

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS - APMA

JOEL MORAIS DA SILVA

A TECNOLOGIA DA DESSALINIZAÇÃO

RIO DE JANEIRO
2014

JOEL MORAIS DA SILVA

A TECNOLOGIA DA DESSALINIZAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Prof. Alexandre Silva de Lima.

RIO DE JANEIRO

2014

JOEL MORAIS DA SILVA

A TECNOLOGIA DA DESSALINIZAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Prof. Alexandre Silva de Lima.

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho a minha querida esposa e minha filha pelo incentivo e paciência até a realização deste curso. Sobretudo ao meu Deus por mais uma vitória alcançada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conduzir a conclusão dessa tarefa.

Agradeço a todos que diretamente e indiretamente contribuíram para a elaboração desse trabalho.

RESUMO

A busca pela melhor técnica para a produção de água doce em nível de abastecimento estratégico, com a utilização dos dessalinizadores, deverá ser a consciência global do futuro das nações, pois é inevitável a crise de abastecimento em função das mudanças climáticas. As novas tecnologias estão no mercado. Esse benefício deve ser aproveitado dentro de uma nova estruturação da matriz hídrica potável para o homem. São dessalinizadores térmicos, por membranas e uma nova tecnologia de dessalinização iônica. O conhecimento a nível molecular e técnicas de processamentos são as diferenças básicas para o mesmo resultado desejado: a produção de água doce por meio da dessalinização. O mercado consumidor está em plena expansão a nível industrial, porém a nível social está no início de um grande despertar para a realidade do futuro: os dessalinizadores como matriz sustentável do abastecimento de água no sistema residencial das cidades de todo o mundo.

Palavra-chave: Dessalinizadores. Osmose. Técnicas. Estratégias.

ABSTRACT

The search for the best technique for the production of sweet-level strategic water supply, with the use of desalination plants should be global awareness of the future of nations, it is inevitable supply crisis due to climate change. New technologies are in the market for a new structuring of the water matrix in terms of drinkability for man. They are thermal desalination, membrane technology and a new ionic desalination. knowing the molecular level processes and techniques are basic differences for the same desired result: production of fresh water by desalination. The consumer market is booming industrial level, but on a social level is the beginning of a great awakening to the reality of the future: the matrix of desalination plants as sustainable water supply in the residential system of cities across the world.

Keyword: Desalters. Osmosis. Techniques. Strategies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Dessalinização Por Corrente Elétrica	10
Figura 2 -	Planta Industrial Dessalinizadora Por Osmose Reversa	11
Figura 3 -	Dessalinizadora maior do mundo em Israel	11
Figura 4 -	Ciclo da Dessalinização Solar	16
Figura 5 -	Posição de Melhor rendimento da unidade Destilatória	16
Figura 6 -	Unidade Destilatória	18
Figura 7 -	Parte interna do destilador	18
Figura 8 -	Ciclo de Destilação	18
Figura 9 -	Placas de Titânio Destilador	19
Figura 10 -	Destilação Multe Estágios	20
Figura 11 -	Planta de Dessalinização Multe Estágios	20
Figura 12 -	Planta de Destilação Por Múltiplo Efeito	21
Figura 13 -	Dessalinizador Por Compressão a Vapor	22
Figura 14 -	Dessalinização Por Congelação a Vácuo	23
Figura 15 -	Dessalinização Por Osmose Reversa	25
Figura 16 -	Esquema da instalação Por Osmose Reversa	26
Figura 17 -	Membrana Semipermeável	27
Figura 18 -	Unidade de Osmose Reversa	27
Figura 19 -	Fenômeno do Eletro Diálise	28
Figura 20 -	Esquema de Dessalinização por Eletro Diálise	29
Figura 21 -	Unidade Híbrida Externa	29
Figura 22 -	Unidade Híbrida Interna	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	DESSALINIZAÇÃO ANTIGA, ATUAL E MODERNA	10
3	DESSALINIZAÇÃO TÉRMICA	12
3.1	Técnicas de Dessalinização Térmicas	12
3.1.1	Dessalinização Solar	12
3.1.2	Dessalinização Térmica a Vácuo	17
3.1.3	Dessalinização Multe Estágios	20
3.1.4	Dessalinização Multe Efeito	20
3.1.5	Dessalinização Por Compressão a Vapor	21
3.1.6	Dessalinização Por Congelação a Vácuo	22
3.1.7	Dessalinização Por Congelação Refrigerante Secundário	23
3.1.8	Dessalinização Por Formação de Hidratos de Clatratos	24
3.1.9	Processo de Dessalinização Por Membrana	24
3.1.10	Dessalinização Por Membrana	28
3.1.11	Sistema de Dessalinização Híbrido	29
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1 INTRODUÇÃO

Embora as autoridades internacionais e nacionais tenham ciência que o clima no mundo está alterado e cientificamente sem solução para as questões da desordem cíclica da chuva, todavia teremos que conviver por gerações com a seca em terras férteis, perdas de safras de alimento, inundações em cidades metrópoles. O problema maior gerado por tudo isso está relacionado à água doce tão necessária para a manutenção da vida no mundo. Com a seca temos a escassez que é inviável para a sobrevivência em massa da humanidade e o excesso chuva temos enchentes que varrem cidades e campos deixando suas populações em flagelo e com o sistema de potabilidade da água comprometido.

São desafios que terão de ser enfrentados com estratégias políticas para vencer o inevitável. Se olharmos para o passado vemos que uma grande aliada se prepara para esses desafios, pois como seria hoje sem a ciência da computação e suas variadas tecnologias, por exemplo. Começar a pensar em uma solução no meio do caos é como um perdido no deserto a busca do caminho para poder chegar ao seu destino.

Hoje, aos nossos olhos, a tecnologia se preparou para os grandes problemas que já estão causando desgraça no mundo. A falta de água para o homem, para o campo e indústrias. O que é usado nas embarcações marítimas há muito tempo como dessalinizadores por evaporação vacu métrica sofreu um avanço tecnológico no processo de dessalilização da água do mar e salobra. Reduziu o custo de fabricação, compactou o sistema, aperfeiçoou a manutenção e aumentou a produção diária do processo. O que para as indústrias onde o acesso à água doce tem um custo elevado, como no caso as plataformas offshore, o pedido de água doce extra contrato com a contratante pode chega ao mesmo valor em m³ do óleo diesel necessário as suas atividades. Desta forma abraçamos essa máquina do futuro que hoje já está sendo vista por alguns como o grande negócio industrial comercial e humanitário.

