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

NAOMI GEVAERD CORREA SINHORI

PRODUÇÃO DE ÁGUA DOCE EM ALTO MAR: AS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS USADAS A BORDO

RIO DE JANEIRO
2014

NAOMI GEVAERD CORREA SINHORI

PRODUÇÃO DE ÁGUA DOCE EM ALTO MAR: AS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS USADAS A BORDO

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

Orientador: 1°Ten. (RM2) **Raquel** da Costa **Apolaro.**

RIO DE JANEIRO
2014

NAOMI GEVAERD CORREA SINHORI

PRODUÇÃO DE ÁGUA DOCE EM ALTO MAR: AS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS USADAS A BORDO

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

Data da Aprovação: ____ /____ /____

Orientador: 1°Ten. (RM2) **Raquel** da Costa **Apolaro.**

_____
Assinatura do Orientador

NOTA FINAL:_____

Dedico esta monografia à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu chegasse até aqui.

“Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu.”

Fernando Pessoa

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo abordar os principais meios de dessalinização da água do mar para consumo humano e serviços gerais, analisando os métodos economicamente viáveis e dando ênfase à destilação e a osmose reversa que são os mais utilizados a bordo, apresentando seus princípios de funcionamento, tecnologias empregadas, equipamentos necessários e as vantagens e desvantagens inerentes a cada um deles.

Palavras-chave: Dessalinização. Destilação. Osmose reversa.

ABSTRACT

This work aims to address the main means of desalting seawater for human consumption and general services, analyzing economically viable methods and emphasizing the distillation and reverse osmosis, which are the most used on board, with its principles of operation, technologies employed, equipment needed and the advantages and disadvantages inherent in each of them.

Keywords: Desalination. Distillation. Reverse osmosis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Destilação multi-estágios	18
Figura 2	Destilação multi-efeito	19
Figura 3	Destilação por compressão de vapor	20
Figura 4	Grupo destilatório	22
Figura 5	Fluxo de íons no processo da eletro diálise	26
Figura 6	Componentes básicos da osmose reversa	28

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

bar – Unidade de medida de pressão

°C – Graus Celsius, unidade de medida de temperatura

IMO – International Maritime Organization (Organização Marítima internacional)

MARPOL – Convenção internacional para a prevenção da poluição por navios

pH – Potêncial hidrogeniônico, indica acidez ou alcalinidade de uma solução

ppm – Partes por milhão

USAID – Agência dos Estados Unidos para o desenvolvimento internacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	USO DA ÁGUA A BORDO	13
2.1	Processos de dessalinização	15
3	PROCESSOS TÉRMICOS DE DESSALINIZAÇÃO	16
3.1	Destilação multi-estágios	17
3.2	Destilação multi-efeito	18
3.3	Destilação por compressão de vapor	20
3.4	Grupos destiladores	21
4	PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO POR MENBRANA	25
4.1	Eletro diálise	25
4.2	Osmose reversa	27
5	OUTROS PROCESSOS	30
5.1	Congelamento	30
5.2	Destilação por membrana	30
5.3	Umidificação solar	31
6	ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS USADAS A BORDO	33
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

A vida no planeta terra teve início na água e com o passar do tempo e evolução dos seres vivos se expandiu para terra, porém até hoje é dependente da água para sua manutenção.

Cerca de 70% da superfície da terra é tomada por água, porém desse total, 94% é água salgada e 6% água doce (Buros). Grande parte da água doce se encontra congelada nos polos, 27% e 72% é subterrânea. Estima-se que apenas 0,02% corresponde efetivamente a disponibilidade de água doce nos rios e lagos com a qual a humanidade contou até os dias atuais. A distribuição da água doce no planeta foi um fator determinante para a distribuição e desenvolvimento dos povos, que sempre procuravam fontes ou cursos d'água para se instalarem e fundar povoados e cidades.

Tal dependência se justifica pelo fato do corpo humano ser formado por também 70% de sua massa por água, sem ingestão de água o ser humano morre em um curto período de tempo, ela é responsável por praticamente todos os processos no corpo e sua recomendação de ingestão é de no mínimo 2 litros por dia. A mesma também se faz presente em outras atividades humanas como limpeza, higiene, preparação de alimentos e atividades industriais.

Em relação a navegação a água também assume um fator importante, já que a mesma determina a autonomia de uma embarcação. Foi de grande importância para a época das grandes navegações, quando os europeus se lançaram aos mares em navios precários rumo ao desconhecido, embarcando, para se precaverem, a maior quantidade possível de mantimentos, armas, medicamentos e água geralmente embarcada em barris. Com o decorrer da viagem essa água se tornava escassa e com gosto nada agradável, a higiene pessoal era coisa rara, somando-se a isso o grande número de pessoas amontoadas e a falta de uma dieta saudável as doenças se alastravam facilmente.

Com o avanço tecnológico e o aumento na tonelagem dos navios, passou a haver espaço para a criação de tanques para o armazenamento de água doce, construídos em aço e com pintura adequada. Vale ressaltar que no projeto de um navio, a autonomia indica o tempo que pode durar sua maior viagem sem reabastecimento de óleo combustível, viveres, e principalmente água doce para o consumo das pessoas embarcadas.

Ao sair do porto de escala a embarcação deve estar com seus tanques completamente cheios de água doce para garantir uma maior estadia no mar sem a necessidade de paradas não programadas, esse tempo pode ser estendido, com a adoção de sistemas de dessalinização da água do mar, que irão constantemente completar o nível dos tanques de água do navio.

A dessalinização não se limita às embarcações, com o avanço da tecnologia nos últimos 50 anos, vilas, cidades e indústrias surgiram ou se desenvolveram em locais áridos ou com pouca oferta de água potável, contando apenas com fontes de água salgada ou salobra devidamente tratadas para o consumo humano. Essas mudanças podem ser notadas principalmente no Oriente Médio, norte da África, Austrália e em várias ilhas caribenhas, onde a falta da água doce limitava o desenvolvimento da atividade humana.

Proponho apresentar nos próximos capítulos os processos de obtenção de água doce a partir da dessalinização mais utilizados a bordo de navios mercantes, da Marinha do Brasil, em plataformas de prospecção e produção. As informações aqui apresentadas são de ordem técnica e tem o intuito de auxiliar na escolha da melhor opção de processo a ser usado em projetos de embarcações, seja o uso de equipamentos de dessalinização por evaporação da água do mar e posterior condensação conhecidos por grupos destiladores, ou filtragem fina através de membranas especiais usados na osmose reversa.

