doce, com nível 0,00‰ de salinidade.

Registra-se que a parte teórica deste estudo foi ratificada a partir da construção do protótipo experimental de um dessalinizador por OR, que analisou amostra de solução (água salobra) equivalente a 29,94 % dos poços artesianos de São Francisco de Itabapoana. Após o processo de dessalinização por OR realizado em 3 (três) amostras de soluções salinas (1,0‰; 2,0‰ e 3‰) foi possível obter água doce a partir de 100% da remoção de sal das mesmas, evidenciando assim a viabilidade técnica da Osmose Reversa. Contudo, a fim de tornar a água dessalinizada (água doce) em potável para o consumo humano é necessário que haja sua desinfecção, isto é, que seja tratada com cloro (pós-tratamento) a fim de garantir que sua qualidade biológica seja mantida até a hora do consumo. Além disso, é fundamental a adição dos minerais necessários para a potabilidade da água.

Por fim, concluiu-se que o Método de Dessalinização por Osmose Reversa apresenta-se tecnicamente relevante e viável para tratamento de água salobra, com indicação para implantação no município de São Francisco de Itabapoana, estendido aos demais municípios e localidades com características semelhantes à amostra de solução salina (água salobra) analisada.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. D. G., CHRISPIM, Z. M. P., DA SILVA JR, G. C., & MELLO, C. L. **Qualidade das Águas Subterrâneas dos Poços Profundos do Município de São Francisco de Itabapoana-RJ**, Brasil. Águas Subterrâneas. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. VII FENÁGUA - Feira Nacional da Água. XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 2012.

AQUINO, A. As diferenças entre nanofiltração, ultrafiltração, microfiltração e osmose reversa. **Revista TAE – Especializada em Tratamento de Águas e Efluentes**. 02/11/2011. Disponível em <<http://www.revistatae.com.br/3201-noticias>> Acesso em 01 de out. 2017.

ARAÚJO, A.C.S.P.D. **Contribuição para o estudo da viabilidade/sustentabilidade da dessalinização enquanto técnica de tratamento de água** (Doctoral dissertation, Faculdade de Ciências e Tecnologia), 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em 11 de fev. 2016.

CAETANO, E.; SILVA NETO, R. **Considerações sobre Pré-Tratamento para Processo de Dessalinização por Osmose Reversa**. II Congresso Internacional de Hidrossedimentologia, 2017.

CNPq. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Tecnologias para dessalinização da água. In: **Água: desafios da sociedade**. Prêmio Jovem Cientista. Caderno do Professor. Capítulo 4, pp. 71-85, 2014.

FARRUGIA B. Membranas de osmose reversa: aplicações e novidades do mercado. **Revista TAE** – especializada em tratamento de água & efluentes. 2013.

FLUID BRASIL. **Manual de Operação Osmose Reversa**, 2009. Disponível em <[http://www.abia.org.br/ftp/F0834G005\\_0Osmose.pdf](http://www.abia.org.br/ftp/F0834G005_0Osmose.pdf)> Acesso em 12 fev. 2017.

GABCO. **Soluções para Tratamento de Água. Resinas Catiônicas e Aniônicas**. 2017. Disponível em <<http://www.gabco.com.br/resinas-cationicas-e-anionicas>> Acesso 15 de set. 2017.

GUERREIRO, M. L. F. B. **Dessalinização para Produção de Água Potável**. Perspectivas para Portugal. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Populacional 2010**. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados\\_dou/RJ2010.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_dou/RJ2010.pdf)> Acesso em 22 jul. 2017.

INSTITUTE IMDEA WATER. **Strategies for reach a circular economy model in membrane technology**. 2016. Disponível em <<http://www.water.imdea.org/news/2016/strategies-reach-circular-economy-model-membrane-technology>> Acesso em 11 ago. 2017.

KANG, G. D.; CAO, Y. M. Development of antifouling reverse osmosis membranes for water treatment: a review. **Water research**, 46(3), 584-600, 2012.

MALAEB, L.; AYOUB, G. M. Reverse osmosis technology for water treatment: State of the art review / **Desalination** 267 (2011) 1–8, 2010.

MOURA, J. P.; MONTEIRO, G. S.; SILVA, J. N.; PINTO, F. A. & FRANÇA, K. P. Aplicações do Processo de Osmose Reversa para o aproveitamento de Água Salobra do Semi-Árido Nordeste. In: **Revista Águas Subterrâneas** (suplemento). XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2008. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23343/15435>> Acesso em 11 jan. 2017.

LANDABURU-AGUIRRE, J.; GARCIA-PACHECO, R.; MOLINA, S.; et al. Fouling prevention, preparing for re-use and membrane recycling. Towards circular economy in RO desalination. **Desalination**. v. 393, ed. especial: SI, pp: 16-30, Elsevier, 2016.

OLIVEIRA, G. R., DA GLÓRIA ALVES, M., DE ALMEIDA, F. T., & LOSANO, J. **Caracterização Hidroquímica Preliminar das Águas Subterrâneas na Região de Buena-Município de São Francisco de Itabapoana/RJ**. 2006. Disponível em <<https://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/IIgeojovem2006/2006-oliveira-alves.pdf>> Acesso em 27 julho de 2017.