2 DESSALINIZAÇÃO ANTIGA, ATUAL E MODERNA

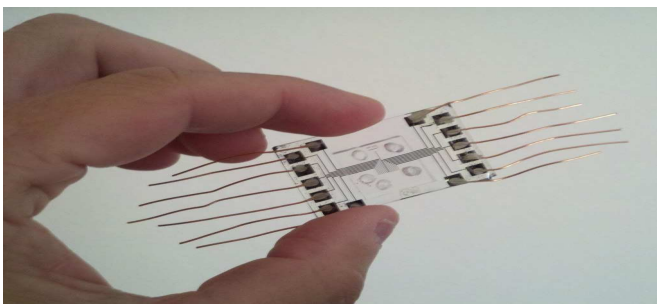
Cerca de 1.370.000.000 km³ de toda água do planeta, 97% é composta por água salgada. E somente 1% é destinada para o consumo do qual a sua potabilidade deve estar dentro dos padrões da OMS (ORGANIZAÇÃO MUNDUAL DE SAÚDE).

Sem o ciclo da chuva todo o sistema de vida na terra está comprometido, pois sabemos que os rios, lagos, sangas e igarapés são reabastecidos pela precipitação da água da chuva do céu. Neste ciclo encontramos dois fenômenos de dessalinização: por evaporação da água do mar e por osmose reversa nos rios subterrâneos da terra e mares. Certo é que ao observar esses fenômenos naturais o homem adquiriu conhecimento para os grandes problemas onde a escassez de água doce era um grande obstáculo ao desenvolvimento econômico, político e social.

Com a mecanização no período da revolução industrial países onde a escassez de água doce era hostil passaram a utilizar um sistema de desmineralização da água do mar por evaporação térmica conhecida como destiladores que foram introduzidos nos navios para suprir e aumentar a sua autonomia nos mares. E, após os anos 60 uma nova tecnologia revolucionou o processo de dessalinização da água por osmose reversa.

Atualmente cientistas da Universidade do Texas (USA) e da Universidade de Hamburg, na Alemanha inventaram a terceira tecnologia de dessalinização mais eficiente e econômica. A neutralização iônica do sal.

Figura 1 - Dessalinização Por Corrente Elétrica



A desmineralização da água do mar para consumo humano deve estar abaixo dos 500 mg/l o que é para o consumo humano, porém a sua potabilidade deve seguir padrões internacionais e dos órgãos reguladores de controle de qualidade de cada município do País. Os minerais que foram retirados da água no processo de dessalinização devem ser repostos em concentrações como: sulfato de magnésio, bicarbonato de cálcio, cloreto de sódio e outros minerais com a água não ácida.

Mais de 120 países tem estações dessalinizadoras e a maioria delas está no oriente médio, Espanha e Estados Unidos. Atualmente Israel tem a maior dessalinizadora do mundo.

Figura 2 – Planta Industrial Dessalinizadora Por Osmose Reversa



Fonte: <http://www.degremont.com.br/PT/Tecnologia/Pages/Dessalinizacao>.

Figura 3 – Dessalinizadora maior do mundo em Israel



Fonte: <http://blogs.odiaro.com>.

3 DESSALINIZAÇÃO TÉRMICA

O princípio da dessalinização térmica está baseado no processo simples de destilação da água no seu ciclo natural, porém as técnicas empregadas e que as diferenciam. Para cada uma delas o rendimento e consumo de energia são fatores determinantes para a sua utilização. No caso dos países como o do oriente médio onde o petróleo é abundante não havia uma grande preocupação quanto à utilização de energia em processos de dessalinização térmica a temperatura ambiente. Onde o ciclo natural da evaporação é aplicado a água do mar aquecida em tanques e o vapor produzido é condensado em contato com a parte com temperatura mais baixa onde a água do mar está circulando na sua temperatura natural.

3.1 Técnicas de destilação térmica

As técnicas são: Dessalinização Solar; Destilador Térmico a Vácuo; Dessalinização Múltiplos Estágios; Dessalinização Múltiplo Efeito; Dessalinização Por Compressão de Vapor; Dessalinização Por Congelação a Vácuo; Dessalinização Por Congelação Através de Refrigerante Secundário; Dessalinização Por Formação de Hidratos de Gás Ou Clatratos.

3.1.1 Dessalinização Solar

É uma tecnologia muito simples de destilação solar fornecida pela própria natureza cujo fenômeno da evaporação da água está constantemente sendo realizadas nas superfícies da água fornece as condições ideais de destilação natural, porém requer uma estrutura em ampla área de terreno de exposição à insolação solar, o que restringe a produção de água doce porque o custo da destilação solar tem o preço inicial elevado e a manutenção tem que ser especializada, contudo os custos operacionais são significativamente menores em relação as outras tecnologias.

A destilação solar em um tanque com água do mar se processa da seguinte forma: a radiação solar aquece a água contida num tanque a fim de reter o calor. A água vaporiza-se e o vapor condensa-se na parte superior do vidro construído de vidro para permitir a passagem da luz solar e favorecer uma temperatura mais baixa para que haja a condensação do vapor. O tanque na sua base tem um material escuro com o objetivo de absorver o calor em um tanque raso. A energia solar na medida em que chega ao destilador provoca a evaporação da água salgada e continua até o cair do sol e quando haja diferença de temperatura entre a água salgada e a área de interface que se resfria. O vapor condensa-se na cobertura de vidro (que tem uma temperatura mais baixa) e a lâmina de água destilada é então coletada nas calhas de recolha localizadas na extremidade inferior da cobertura do destilador. A energia solar é aprisionada dentro do equipamento devido ao vidro ter transparência alta. Quando a água evapora, as impurezas com menor poder de evaporação ficam retidas no fundo do equipamento. O sal necessitaria de uma temperatura de 1400°C para evaporar. A radiação solar, direta e difusa, ao chegar à cobertura sofre os efeitos de reflexão, absorção e transmissão. Depois de refletida e absorvida na cobertura sofre o efeito de reflexão, absorção e transmissão. Na superfície da água e no fundo do tanque sofre reflexão, absorção favorecendo a evaporação da água num processo mais acelerado de acordo com o projeto de construção do tanque. Devido ao efeito da reflexão que o próprio vidro de cobertura reflete na água faz com que o próprio tanque vire uma estufa tendo como a cobertura uma região favorável para a condensação dos vapores pela diferença de temperatura entre a água no tanque e a superfície interna da cobertura.