Assim, o trabalho foi dividido em três capítulos: No primeiro são apresentadas as principais utilizações da água a bordo. No segundo, veremos os meios de obtenção da água doce a partir da água salgada, dando ênfase à destilação e osmose reversa. E no terceiro faz-se uma análise das vantagens e desvantagens de um em relação ao outro.

2 USO DA ÁGUA A BORDO

Como já foi dito anteriormente, a água é essencial para a manutenção da vida humana e sua boa saúde, o homem pode ficar vários dias privado de comida, mas morreria em poucos se ficar sem água para beber, porém, não é só para beber que o ser humano precisa de água, muitas de suas outras necessidades também utilizam a mesma. A bordo de embarcações não poderia ser diferente, com o agravante de que, se em alto mar, não existem fontes naturais de água doce próximas e sua quantidade embarcada limita a autonomia da embarcação, período no qual a mesma pode permanecer sem a necessidade de abastecimento.

Quando em operação as embarcações estão sempre semi-submersas em algum meio aquático, seja água doce (lagos e rios), água salgada (mar) ou revezando entre ambos. Essas águas podem ser recolhidas para o serviço de bordo sem necessidade de muito tratamento, somente filtragem grossa e atendem aos seguintes fins:

a) Lastro e esgotamento de tanques através de edutores;
b) Resfriamento de plantas propulsoras (resfriadores);
c) Condensadores (plantas frigorificas ou de geração de vapor);
d) Combate a incêndios (bombas de incêndio, estações de combate e sistemas de geração de espuma);
e) Esgoto sanitário (plantas de tratamento de esgoto sanitário e privadas);
f) Baldeação de convés.

A água não tratada ou “água bruta” é admitida nas embarcações através das caixas de mar, que são as aspirações das bombas principais de água salgada, instaladas no casco abaixo da linha d’água e geralmente protegidas por grades para evitar a aspiração de corpos estranhos de grande proporção que possam entupi-las, as mesmas podem ser baixas ou altas. Caixas de mar baixas são localizadas na parte inferior do casco, enquanto que as caixas de mar alta estão nas laterais do casco.

Após seu uso essa água é descartada também pelo casco, acima ou abaixo da linha d’água em um local no qual a mesma não seja readmitida a bordo, sendo que de acordo com sua utilização algumas necessitam de algum tipo de tratamento ao serem descartadas. Se forem águas oleosas devem passar pelo separador de água e óleo e pelo monitor de 15 ppm para que água com teor de óleo acima disso

não seja jogada no meio ambiente, e se forem águas oriundas do sistema sanitário, devem passar por um tanque de tratamento séptico, neutralizando o risco biológico das mesmas.

Apesar de serem denominadas “águas brutas” ou não tratadas, essas águas ao serem embarcadas para seu uso a bordo sofrem um pré tratamento que consiste basicamente de uma filtragem grossa, realizado por um filtro de rede na admissão das bombas principais de água salgada, para impedir que os detritos que por ventura tenham passado pelas grades das caixas de mar, tais como, plantas, algas, pequenos seres marítimos ou qualquer outra coisa não venham a danificar as bombas.

Essa “água bruta” também pode passar por outros tipos de tratamento físico-químico, tais como: dessalinização, filtração fina (filtros de areia ou uso de barrilha), cloração, fluoretação entre outros, para, sendo considerada tratada, ser usada para outros serviços mais nobres, entre eles:

a) Consumo diário dos passageiros e tripulantes (higiene pessoal e alimentação);
b) Serviços de limpeza (lavanderia e limpeza);
c) Resfriamento de água das camisas dos motores de combustão interna;
d) Geração de vapor em caldeiras;
e) Lavagem de turbinas e filtros de ar;
f) Diluição de fluidos como os usados para tratamentos químicos ou perfuração.

Assim como no caso anterior, após sua utilização, dependendo do serviço atendido a água necessita de algum tipo de tratamento para ser descartada, para atender aos dispositivos da legislação MARPOL 73/78 da Organização Marítima Internacional (IMO), da qual o Brasil é signatário.

Vale a pena mencionar também as águas pluviais, embarcadas por ocasião das chuvas, que apesar de serem consideradas nos projetos e naturalmente já dessalinizadas, raramente são mantidas a bordo devido a possibilidade da presença de algum contaminante atmosférico, sendo logo encaminhadas através de dutos, calhas e embornais para fora do navio.

2.1 Processos de dessalinização

A dessalinização é um processo continuo natural e parte essencial do ciclo da água. Assim que a chuva cai no chão segue em direção ao mar e é usada para os mais diversos propósitos em sua jornada. Enquanto se move sobre e através da terra, a água dissolve minerais e outros materiais se tornando cada vez mais mineralizada e salgada. Durante seu caminho e após a chegada nos mares e oceanos, ou outros pontos baixos concentradores como o Mar Morto, parte dessa água é evaporada pela ação da energia solar deixando para trás o sal e outros contaminantes, essa evaporação resulta em nuvens e chuva dando continuidade ao ciclo.

A salinidade da água do mar é resultante de sais dissolvidos derivados dos seguintes elementos (Gomes e Clavico, 2005): Cloreto (56%), sódio (28%), sulfato (8%), magnésio (4%), cálcio (1,5%), potássio (1%), bicarbonato (0,5%) e de acordo com sua localização geográfica pode sofrer variação dessa salinidade, seja pela proximidade de estuários de grandes rios, existência de canais que o interliga com lagoas de grande porte, localização em áreas interiores ou pela proximidade aos pólos. Além dos produtos naturalmente dissolvidos na água do mar, encontramos também aqueles oriundos da atividade humana em sua quase totalidade indesejáveis, entre eles:

a) Hidrocarbonetos provenientes da indústria petrolífera;
b) Ácido sulfúrico da indústria metalúrgica e extração mineral;
c) Contaminantes biológicos oriundos da falta de tratamento dos esgotos nas cidades;
d) Outros agentes poluidores (poluentes orgânicos persistentes), além de inúmeros subprodutos destes devido à decomposição de compostos orgânicos diversos.

Um equipamento de dessalinização basicamente divide a água salgada em duas partes: uma com concentração baixa de sais dissolvidos (água doce) e outra contendo todo o remanescente dos sais (salmoura). O equipamento requer algum tipo de energia para sua operação e pode usar diferentes tecnologias para tal. No próximo capitulo iremos analisar os principais métodos para se tratar essa água, tornando-a possível de ser usada a bordo nos mais diversos processos, dando especial atenção aos mais utilizados a bordo de embarcações.

3 PROCESSOS TÉRMICOS DE DESSALINIZAÇÃO

Aproximadamente metade da água dessalinizada no mundo é produzida usando-se calor para destilar água doce proveniente da água salgada. O processo de destilação imita o ciclo natural da água, onde a água salgada é aquecida, produzindo vapor para logo depois ser condensada em água doce.