ORISTANIO, B. S.; PEIG, D. B.; LOPES, M. A. S. 2006. **Desenvolvimento de um sistema de pré-tratamento para osmose reversa**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Projeto de Formatura – Engenharia Ambiental. São Paulo, 2006.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RODRIGUES, A.L.P.; MENEZES, C.A.S.; SANTOS, K.K.N. **Proposta de Recuperação da Água Proveniente do Processo de Dessalinização por Osmose Reversa: um estudo de caso em uma indústria de papel e celulose**. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil. João Pessoa/PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016.

RODRÍGUEZ-CALVO, A., SILVA-CASTRO, G. A., OSORIO, F., GONZÁLEZ-LÓPEZ, J. & CALVO, C. Reverse osmosis seawater desalination: current status of membrane systems. **Desalination and Water Treatment**, 56(4), 849-861, 2015.

SAKAI, S. Resinas trocadoras de íons, soluções a favor do tratamento de água e efluentes. **Revista TAE – Especializada em Tratamento de Águas e Efluentes**. 02/10/2012. Disponível em <<http://www.revistatae.com.br/4915-noticias>> Acesso em 18 de out. 2017.

SILVA, R. A. **Mapeamento da Qualidade da Água de Poços Rasos em São Francisco de Itabapoana – RJ**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia. Área de concentração: Análise Ambiental e Geoprocessamento. Avaliação e Gestão Ambiental. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2013.

SILVA, R. A.; DA HORA, H. R. M.; OLIVEIRA, V. P. S. Georeferenciamento dos índices de qualidade da água subterrânea na foz das bacias do Paraíba do Sul e Itabapoana (Brasil). **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 3, p. 255-271, 2017.

TROVATI J. s/d. **Tratamento de Água para Geração de Vapor: caldeiras**. Curso On-line – Tratamento de Água (Geração de Vapor). Disponível em: <<http://www.tratamentodeagua.com.br/curso>> Acesso em 22 jan. 2016.

WERNECK, L. G.; FULGENCIO, A. G.; SALES, C. W. Conjuntura dos Recursos Hídricos do Município de São Francisco de Itabapoana, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 6 n. 1, p. 69-83, jan. / jun. 2012.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

A presente dissertação, por meio dos dois artigos elaborados, enfatizou o fato de que a escassez hídrica no planeta tornou uma realidade cada vez mais intensa e próxima geograficamente, como é o caso dos municípios fluminenses: São João da Barra e São Francisco de Itabapoana.

Apesar das especificidades de cada município, para ambos é comum a prática de captação de água subterrânea. Devida à proximidade territorial das regiões, tendo em vista que são municípios limítrofes e litorâneos, a água subterrânea, em algumas localidades, apresenta características físico-químicas similares, principalmente no que tange ao teor de sais acima do padrão de salinidade, conforme determina a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) – alterada pelas Resoluções nº 410/2009 e nº 430/2011, ou seja, imprópria para consumo humano e animal, bem como para uso em irrigação, por exemplo.

Isto posto, a partir da construção do protótipo para Dessalinização por Osmose Reversa de baixo custo, foi possível constatar sua viabilidade, pois o mesmo mostrou-se eficiente no tratamento da água salobra colaborando na solução do problema que afeta os diversos pequenos produtores rurais dos municípios de São Francisco do Itabapoana e São João da Barra, bem como a população de algumas localidades onde há escassez de água doce. Ademais, trata-se de uma tecnologia que poderá ser estendida a outros municípios da Região Norte Fluminense onde há déficit de água doce para abastecimento local.

Considerando ser um tema que extrema relevância, sugere-se que novas pesquisas nesta área sejam realizadas, principalmente com relação ao rejeito da água dessalinizada. Para outras pesquisas, sugere-se de forma pontual o estudo acerca de um sistema de automação, referente à condutividade na saída do rejeito a fim de reaproveitá-lo no protótipo, desde que não comprometa a membrana com a saturação.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA APRESENTAÇÃO

BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (orgs). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010.

LÖBLER, C.A.; SILVÉRIO, J.L.; TERRA, L.G. Mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas e uso do solo na área urbana do município de Nova Palma, RS. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p.587-592, 2014.

PEDLOWSKI, M. **Salinização de água e solos preocupa comunidades no entorno do Porto do Açú. Afinal, quem é “o pai da criança feia”?** Fevereiro de 2015. Disponível em: <<https://blogdopedlowski.com/2015/02/02/salinizacao-de-agua-e-solos-preocupa-comunidades-no-entorno-do-porto-do-acu-afinal-quem-e-o-pai-da-crianca-feia/>> Acesso em 23 jul. 2016.

RINCON, P. **Cientistas desenvolvem 'peneira' de grafeno que transforma água do mar em potável**. In: BBC Brasil, 03/02/2017. Disponível em <<http://www.bbc.com/portuguese/geral-39483587>> Acesso em 01 out. 2017.

RUBIM, C. Dessalinização de água do mar, um mercado a ser explorado no Brasil. **Revista TAE**, ano II, ed. n. 7, jun./jul. 2012. Disponível em <<http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=4263>> Acesso em 24 jul. 2016.

WERNECK, L. G.; FULGENCIO, A. G.; SALES, C. W. Conjuntura dos Recursos Hídricos do Município de São Francisco de Itabapoana, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 6 n. 1, p. 69-83, jan. / jun. 2012.