Fatores atmosféricos influenciam diretamente no rendimento do processo como intensidade de radiação, variação da temperatura ao longo do dia, velocidade do vento, obstáculo natural, latitude/longitude como, também, das propriedades dos materiais usadas na unidade.

Para aproveitamento Máximo da radiação solar o destilador deve ser posicionado no sentido NORTE/SUL. Nas pequenas comunidades são projetados destiladores de 50 m^2 a 250 m^2 com a profundidade do tanque de $1,2\text{ m}$ a $2,5\text{ m}$. A água está em constante evaporação e condensação, sendo que as moléculas da superfície evaporam e condensam constantemente. A evaporação ocorre porque as moléculas que se encontram na superfície do líquido escapam para o exterior por

meio da energia obtida do próprio líquido e do recipiente que está transmitindo energia. A pressão de 1 atmosfera (atm.). Esse processo é lento e quanto mais incidência solar mais acelerada é a evaporação pela ação da radiação do sol.

A vaporização da água a 1 atmosfera (atm.) a 100°C é conhecida como ebulição e significa que é um processo acelerado de evaporação controlada quando mais energia calorífica pode ser aplicada, bem como a calefação que é uma forma instantânea de mudança de estado de líquido a vapor proveniente as altas temperaturas em que o fluido é exposto. Isto significa que quanto mais incremento de energia mais rápida a transformação de líquido em vapor a uma pressão constante. A taxa de evaporação está diretamente relacionada com as forças intermoleculares, concentração da substância a ser evaporada no ar, a temperatura, concentração de outras substâncias no ar e vazão do ar. Então a substância evaporará mais lentamente se quanto menos energia radiante estiver agindo sobre as moléculas da água, uma alta concentração estiver presente no ar e se a circulação de vazão de ar não sofrer renovação. A taxa de evaporação depende igualmente da área de exposição da água do tanque com a massa de ar circulante.

É de grande importância saber que a profundidade do tanque altera o rendimento dos destiladores solares, pois quanto maior a profundidade do tanque menor a produtividade, que na prática não consegue atingir 50% do rendimento de uma mesma unidade com profundidade rasa.

Cerca de 11% da radiação recebida pelo tanque é refletida sem ser aproveitada. Com o intuito de melhorar a percentagem de energia solar que é absorvida pelo tanque, foram adoptadas diversas técnicas para o aumento deste coeficiente de absorção. Uma técnica bastante simples, mas eficaz é, adicionar corantes à água a tratar. Quando a água é adicionada com corante, a radiação solar é absorvida pela camada superior do tanque, o que faz com que a temperatura da camada de cima seja consideravelmente superior, aumentando a taxa de evaporação. Outra técnica usada é a adição de materiais absorventes juntamente com a água do tanque. Borracha e carvão são alguns dos materiais usados para esse efeito. Existem alguns materiais que têm a capacidade de armazenar uma grande quantidade de energia térmica, aumentando consideravelmente a capacidade térmica do tanque, bem como a absorção de energia. Vidro, borracha e cascalho são alguns dos materiais que possuem aquelas propriedades. Resultados

experimentais mostram que o uso de borracha preta nos tanques profundos conduz a um incremento de produtividade de 20%, enquanto o uso de cascalho nos tanques rasos leva a um aumento de produtividade de 19%.

Existe ainda uma técnica bastante utilizada para o aumento da taxa de evaporação. Esta técnica consiste no aquecimento de apenas uma pequena camada superior de água do tanque (semelhante ao que acontecia no uso de corantes), usando uma placa para separar a camada superior de água da camada inferior. A radiação solar é recebida pela placa separadora e, uma porção dessa radiação é usada no aquecimento do topo da camada de água, aumentando assim a sua temperatura e levando a um conseqüente incremento de produtividade. A restante porção da radiação solar é usada para aquecer a camada inferior do tanque, armazenando energia, que poderá ser utilizada mais tarde nos períodos de baixa intensidade solar. O material usado bem como a espessura da camada superior de água são parâmetros que afetam a produtividade; o uso de uma placa de alumínio preta, com 2 cm de camada de água aumenta a eficiência do sistema em 28%.

Com relação à estrutura de cobertura, o material deve ser bastante forte para resistir as intemperes e perturbações climáticas, como ventos, chuvas e granizos. Deve ter boa resistência mecânica e transmissão da faixa solar do espectro na região do ultravioleta e baixo valor de infravermelho o que resulta em uma boa estufa. O material mais usado na cobertura é o vidro comum porque ele apresenta boa performance em relação a produção e bom preço no mercado, porém o vidro temperado é mais eficiente, tendo o seu preço de aquisição mais elevado. As propriedades ópticas do vidro dependem essencialmente da sua percentagem de óxido de ferro (Fe_2O_3), do tratamento superficial aplicado, do ângulo da radiação incidente e da sujidade ou condensação superficial. Como já foi indiretamente referido acima, a temperatura da cobertura é um dos parâmetros mais importantes da destilação solar. A diminuição desta temperatura leva a um incremento de produtividade, uma vez que, a diferença de temperatura entre a cobertura e o tanque aumenta, provocando um acréscimo na transferência de calor convectiva e evaporativa entre o tanque e a cobertura devido a um aumento da circulação natural da massa de ar no interior da unidade.

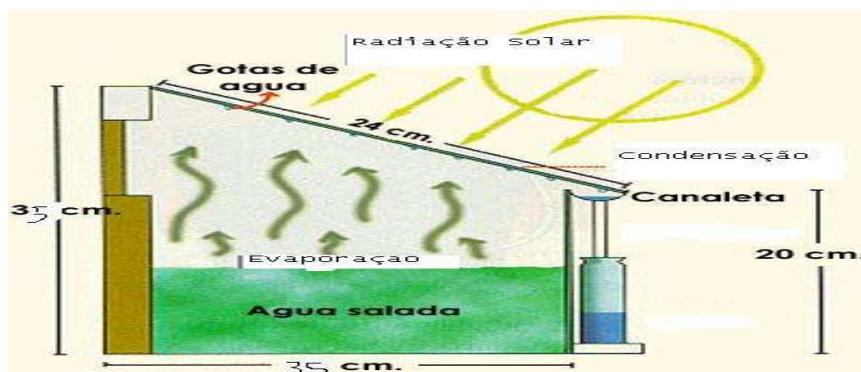
Existem o polietileno de alta densidade, polipropileno e policarbonato que estão disponíveis no mercado com melhor custo, porém são elementos que

proporcionam perda de produtividade por não reter bem as gotas de condensados no teto e as faz cair de volta ao tanque.