Para que esse processo se torne economicamente viável, é necessário se reduzir a pressão no compartimento onde a água será evaporada já que a temperatura de ebulição da água diminui com a diminuição da pressão na atmosfera interna, logo a água que na pressão atmosférica a nível do mar entra em ebulição a 100°C, ao ser submetida a uma redução de pressão, precisará de uma temperatura menor para evaporar. Resultando em uma menor energia gasta, obtenção de vários pontos de ebulição e melhor controle de incrustação.

Para que a água entre em ebulição, de duas condições importantes devem ser observadas: temperatura apropriada relativa a pressão ambiental e energia suficiente para sua vaporização. Após ser aquecida até seu ponto de ebulição se a fonte de calor for desligada, a água irá continuar fervendo por um curto período de tempo, isso acontece porque a água necessita de calor adicional para continuar em ebulição, a água pode voltar a ferver se receber o calor necessário ou se a pressão ambiental for reduzida. Caso sua pressão seja reduzida e sua temperatura fique acima do ponto de ebulição para a nova pressão, a água voltará a ferver produzindo vapor até que sua temperatura caia abaixo do novo ponto de ebulição. Se mais vapor pode ser produzido e condensado em água destilada com a mesma quantidade de calor, o processo tende a ser mais eficiente.

Para reduzir significantemente a quantidade de energia necessária para a vaporização, o processo de destilação pode usar várias câmaras cada uma com uma pressão e temperatura inferior em relação à anterior. Esse processo de redução da pressão interior para promover evaporação adicional pode ser repetido e, se levado ao extremo com a pressão baixa o suficiente chegaríamos a um ponto no qual ebulição e congelamento estariam presentes ao mesmo tempo. Outro fator importante é o controle de incrustações, apesar de a maioria das substâncias serem mais solúveis em água quente, algumas são mais solúveis na água mais fria. Infelizmente algumas delas como sulfatos e carbonatos são encontradas na água do mar, uma das mais importantes, o sulfato de cálcio ($CaSO_4$), que começa a deixar a

solução quando a água do mar alcança 115°C. Essa substancia forma uma incrustação que reveste qualquer tubo ou superfície presente, as incrustações criam problemas mecânicos e térmicos e uma vez formadas são difíceis de remover. Uma maneira de evitar a formação dessas incrustações é controlar o nível de concentração da água salgada e controlar a temperatura máxima no processo, outra maneira é adicionar produtos químicos especiais à água do mar que reduzem a precipitação dos sais e permite que a temperatura alcance 110°C.

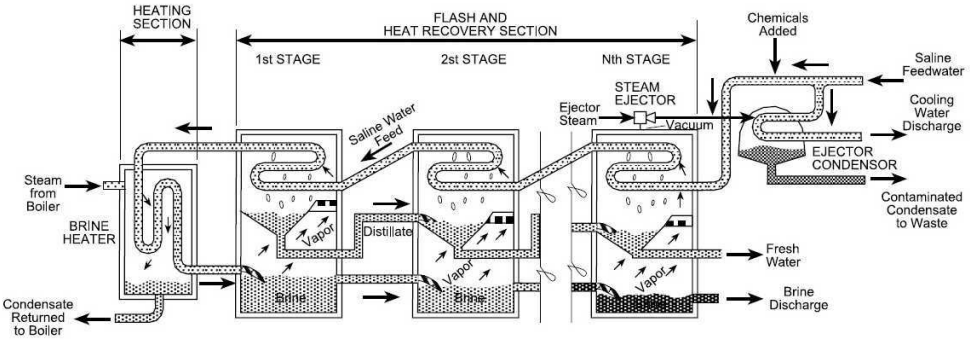
Desses dois conceitos originaram-se vários processos de destilação, sendo que o processo que apresenta melhor capacidade de dessalinização da água do mar é a destilação de múlti-estágios.

3.1 Destilação multi-estágios

Nesse processo a água do mar é aquecida em um compartimento chamado aquecedor de salmoura, que é realizado geralmente por vapor em condensação em um feixe tubular contendo água do mar. A água do mar aquecida entra em outro compartimento, chamado estágio, com uma pressão abaixo da atmosférica a nível do mar, fazendo-a ferver imediatamente. A súbita introdução da água aquecida no compartimento causa sua rápida ebulição, quase explodindo em vapor. Geralmente somente uma pequena percentagem dessa água é convertida em vapor, dependendo da pressão existente no interior da câmara e a evaporação irá continuar até que a temperatura da água caia do ponto de ebulição.

O equipamento usa uma série de compartimentos, cada qual com a pressão inferior à do seu antecessor e a água de alimentação passa de uma câmara para outra sendo evaporada sem a adição de calor adicional. Uma unidade de destilação multi-estágios típica pode ter de 15 a 25 estágios, sendo que a adição de mais estágios aumenta a área de superfície total, porém aumenta o custo capital em adição à complexidade da operação. O vapor gerado pela súbita evaporação é condensado em destilado pela ação de tubos que trocam calor em cada estágio, esses tubos são resfriados pela água salgada de alimentação que segue em direção ao aquecedor de salmoura, o que auxilia no aquecimento da água que será entregue no aquecedor, reduzindo a quantidade de energia térmica necessária para aumentar a temperatura da água salgada no aquecedor de salmoura.

Figura 1 – Destilação Multi-estágios



Fonte: USAID

Esses equipamentos geralmente trabalham com a temperatura máxima de 110°C na saída de água do aquecedor de salmoura e um dos fatores que afeta a eficiência térmica da instalação é a diferença entre a temperatura da água na saída do aquecedor de salmoura e a temperatura no último estágio, em sua extremidade mais fria. Operar a instalação nos limites máximos de temperatura de 110°C aumenta sua eficiência, porém aumenta também o potencial de formação de incrustações e aceleração da corrosão das superfícies metálicas.

Esse tipo de processo é muito usado em terra e, muitos países do Oriente Médio como a Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos e Kuwait são altamente dependentes de instalações desse tipo para suprir água para suas áreas urbanas.