Uma das técnicas denominada de regenerativa é através de filme d'água que flui continuamente sobre a cobertura provocando uma redução desejável da temperatura da cobertura aumentando a sua produção em aproximadamente 25%.

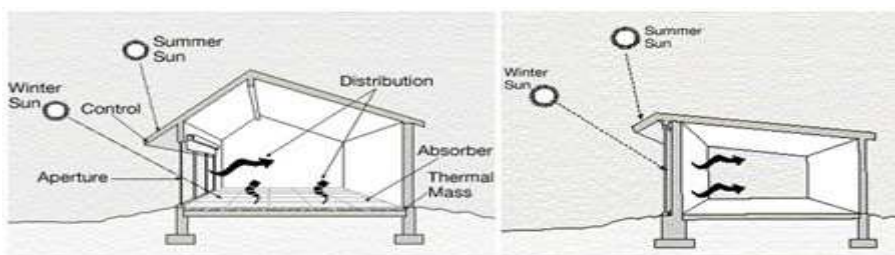
A calha de recolha fica localizada na base da cobertura de vidro e serve para recolher a água condensada e levá-la para o local de armazenamento. Deve ser bastante pequena para não criar sombreamento no tanque. Também deve ser construída com o mesmo material do tanque, podendo variar conforme necessidades.

Figura 4 - Ciclo da Dessalinização Solar



Fonte: <http://www.abq.org.br>.

Figura 5 - Posição de Melhor rendimento da unidade Destilatória



Fonte: <http://wikienergia.com>.

3.1.2 Destilador térmico a vácuo

Esse tipo de dessalinizador foi muito utilizado em instalações marítimas por se utilizar da água de circulação das camisas de motores térmicos como fonte de transmissão de calor para aquecimento da água do mar no interior do evaporador do sistema destilatório para garantir uma produção diária de 20 toneladas dia de água destilada. O seu equilíbrio termodinâmico é fundamental para o seu rendimento máximo. Como exemplo um destilador Alfa Laval com essa capacidade de produção atinge a produção máxima quando a temperatura da água de camisas do motor na válvula de entrada do evaporador está com 80°C e na sua saída com 65°C, ou seja, uma diferença térmica de 15°C, para uma temperatura de 32°C da água salgada a ser vaporizada no evaporador, com o vácuo de 96%.

A bomba ejetora (extração de salmoura e vácuo) deve estar com pressão de descarga de 3 kgf/cm² a entrada do ejetor e na saída do mesmo com 0,6 kgf/cm², o que garante boa circulação de água salgada no condensador, evaporador e equilíbrio de extração de salmoura a 1/3 do visor do poço de extração de salmoura. Nota-se que a temperatura do corpo do destilador na parte elevada deve ficar com temperatura de 40°C. Qualquer variação nessa temperatura é sinal de desequilíbrio termodinâmico. Considera-se a água do mar a uma temperatura de 20°C. Com o Vácuo elevado temos a temperatura de saturação da água salgada, isto é, a temperatura de produção de vapor saturado (úmido) a uma temperatura baixa em torno de 45°C no evaporador. Na temperatura média de 72,5°C temos uma produção acelerada com um recurso termodinâmico conhecido ponto de saturação da água. Os dois elementos principais do destilado são o evaporador e condensador que tem nas suas placas de transmissão de calor o titânio que atende bem as necessidades do processo.

Esse material resiste bem as variações térmicas e a corrosão. O Vácuo é realizado dentro da câmara do condensador, porém todo o corpo interno do destilador é comum. Um Damister está entre os dois elementos com a função de impedir que partículas de sal transportadas no vapor entrem na câmara do condensador, esse fenômeno é possível por meio de uma membrana coalescente sodiofídica que por meio da aglutinação faz a separação das substâncias por ação

gravitacional para o poceto do destilador. Um salinômetro na saída da descarga da bomba de água doce garante a qualidade da água dentro dos valores de qualidade fornecido pelo fabricante de set point de 2 ppm.

Figura 6 – Unidade Destilatória



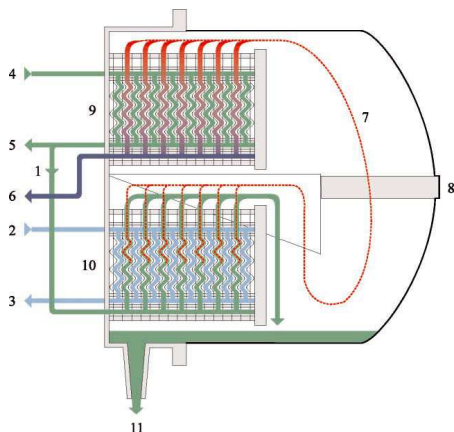
Fonte: www.alfalaval.com/solution.

Figura 7 – Parte interna do destilador



Fonte: www.alfalaval.com/solution.

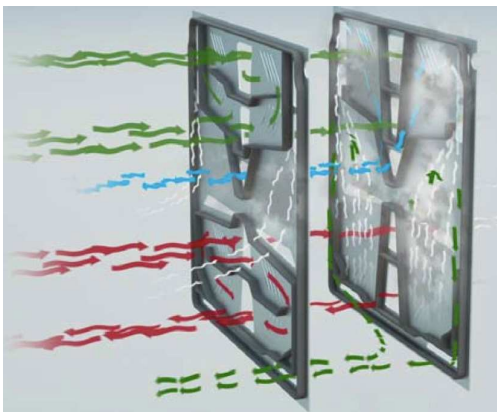
Figura 8 - Ciclo de Destilação



Fonte: www.alfalaval.com/solution.

1. Alimentação da água do mar
2. Entrada de água quente
3. Saída de água quente
4. Entrada de água salgada de resfriamento
5. Saída de água salgada de resfriamento
6. Saída de água doce
7. Vapor evaporado
8. Membrana coalescente sodiofídica (Demister)
9. Condensador
10. Evaporador
11. Saída de Salmoura

Figura 9 - Placas de Titânio Destilador



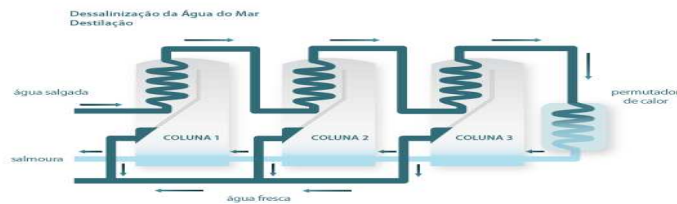
Fonte: www.alfalaval.com.

3.1.3 Destilação multi estágios

É o processo de utilização da energia térmica que aquece a água salgada do mar fazendo passar por uma série de câmaras evaporadoras conhecida como estágios. No primeiro estágio a temperatura é mais elevada, bem como a pressão, fazendo com que a água salina evapora-se rapidamente e sendo condensada na própria câmara de destilado por um condensador circulado pela própria água antes de ser aquecida. A salmoura não vaporizada entra no segundo estágio onde o processo de vaporização ocorre numa temperatura inferior ao primeiro estágio. Essa diminuição de temperatura não compromete o processo, pois a relação pressão temperatura ocorre em todas as fases consecutivas onde a temperatura de saturação está para a pressão de saturação do líquido até atingir a pressão atmosférica onde a concentração de salmoura está muito elevada, sendo extraída para o meio exterior. A água do mar circula todos os condensadores nos seus respectivos estágios sequenciais antes de passar pelo aquecedor para adquirir um

ganho térmico. A evaporação e condensação dos vapores representa um estágio do processo e este método de dessalinização pode ter até quarenta câmaras de processo.

Figura 10 - Destilação Multi Estágios



Fonte: <http://meioambiente>.

Figura 11 – Planta de Dessalinização Multi Estágios



Fonte: <http://i00.i.aliimg.com>.

3.1.4 Destilação multi efeito

Este processo é semelhante a dessalinização em multi estágios, porém a vaporização se dá a pressão vacu métrica. A temperatura de saturação da água salina vai decrescendo até que o líquido fique sub-resfriado a pressão de 1 atm. Para produzir água destilada os estágios acumulam quantidades de água empregando certo número de estágios. Cada estágio é um vaso de pressão onde por meio de feixe tubulares a água salina esguichada tem dupla função tanto para o arrefecimento do vapor como em contato com a câmara com pressão abaixo da

temperatura de saturação é vaporizada. A serpentina geradora de calor específico fica localizada na primeira câmara e a energia térmica gerada é suficiente para produzir vapor nas câmaras subsequentes por transmissão indireta de calor por meio de serpentinas com vapor produzido trocadoras de calor que embora com a temperatura menor que a da primeira câmara tem energia suficiente para vaporizar a água salina e condensar-se após a mudança de fase em condições de líquido sub-resfriado. Normalmente neste processo são empregadas de 8 a 12 câmaras para de produção de destilado para maximizar a produção.

A capacidade de produção deste dessalinizador conforme o projeto pode variar de uma produção diária de 2000 a 20000 m³ a uma temperatura de operação de 64 a 70°C. Com baixo custo de energia que varia de 40 a 60 kWh/m³ de água produzida. Uma unidade de capacidade com capacidade de 10000 m³/dia requer uma área de 11,5 hectares.

Figura 12 - Planta de Destilação por Múltiplo Efeito



Fonte <http://www.aqua-chem.com>.

3.1.5 Destilação por compressão de vapor

É a técnica que alguns autores consideram com melhor eficiência entre os dessalinizadores citados. Seu princípio de funcionamento está baseado na transferência de calor por meio de alta compressão de vapor da água gerada na evaporação da água salina a pressão negativa, isto é, o compressor de vapor está com sua aspiração na parte elevada da câmara do processo e sua descarga de vapor sendo fonte calorífera para a evaporação da água salina no evaporador e fonte de aquecimento secundário para o pré-aquecedor da água salina.

O compressor mecânico pode ser acionado a diesel ou eletricidade. Sua capacidade de compressão é que determina e limita a capacidade máxima de produção de água dessalinizada da unidade. A temperatura máxima de operação é de 70°C e seu rendimento atinge a 80% nos modelos mais modernos. O consumo de energia elétrica varia de 7 a 12 kWh/m³ e pode atingir a 3000 m³/dia, porém em geral, a capacidade máxima de produção de água desmineralizada é inferior a 100 m³, empreguem em estações de pequeno e médio porte, pequenas comunidades, hotéis e embarcações marítimas.

O processo de dessalinização a compressão de vapor é usado em processo paralelo com outras unidades de produção de água doce, por ter como fonte de energia a eletricidade para o seu funcionamento, faz com que todo o processo de produção tenha seu consumo energético otimizado com máxima produção em funcionamento híbrido.

Figura 13 - Dessalinizador por Compressão a Vapor



Fonte <http://www.aqua-chem.com>.

3.1.6 Dessalinização por congelamento em vácuo

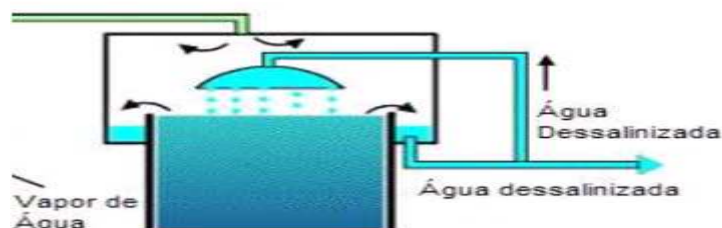
Técnica de dessalinização utilizada em regiões frias onde a temperatura da água do mar é abaixo de 0°C, dispensando a utilização de um sistema frigorífico para resfriamento da água do mar.

No sistema de congelamento a vácuo a água salgada ao ser introduzida na câmara de vácuo com 0,004 bar a uma temperatura de -2°C formam-se blocos de gelo de água doce pelo congelamento parcial da água do mar. Esse fenômeno termodinâmico é conhecido como do ponto de solidificação da água por diferença de massa específica. Os cristais de gelo de água doce flutuam na câmara de vácuo e são transportados para a câmara de lavagem. Nesta câmara os sais que estão

aderidos aos cristais são removidos por lavagem de água doce e após são fundidos em água dessalinizadas do próprio sistema. Nesta condição de processo de produção, com a temperatura da água do mar abaixo de 0°C os problemas de formações de incrustações são minimizados em relação a outras unidades de produção térmica e o consumo de energia está entre os menores dentre os processos de produção de água doce, onde na temperatura de -5°C a produção varia ente 40 e 50 l/m^3 dia e a -20°C é de 120 a 160 l/m^3 dia.

Existem poucas unidades de dessalinização a compressão a vácuo no mundo, embora para regiões de baixas temperaturas favoreçam a utilização da unidade em outas regiões onde o clima é menos agressivo a sua utilização torna-se onerosa por necessitar de uma instalação de resfriamento da água do mar na temperatura ideal de produção de água doce por congelamento. Ressalta-se que essa unidade produz uma água fresca, mineralizada e bem oxigenada.