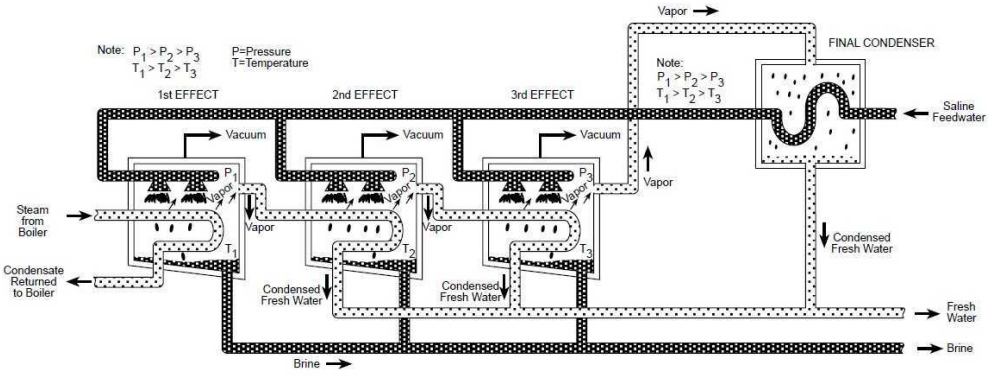
3.2 Destilação multi-efeito

O processo de destilação multi-efeito tem sido usado industrialmente há muito tempo. Os usos mais tradicionais desse processo são para a produção de açúcar através da evaporação do caldo de cana e a produção de sal. Algumas das mais antigas usinas de destilação de água usavam esse processo, porém a melhor resistência a incrustações observada na destilação multi-estágios substituiu o mesmo, porém a partir da década de 80 do século passado o interesse no processo foi reavivado devido ao novo conceito de operação a baixas temperaturas, o que minimiza a corrosão e incrustações.

Como no exemplo anterior esse método utiliza vários estágios usando os princípios de condensação e evaporação em ambientes com a pressão reduzida,

permitindo que a água salgada de alimentação evapore sem a necessidade de calor adicional após o primeiro estágio. Geralmente um estágio consiste em um invólucro, um trocador de calor e acessórios para transportar os fluidos entre os estágios. O trocador de calor mais comum é o de tubos horizontais com borrifo de salmoura.

Figura 2 – Destilação multi-efeito



Fonte: USAID

A água de alimentação é quase sempre adicionada em iguais porções nos vários estágios, borrifada ou distribuída na superfície dos tubos trocadores de calor de modo a promover a rápida evaporação. Pelos tubos do trocador de calor no primeiro estágio passa vapor, vindo de uma turbina ou caldeira, que é então condensado e volta para o sistema de geração de vapor. As superfícies dos trocadores de calor dos estágios seguintes são aquecidas pelo vapor produzido no estágio anterior, sendo então condensado em água destilada, o vapor do último estágio é condensado em um trocador de calor a parte pela água do mar que será alimentada ao sistema, sendo a mesma, nesse momento pré-aquecida. Somente uma parte da água alimentada é evaporada, o remanescente da água salgada em cada estágio, agora mais concentrado e chamado salmoura, é recirculado nos estágios seguintes para que possa ainda ser evaporado.

A pressão ambiente nos vários estágios é mantida por um sistema de vácuo separado. A eficiência térmica do processo dependa do número de estágios na instalação, geralmente de 8 a 16. As instalações mais modernas foram projetadas para operar com a temperatura máxima (no primeiro estágio) de 70°C, o que reduz o

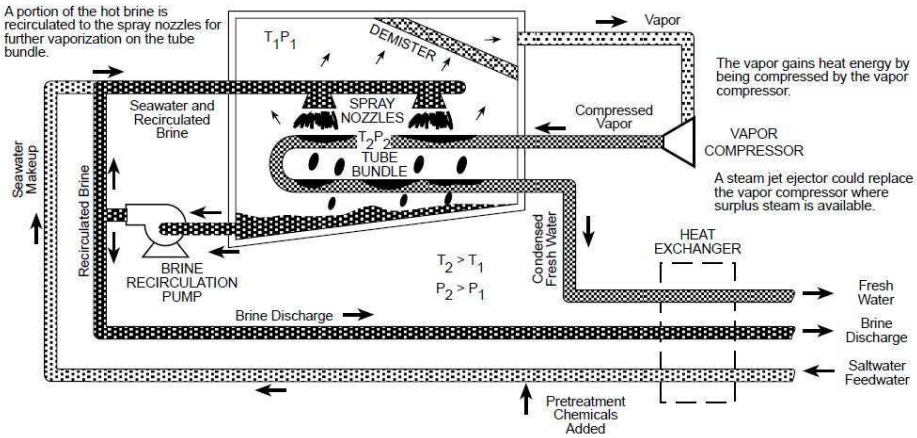
potencial de incrustações, porém tem-se a necessidade de se aumentar a área de troca de calor, aumentando o tamanho físico da instalação.

Instalações eficientes que usam esse sistema precisam de um número considerável de estágios e uma grande área de troca de calor e são geralmente empregadas em lugares onde o custo da energia é alto e vapor a custos baixos está disponível, um ciclo de compressão de vapor pode ser adicionado ao sistema, reduzindo consideravelmente o número de estágios e a área de troca de calor para a mesma capacidade.

3.3 Destilação por compressão de vapor

Geralmente usado em combinação com outros processos, como a destilação multi-efeitos, explicada anteriormente ou isoladamente para pequenas e medias capacidades de dessalinização. O calor para a evaporação da água pode vir tanto da compressão de vapor, como da troca direta de calor de vapor vindo de uma caldeira.

Figura 3 – Destilação por compressão de vapor



Fonte: USAID

As instalações que usam esse processo também se utilizam do princípio da redução da temperatura de ebulição pela redução da pressão Ejetores de vapor (compressão térmica do vapor) ou compressores mecânicos (compressão mecânica do vapor) são usados no ciclo de compressão para o funcionamento do processo. O

compressor mecânico pode ser de acionamento elétrico ou diesel, permitindo o uso de somente energia elétrica ou mecânica para a produção de água destilada.

Em uma configuração básica um compressor mecânico é usado para fornecer o calor necessário para a evaporação, todo o vapor é retirado por um compressor do último estágio e introduzido como vapor de aquecimento no primeiro estágio após ser comprimido, onde será condensado no trocador de calor. Água do mar é borrifada externamente ao trocador de calor para que seja parcialmente evaporada, produzindo vapor.

Já nas unidades chamadas termo compressoras, um ejetor operado usando pressões de 3 a 20 bar de vapor, remove parte do vapor d'agua do estágio. No ejetor, o vapor removido é comprimido para ser introduzido no primeiro estágio. Unidades a compressão de vapor são geralmente usadas em resorts, indústrias e locais de perfuração. Sua simplicidade e confiabilidade de operação as tornam atrativas para pequenas instalações.