Figura 14 – Dessalinização por Congelação a Vácuo



Fonte: <http://meioambiente>.

3.1.7 Dessalinização por congelamento através de refrigerante secundário

Essa técnica se assemelha aos compressores frigoríficos industriais, pois se utiliza de um agente refrigerante para resfriamento da água do mar na temperatura de solidificação, concentrações moleculares, de água doce. Normalmente emprega-se o gás butano como refrigerante secundário. Esse agente é comprimido até a temperatura de saturação na pressão de saturação do gás onde está termodinamicamente no ponto de mudança de fase, através da técnica de condensação do agente refrigerante, que nessa atmosfera seu estado termodinâmico deveria ser líquido e não gás por ceder energia calorífera para a água do mar que circula nos feixes tubulares do condensador se liquefaz. Quando sofre uma expansão com queda de pressão passa a estar em outra atmosfera que

pela sua natureza molecular é gás, tal transferência de temperatura é trocada instantaneamente com o ambiente do qual está fazendo contato direto, no caso a água salina. A temperatura do ambiente fica abaixo de 0°C dando o surgimento de precipitação de blocos de água doce. O agente refrigerante então é aspirado pelo compressor e volta ao seu ciclo termodinâmico. Os blocos de água doce sofrem o processo de lavagem e fusão como na congelação a vácuo.

Este método de dessalinização tem a vantagem de ter menor dimensão da unidade para produção de água doce e elevada capacidade de transferência térmica com relação aos dessalinizadores por compressão a vapor.

3.1.8 Dessalinização por formação de hidratos de gás ou clatratos

O processo é semelhante à dessalinização por congelamento refrigerante secundário. A técnica de dessalinização diferencia na temperatura de congelamento e no elemento químico e suas reações moleculares. Consiste na dessalinização misturando água salina com gases hidratados ou clatratos que são agregações cristalinas entre as moléculas de água ligadas por ponte de hidrogênio em redor de uma molécula de gás dando formação de clatratos dentro da câmara de mistura. Os clatratos precipita-se desmineralizado a água do mar. Os clatratos são separados em câmara de aquecimento permitindo a retirada do gás para retornar ao sistema pela ação de aspiração do compressor na câmara de aquecimento.

Este método é mais econômico em termos energéticos se comparado com a dessalinização por congelação através de refrigerante secundário.

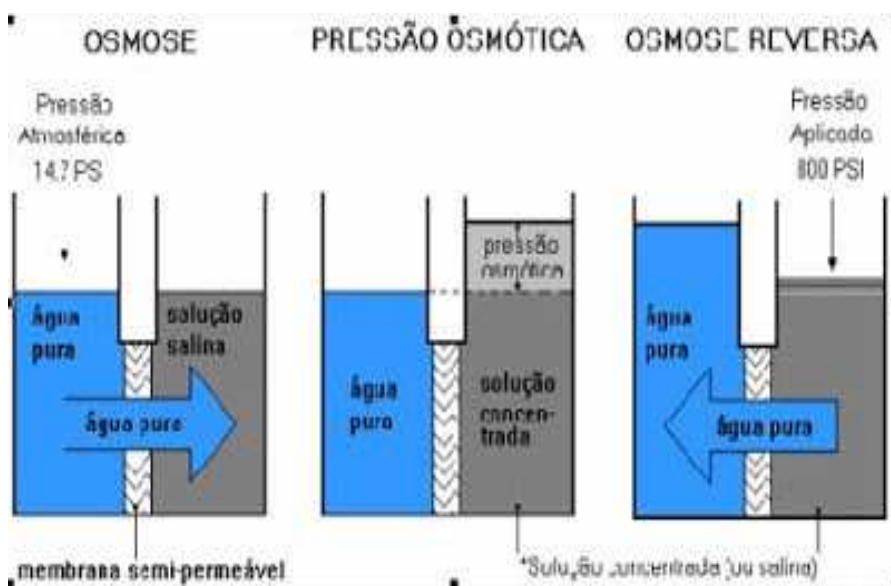
3.1.9 Processos de dessalinização por membranas

Trata-se de um processo de dessalinização mais usado no momento e em plena expansão no mercado por satisfazer com vantagens as outras técnicas de destilação. A osmose reversa permite a remoção de partículas da água, impurezas e sais em suspensão transformando água salgada em água doce com propriedades, gosto e cor dentro do nível aceitável de 200 a 300 ppm de potabilidade. É conhecida como nano-filtração por atingir a melhor precisão de filtragem, principalmente com a nova tecnologia do momento com a utilização do GRAFENO.

A membrana permite a passagem da água mais impede a passagem de partículas iônicas salinas e impurezas. Por meio de membrana sintética semipermeável os sais dissolvidos na água do mar são filtrados da água do mar quando se aplica um gradiente de pressão com elevada pressão externa contra uma membrana semipermeável por meio de uma bomba de acordo com o projeto para boa dessalinização.