3.4 Grupos destiladores

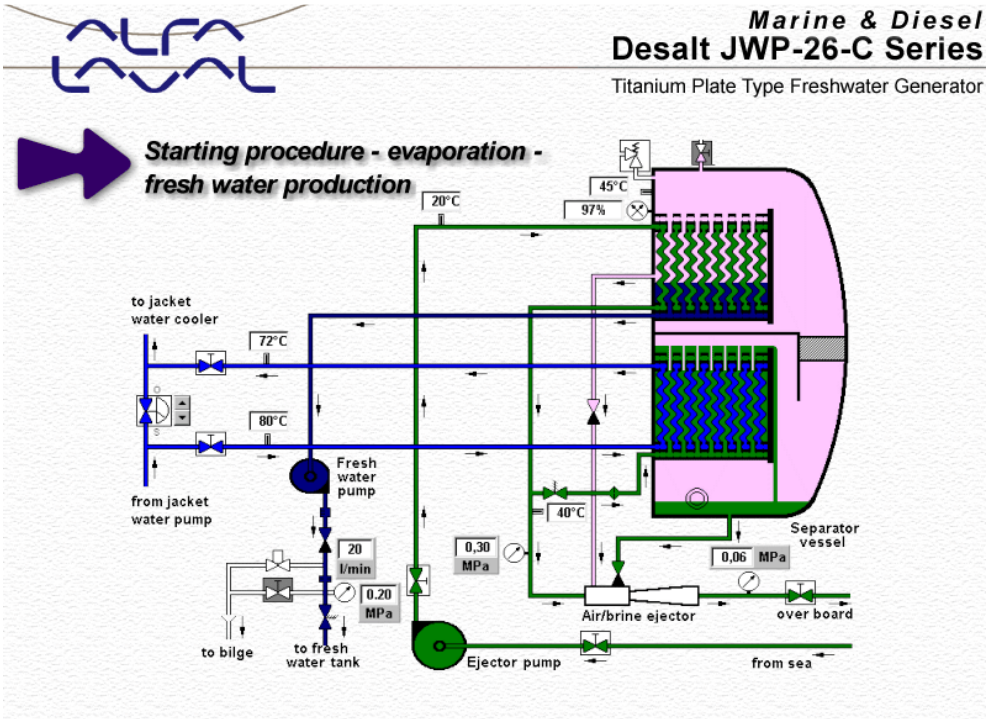
É como são conhecidos os destiladores usados a bordo de embarcações, aproveitam muito dos princípios utilizados nos equipamentos analisados anteriormente, principalmente a redução da temperatura de ebulição pela redução da pressão no interior do equipamento.

A grande vantagem do grupo destilador usado a bordo de embarcações é que ele, em sua maioria das vezes aproveita o calor rejeitado pela água de resfriamento dos motores de combustão interna. Calor esse que seria dissipado no resfriador de água e não teria utilidade nenhuma. Com o aproveitamento desse calor pelos destiladores há uma grande economia em consumo de energia para a evaporação da água do mar, sendo essa uma das grandes vantagens desses equipamentos. Vapor gerado por uma caldeira as vezes também é usado, mas não é o mais comum nem tão econômico. O equipamento usado a bordo é relativamente simples em comparação aos que foram apresentados anteriormente, sendo geralmente encontrado com apenas um estágio, o que economiza espaço a bordo, facilita sua operação e manutenção e pode ser do tipo tubular (menos encontrado) ou de placas.

Outra vantagem, e que é comum aos processos que utilizam a destilação, é a produção de uma água com alto teor de pureza, isso se justifica, porque ao se evaporar a água deixa para trás qualquer impureza, contaminantes, bactéria, etc. E sua salinidade chega facilmente a 0 ppm (partes por milhão), as poucas gotículas que possam estar dispersas no vapor gerado e que contém moléculas de sal são retidos pelo demister, que é uma malha metálica localizada na passagem do evaporador para o condensador.

Abaixo podemos ver uma figura representando o equipamento grupo destilatório em uma vista em corte lateral.

Figura 4 – Grupo destilatório



Fonte: Alfa-laval

Na figura acima constata-se a simplicidade do funcionamento de um grupo destilatório. A água salgada de alimentação é admitida no sistema através da bomba ejetora (ejector pump), passando em primeiro lugar no evaporador, onde trocando calor com o vapor condensa o destilado e também pré-aquece a água que será alimentada. Ao sair do condensador uma parte da água salgada irá para o

evaporador, onde será vaporizada e a maior parte do fluxo irá para o ejetor de ar/salmoura (air/brine ejector).

A função do ejetor de ar/salmoura é criar uma pressão interna abaixo da ambiente, através de arrasto, essa queda de pressão irá favorecer a evaporação da água de alimentação através da redução da temperatura do ponto de ebulição, ele também retira o excesso de salmoura, que é a água salgada que não foi evaporada com concentração de sais elevada. Após passar pelo ejetor e arrastar a salmoura, essa água salgada é descartada para fora da embarcação.

A energia térmica necessária para que a água salgada alimentada ao evaporador entre em ebulição e evapore é fornecida pela água de resfriamento dos motores de combustão interna. Essa água é comunicada ao destilador ou isolada, caso o destilador necessite ser parado, por uma manobra de válvulas e chega para a troca de calor com aproximadamente 80°C, temperatura mais do que suficiente para a imediata evaporação da água salgada, que teve seu ponto de ebulição diminuído. Ao sair do equipamento a água de arrefecimento dos motores segue seu circuito normal, parcialmente resfriada, rumo ao resfriador de água do motor e tanque de expansão.

A água salgada ao evaporar pela ação da energia térmica da água de resfriamento dos motores, passa através do separador de gotículas (demister), que é uma malha situada entre o evaporador e o condensador que tem a finalidade de reter qualquer gotícula de água salgada que possa estar em suspensão. Após passar pelo separador de gotículas, o vapor segue para as placas do condensador, onde, ao trocar calor com a água salgada de alimentação, com a temperatura mais baixa, se condensa em água destilada. O destilado produzido é retirado do grupo destilador pela bomba de extração de destilado (fresh water pump), passando por um salinômetro, se a salinidade da água destilada estiver mais alta do que o ajustado no sensor, essa água é descartada até que seu valor abaixe, ficando dentro do valor desejado, quando então é bombeada para o tanque de água destilada e pode ser usada pela tripulação. Um salinômetro é um sensor que mede a condutividade elétrica da água. A medida de condutividade eletrolítica, também chamada de condutância especifica, é a capacidade de uma solução conduzir corrente elétrica. O mecanismo de condução de corrente elétrica em soluções eletrolíticas difere da condução dos metais, onde a corrente é formada unicamente por elétrons livres, enquanto que nos líquidos é realizada por íons.