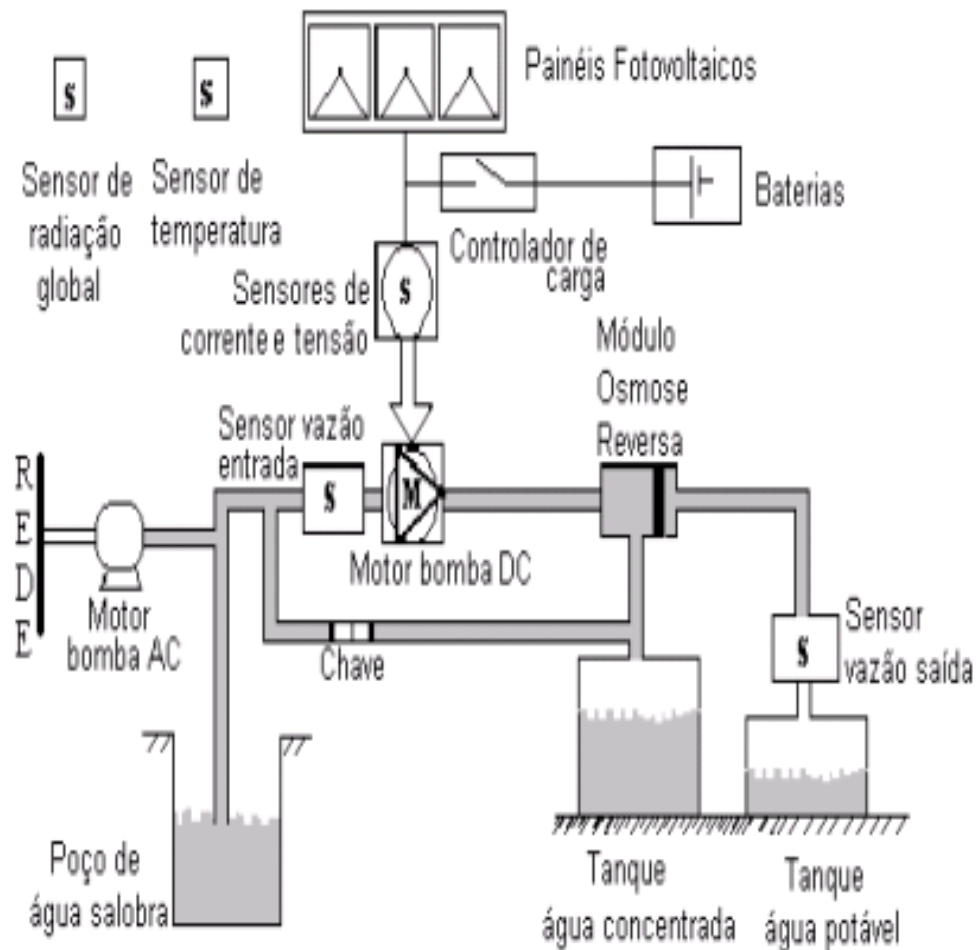
A pressão osmótica é do lado da solução mais concentrada que por intermédio da aplicação mecânica de uma pressão superior produz um fluxo no sentido da solução de menor concentração salina. Do volume total de água salgada processada estima-se um percentual médio de 35% de salmoura da quantidade de água bruta que não foi de-salinizada.

Figura15 - Dessalinização por Osmose Reversa



Fonte: <http://afaltadeguanoplanetaterra.blogspot.com.br/2010/05/processos-de-dessalinizacao-mais.html>.

Figura 16 - Esquema da instalação por Osmose Reversa



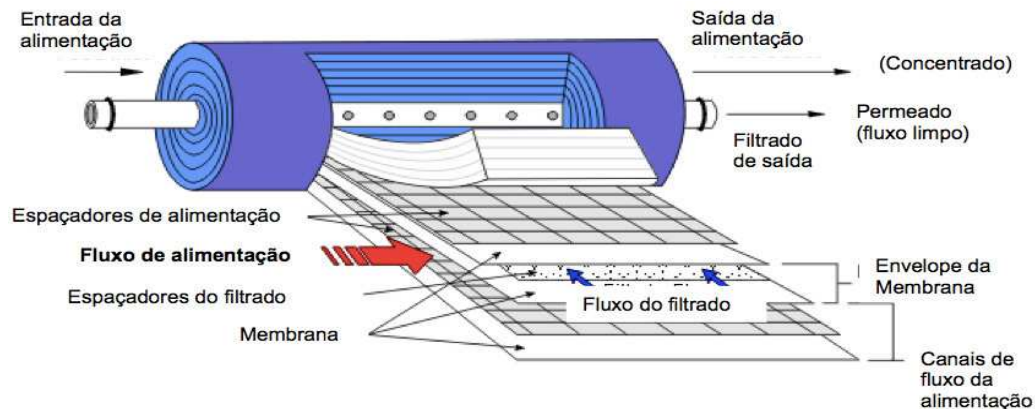
Instalação de osmose reversa acionada por painéis fotovoltaicos

Fonte: <http://www.proceedings.scielo.br>.

As membranas semipermeáveis mais utilizadas no processo osmóticos são de acetato de celulose, polissulfonas e poliamidas. Tem como características: peso atômico entre 10 angstroms e 100; Os modelos geométricos são tubular, fibras ocas, planas em placas e enrolados em espiral. A durabilidade máxima da membrana é de 5 anos, porém hoje as mesmas podem ser reutilizadas aplicando técnicas simples de imersão em solução por 24h.

Dos 15 milhões de metro cúbico de água de-salinizada por dia no mundo, a técnica de osmose reversa responde por 34% e o consumo de energia elétrica de processamento é de 5kWh/m³.

Figura 17 - Membrana Semipermeável



Fonte: <http://afaltadeguanoplanetaterra.blogspot.com.br/2010/05/processos-de-dessalinizacao-mais.html>.

Figura 18 - Unidade de Osmose Reversa



Fonte: www.enwa.co.

Hoje a sensação do momento é a membrana de Grafeno que é 500 vezes mais finas e mil vezes mais resistentes que as membranas existentes com capacidade de reter todas as moléculas que não sejam água. Essa tecnologia permite reduzir em até 100 vezes a pressão osmótica e conseqüentemente o custo de energia. Isso porque os poros do Grafeno são de átomos de espessura do

tamanho de um nanômetro, largo o suficiente para deixar passar a água e bloquear as moléculas de sal (cloreto de sódio). Essa inovação americana abre possibilidades de países com problemas de abastecimento de água doce, principalmente em regiões áridas e semiáridas, fazerem altos investimentos pelo baixo custo operacional por unidade de dessalinização.

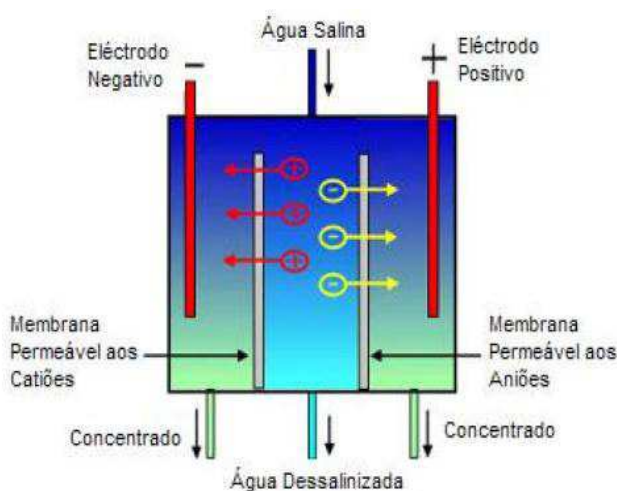
Engenheiros do Instituto de Massachusetts (IMT), nos EUA, estão pesquisando nova classe de membranas ultra permeáveis o que trará grandes mudanças nas operações de plantas de dessalinização.