A condutância específica é definida como o recíproco da resistência específica em ohm/cm de um eletrólito. Como exemplo, são mostradas abaixo a condutividade típica de soluções mais encontradas, e o largo espectro de condutividade em soluções aquosas (Barrow, 1982).

a) Água ultra-pura: 0,075 µohm/cm;
b) Água destilada de boa qualidade: 1,000 µohm/cm;
c) Água potável de boa qualidade: 67,500 µohm/cm; e
d) Água do mar: 45.000 µohm/cm.

Nos salinômetros usados a bordo utiliza-se a escala em PPM (partes por milhão) e uma água destilada de boa qualidade deve ter no máximo 10 ppm (10 partes de sais dissolvidos por 1 milhão de partes de água), porém é comum trabalharmos com uma salinidade de 2 ou mesmo 0 ppm.

4 PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO POR MENBRANA

Na natureza as membranas têm um importante papel na separação de sais, tanto no processo de diálise como no de osmose que ocorrem no corpo dos seres vivos. As membranas são usadas em dois processos comercialmente importantes de dessalinização: eletro diálise (ED) e osmose reversa (OR). Ambos os processos usam a habilidade das membranas em diferenciar e separar seletivamente sais e água, entretanto existem diferenças em cada processo.

A eletro diálise é um processo elétrico e usa um potencial elétrico para mover seletivamente sais através de uma membrana, resultando água doce como produto. A Osmose reversa é um processo que utiliza pressão na separação, forçando a água doce por uma membrana e deixando os sais para trás.

A exploração desses dois conceitos vem sendo feita por cientistas desde o início do século XX, mas sua comercialização para dessalinização de água ocorreu apenas nos últimos 40 anos.

4.1 Eletro diálise

Esse processo foi introduzido comercialmente no início da década de 1960, cerca de dez anos antes da osmose reversa. O desenvolvimento da eletro diálise forneceu uma maneira de dessalinizar água salobra com um bom custo-benefício e estimulou um considerável interesse no uso de tecnologias de dessalinização para produzir água para comunidades.

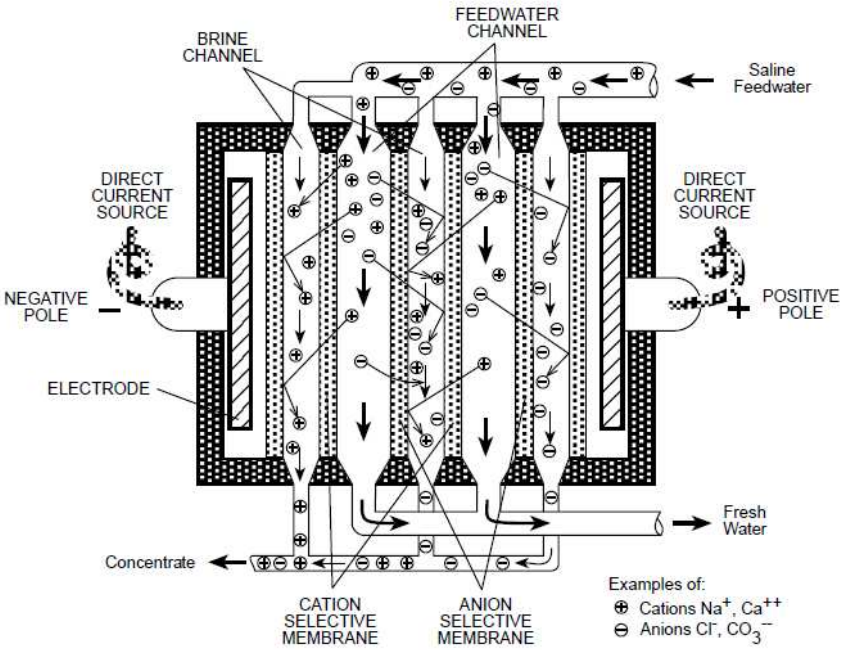
A eletro diálise depende dos seguintes princípios gerais:

a) A maioria dos sais dissolvidos na água são iônicos, podendo ter cargas positivas ou negativas;
b) Esses íons tendem a migrar em direção a eletrodos com carga elétrica oposta;
c) Membranas podem ser fabricadas para permitir a passagem seletiva de ânions ou cátions.

Os constituintes iônicos dissolvidos em uma solução salina, como cloreto (-), sódio (+), cálcio (++) ou carbonato (-), estão dispersos na água, neutralizando suas cargas individuais. Quando eletrodos são conectados a uma fonte externa de corrente continua, como uma bateria e são colocados em um recipiente com água salgada, a corrente elétrica passa pela solução, criando uma tendência de migração dos íons

em direção ao eletrodo que tem a carga oposta às suas. Usando esse fenômeno para dessalinizar a água, membranas individuais que permitem a passagem de ânions ou cátions, mas não ambos ao mesmo tempo, são colocados entre um par de eletrodos. Essas membranas são dispostas alternadamente, com uma membrana seletiva de ânion seguida de uma membrana seletiva de cátion, um espaçamento que permite a água passar ao longo da parede da membrana é deixado entre cada par de membranas.

Figura 5 - Fluxo de íons no processo da eletro diálise



Fonte: USAID

Um espaçamento forma o canal pelo o qual escoa a água de alimentação e a produzida, enquanto no outro é drenada a solução concentrada (salmoura). Com os eletrodos energizados e a água de alimentação passando pelos canais, os ânions na água são atraídos e desviados pela membrana próxima ao eletrodo carregado positivamente, diluindo a concentração de sal no canal de água de alimentação. Os ânions passam através da membrana seletiva de ânions, mas não conseguem passar pela membrana seletiva de cátions, ficando presos no canal de salmoura. Do mesmo modo, os cátions são atraídos pelo eletrodo carregado negativamente, movendo-se na direção oposta aos ânions, através da membrana seletiva de cátions

para o canal de salmoura do lado oposto e ficam presos pois não conseguem passar pela membrana seletiva de ânions.

Nesse arranjo, soluções concentradas e diluídas são produzidas nos espaços entre as membranas alternadas. Esses espaços delimitados por duas membranas, uma aniônica e outra catiônica, são chamados células. O par de células, é formado por duas células, uma da qual os íons migraram formando a solução diluída, e outra na qual os íons estão presentes formando a solução concentrada ou salmoura. Uma unidade básica de eletro diálise é formada por centenas de pares de células limitados por eletrodos. A água de alimentação passa simultaneamente em paralelo por todas as células provendo um fluxo continuo de água produzida e salmoura, e dependendo do projeto do sistema, produtos químicos podem ser adicionados ao fluxo de água para prevenir incrustações.