3.1.10 Dessalinização por eletro diálise

Existe em aperfeiçoamento um processo de dessalinização por eletro diálise que é uma evolução da eletrólise onde o processo de separação tem início antes das membranas semipermeáveis por meio de uma corrente elétrica aplicada em dois polos chamados de catiônicos ou aniônicos. Os íons das moléculas de cloreto de sódio são dissociados e atraídos aos polos iônicos. Catiônicos para os cloretos e aniônicos para os sódicos, então atravessam as membranas e são detidos por elas. As membranas são colocadas paralelas e formam vários compartimentos alternados, uns com água doce e com uma concentração reduzida de sais e outro com uma concentração elevada de sal conhecida como salmoura. As unidades possuem centenas de membranas com espessura de 0,5mm e 1 mm de espaçamento entre as membranas para circulação da água.

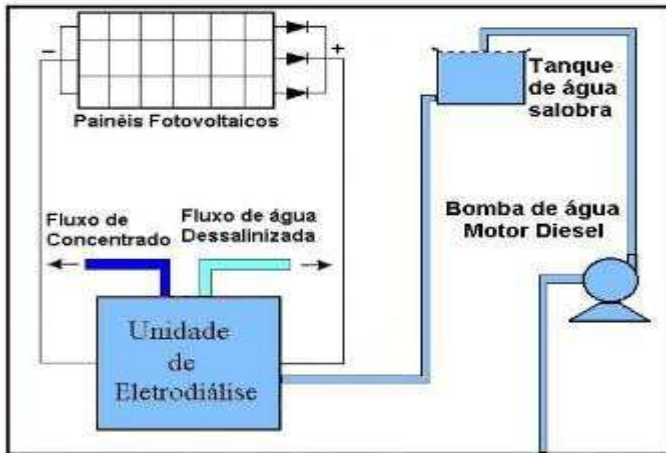
O consumo de energia elétrica varia de 1,5 a 2 kWh/m³ de água notabilizada.

Figura 19 - Fenômeno do Eletro Diálise



Fonte: <http://afaltadeguanoplanetaterra.blogspot.com.br/>.

Figura 20 - Esquema de Dessalinização por Eletro Diálise

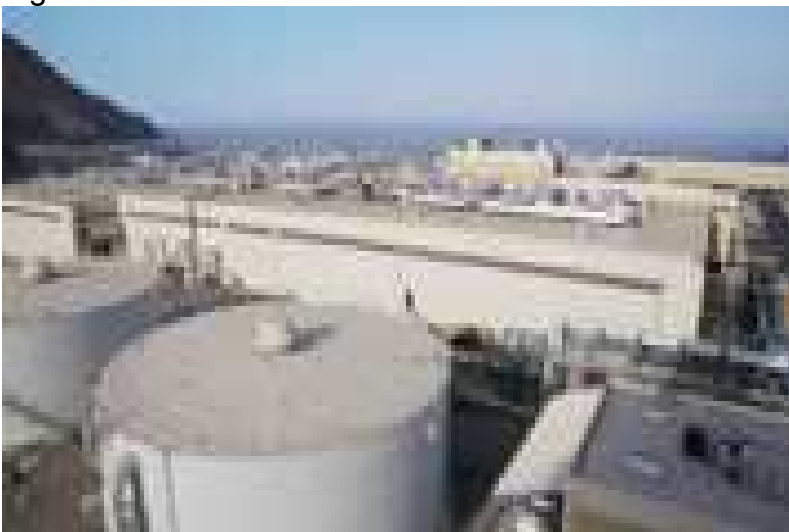


Fonte: <http://s3.amazonaws.com>.

3.1.11 Sistemas de dessalinização híbridos

É a técnica de combinações de dois ou mais processos de dessalinização em uma única instalação, com o objetivo de obter o melhor rendimento na produção otimizada do custo operacional. Um exemplo de sistema híbrido seria uma estação de geração termoelétrica que utiliza o sistema de destilação térmica a vácuo com a dessalinização por osmose reversa que para uma unidade de produção de 100.000 m³/dia diminui o custo de produção de água de-salinizada sendo mais econômica.

Figura 21 – Unidade Híbrida Externa



Fonte: <http://www.degremont.com.br>.

Figura 22 – Unidade Híbrida Interna



Fonte: <http://www.degremont.com.br>.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De fato os avanços tecnológicos vieram aperfeiçoar o conhecimento e facilitar o progresso do mundo numa precisão com margem mínima ao erro. Contudo não podemos perder a visão do futuro da nossa realidade. Temos a tecnologia da dessalinização em pleno desenvolvimento e pronta para ser aplicada em todo o mundo: nas fábricas, navios, plataformas, cidade e campo. Se tal conhecimento não for transformado em ações políticas governamentais com o objetivo estratégico de uma matriz sustentável de água doce nacional e global, certamente será assunto do futuro nas convenções nas nações unidas (ONU) e na organização mundial da saúde (OMS) porque o futuro chegou ao presente e o presente negligenciou a solução fundamental que tanto necessitará no futuro: os dessalinizadores em produção estratégica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUA do planeta vai acabar. Disponível em:
<<http://chc.cienciahoje.uol.com.br/a-agua-do-planeta-vai-acabar/>>. Acesso em: 05 jul. 2014.

ÁGUA potável com energia solar. Disponível em:
<<http://www.inovacaotecnologia.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010170031001>>. Acesso em: 06 jul. 2014.

American Water Works Association. Reverse Osmosis and Nanofiltration. Awwa. 2007. 226p.

COMO funciona a destilação da água do mar. Disponível em:
<<http://www.sitedecuriosidades.com>>. Acesso em: 05 jul. 2014.

DESSALINIZAÇÃO da água do mar. Disponível em:
<<http://www.educacao.cc>>. Acesso em: 08 ago. 2014.

DESSALINIZAÇÃO por Osmose Reversa. Disponível em:
<<http://www.water-technology.net/projects/barcelonadesalinatio/>>. Acesso: em 08 ago. 2014.

ESTRATÉGIA na gestão da água. Disponível em:
<http://www.wwf.org.br/participe/empresa_meio_ambiente/parceiros/escolha/>. Acesso em: 05 jul. 2014.

FIM da água no planeta. Disponível em:
<<http://noticias.seuhistory.com/>>. Acesso em: 06 jul. 2014.

Kucera, Jane. Reverse Osmosis: Design, Processes and applications for Engineers. Wiley. 2011. 393p

PROCESSOS de Dessalinização. Disponível em:
<<http://www.nupeg.ufrn.br>>. Acesso em: 08 ago. 2014.