Uma unidade de eletro diálise contém os seguintes componentes: unidade de pré-tratamento, conjunto de células e eletrodos, bomba de circulação de baixa pressão, um retificador (para prover corrente continua) e unidade de pós-tratamento. A água captada necessita de um pré-tratamento para evitar qualquer material que possa danificar ou entupir as células. Uma bomba com potência suficiente para vencer a resistência de passagem da água pelos canais estreitos de baixa pressão é usada. O retificador transforma a corrente alternada da rede em corrente continua a ser fornecida para os eletrodos localizados na parte externa do conjunto de células. O pós-tratamento consiste em estabilizar a água e prepará-la para a distribuição, removendo gases, como o sulfeto de hidrogênio e ajustando o pH.

4.2 Osmose reversa

Em comparação com a destilação e à eletro diálise, o processo de osmose reversa é relativamente novo, com sua comercialização começando no início da década de 1970. É um processo de separação por membrana no qual a água de uma solução salina pressurizada é separada dos solutos (material dissolvido) ao passar através de uma membrana. Nenhum aquecimento ou troca de fase é necessário para essa separação, e a maior parte de energia requerida no processo é usada para pressurizar a água de alimentação.

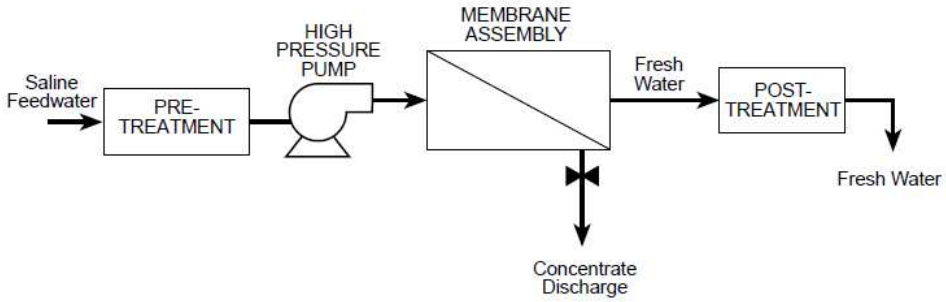
Na pratica a água salgada de alimentação é bombeada em um vaso fechado, onde é pressurizada contra uma membrana. Enquanto uma parte da água passa

pela membrana, o remanescente aumenta a concentração de sal. Ao mesmo tempo, uma parte da água de alimentação é descartada sem passar pela membrana. Sem esse descarte controlado, a água de alimentação pressurizada iria continuar aumentando a concentração de sal, criando problemas tais como a precipitação de sais super saturados e o aumento da pressão osmótica através da membrana. A quantidade de água de alimentação descartada no fluxo de salmoura varia de 20% a 70% do fluxo de entrada, dependendo da salinidade da água de alimentação, pressão e tipo de membrana.

Um sistema de osmose reversa é composto dos seguintes componentes:

a) Pré-tratamento;
b) Bomba de alta pressão;
c) Conjunto da membrana;
d) Pós-tratamento.

Figura 6 - Componentes básicos da osmose reversa



Fonte: USAID

O pré-tratamento é de suma importância, pois a superfície da membrana deve permanecer limpo. Sólidos suspensos devem ser removidos e a água de alimentação pré-tratada para que a precipitação de sais ou o crescimento de micróbios não ocorra nas membranas. Usualmente, o pré-tratamento consiste de filtragem fina e a adição de ácidos ou outros produtos químicos.

A bomba de alta pressão fornece a pressão necessária para a água passar através da membrana e ter os sais filtrados. Essas faixas de pressão vão de 15 a 25 bar para água salobra e de 54 a 80 bar para água do mar. O conjunto da membrana consiste de um vaso de pressão e uma membrana que permite que a água de

alimentação seja pressurizada através da mesma. A membrana deve ser capaz de resistir a toda a queda de pressão que acontece através dela durante o processo. As membranas semipermeáveis variam em sua capacidade de deixar passar água e reter os sais dissolvidos. Nenhuma membrana é perfeita na capacidade de reter os sais, logo uma pequena quantia de sal sempre irá passar para a água produzida.

As membranas de osmose reversa são fabricadas em uma variedade de configurações. Duas das mais comercializadas são a em espiral e a de fibra oca. Ambas são usadas tanto para água salobra como para água do mar, apesar da construção da membrana e da pressão suportada sofrerem variações dependendo do fabricante e da quantia de sal na água de alimentação. O pós-tratamento, como no caso anterior, consiste em estabilizar a água e prepará-la para a distribuição, removendo gases, como o sulfeto de hidrogênio e ajustando o pH.

Dois grandes avanços na última década foram primordiais para se reduzir o custo operacional das instalações de osmose reversa: O desenvolvimento de membranas mais eficientes e o uso de equipamentos de recuperação de energia. As membranas agora permitem um maior fluxo de água, rejeição de sais melhorada, custos mais baixos e vida útil maior. Outro acontecimento importante tem sido o uso de membranas chamadas de nano filtragem, que são mais porosas a passagem de sólidos dissolvidos. Esse processo remove a maioria dos íons bivalentes. A rejeição por membranas de nano filtragem de íons monovalentes é bem menor do que com membranas de osmose reversa e são usados até mesmo quando a água de alimentação é doce porém ainda contém sólidos dissolvidos que causam dureza.

Os últimos dez anos têm sido muito importantes para o processo de osmose reversa, embora o mesmo não tenha mudado fundamentalmente no conceito, têm havido melhoras continuas na eficiência e aumento da vida útil das membranas, recuperação e redução da energia, controle e experiência operacional. O resultado é uma redução generalizada no custo da água dessalinizada pelo processo de osmose reversa, principalmente a dessalinização de água do mar.

5 OUTROS PROCESSOS

Outros processos têm sido usados com a finalidade de dessalinizar a água, porém os mesmos não conseguiram alcançar o sucesso comercial que a destilação, eletro diálise e osmose reversa atingiram, entretanto podem ser interessantes sob circunstâncias especiais ou se devidamente desenvolvidos.

5.1 Congelamento

Exaustivos trabalhos foram feitos nas décadas de 1950 e 1960 para desenvolver a dessalinização por congelamento. Durante o processo de congelamento, os sais dissolvidos são naturalmente excluídos na formação inicial dos cristais de gelo. O resfriamento da água salgada para formar cristais de gelo sob condições controladas pode dessalinizar a água do mar. Antes que toda a massa de água tenha sido congelada, a mistura é lavada e enxaguada para remover os sais na água remanescente ou aderidos ao gelo. O gelo é então derretido produzindo-se água doce.

Teoricamente, o congelamento tem algumas vantagens em relação à destilação, que era o processo predominante na época em que o congelamento foi desenvolvido. Essas vantagens incluem uma menor energia usada para uma operação de simples estágio, um menor potencial de corrosão e menos problemas com precipitação e incrustações. A desvantagem é que envolve o manuseio de gelo e misturas de água, que são mecanicamente complexas de se mover e processar.

Existem vários processos que usam o congelamento para a produção de água e poucas instalações foram construídas nos últimos 50 anos. Entretanto o processo não foi bem sucedido comercialmente na produção de água para fins comunitários. A tecnologia tem provavelmente melhores aplicações no tratamento de esgotos industriais do que em produção de água doce.

5.2 Destilação por membrana

A destilação por membrana foi introduzida comercialmente em pequena escala durante a década de 1980, mas não demonstrou sucesso comercial. Como já diz o nome, o processo combina as tecnologias de destilação e uso de membranas.

No processo, a água salgada é aquecida para se produzir vapor, que é exposto a uma membrana que deixa passar somente o vapor, retendo líquidos. Após passar pela membrana, o vapor é condensado em uma superfície mais fria para produzir água doce. Na forma liquida, a água não pode passar de volta pela membrana, ficando presa e sendo coletada.

A principal vantagem desse processo está em sua simplicidade e na necessidade de pequenos diferenciais de temperatura para ser operado, o que resultou no uso da destilação por membrana em unidades experimentais de dessalinização solar. Entretanto, o diferencial de temperatura e a taxa de recuperação, como nos processos multi-estágios e multi-efeito, determina a eficiência térmica geral para o processo. Então, quando funciona com pequenos diferenciais de temperatura, grandes quantidades de água de alimentação têm que ser usados, o que afeta sua eficiência energética total.

5.3 Umidificação solar

O uso de energia solar direta para dessalinizar água tem sido investigado e usada há bastante tempo. Durante a Segunda Guerra Mundial, um grande esforço foi empregado com o intuito de se desenvolver um pequeno dessalinizador solar que pudesse ser usado nos botes salva-vidas. Tal esforço continuou após a guerra, com uma variedade de modelos sendo feitos e testados.

Esses equipamentos geralmente imitam parte do ciclo hidrológico natural, onde os raios solares aquecem a água salgada, promovendo a vaporização (umidificação). Esse vapor é então condensado em uma superfície fria e o condensado coletado como água doce. Um exemplo desse tipo de equipamento é o dessalinizador tipo estufa, onde a água salgada é aquecida em um recipiente no chão e o vapor se condensa no teto de vidro.

Variações desse modelo têm sido feito na tentativa de se aumentar a eficiência do processo, mas todos compartilham as mesmas dificuldades, que restringem o uso dessa técnica para a produção em larga escala:

a) Grande área de captação solar necessária;
b) Alto custo capital;
c) Vulnerabilidade a dano relacionado ao clima.

Uma regra geral dos dessalinizadores solares é que uma área de coleta de aproximadamente um metro quadrado é necessária para se produzir 4 litros de água por dia, logo para se produzir 4000 m³ por dia uma área em torno de 100 hectares seria necessária. Essa operação necessita de uma área muito grande e poderia criar dificuldades se localizada perto de grandes cidades onde os terrenos são pequenos e caros. Os equipamentos em si são de construção cara e apesar da energia térmica ser disponível de graça, energia adicional é necessária para se bombear a água. Além de tudo isso, é preciso uma certa atenção na operação, rotina e manutenção.

Esse tipo de equipamento geralmente é usado em pequenas vilas ou propriedades, onde a energia solar é abundante e a mão de obra barata.

6 ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS USADAS A BORDO

Nesse capítulo tentaremos analisar as vantagens e desvantagens do grupo destilatório em relação ao equipamento de osmose reversa e vice versa, atentando para os principais fatores levados em consideração para a utilização de um deles, entre eles podemos citar (Luz,2010):

a) Peculiaridades do projeto do navio, necessidade de água com maior quantidade e/ou qualidade;
b) Grau de obsolescência de um equipamento. Embora não obsoletos, os grupos destilatórios, atualmente são menos empregados, porém não estão completamente excluídos, mesmo em embarcações onde já existam equipamentos de osmose reversa;
c) Disponibilidade de fontes de calor perene. Uma vez que os destiladores precisam de uma fonte de calor contínua, ou seja, que não pode ser interrompida ou acionada somente para a produção de água doce (vapor ou água de resfriamento dos motores), e outros fatores menos importantes.

No grupo destilatório, a água produzida no final do processo, tem uma salinidade que atende a maioria dos serviços de bordo, com ou sem pós-tratamento, e, em alguns casos, até uma ressalinização, com a adição de alguns sais necessários a uma água classificada como potável, sais esses excluídos durante o processo de destilação.

Nos equipamentos de osmose reversa, a água produzida não tem uma salinidade tão reduzida como a gerada pelos destiladores, porém consegue atender a maioria dos serviços de bordo. Em alguns casos entretanto, tem que ser submetida a processos adicionais mais refinados, para alguns serviços no qual a salinidade deve ser menos do que a entregue, tais como:

a) Água de alimentação de caldeiras;
b) Água para uso em baterias;
c) Qualquer outro sistema que necessite de água desmineralizada.

Ambos os equipamentos, em virtude do alto grau de poluição das águas litorâneas, principalmente em baías, canais, estreitos e proximidade da área e existência de plataformas de exploração de petróleo, tem uma grande restrição operacional relativa a captação de água salgada a ser dessalinizada, em virtude da existência de poluentes por ações antropogênicas, tais como: esgoto sanitário das

cidades, dejetos industriais, hidrocarbonetos oriundos da exploração e refino de petróleo, entre outros.

Esses poluentes, em um grupo destilatório, diminuem a eficiência dos trocadores de calor e no equipamento de osmose reversa, diminuem consideravelmente a eficiência e vida útil das membranas semipermeáveis, que são a alma do processo. Para minimizar tal problema, é uma prática operacional utilizar esses equipamentos em áreas onde esses poluentes existem em menor concentração, geralmente a 12 milhas náuticas da costa ou de área de exploração de petróleo por plataformas.

Outra restrição operacional é a questão da temperatura da água do mar, que influencia em ambos os equipamentos, tendo maior impacto no de osmose reversa (Luz, 2010). No grupo destilatório, a baixa temperatura da água do mar exigirá mais calor para levar a água salgada ao ponto de evaporação, exigindo mais vapor ou água de resfriamento dos motores, exigindo um maior consumo de combustível, ou simplesmente reduzindo a produção de destilado. No equipamento de osmose reversa a baixa temperatura da água do mar inibe mais drasticamente a ação das membranas semipermeáveis, reduzindo consideravelmente a produção de água doce. Para corrigir essa queda na produção, os fabricantes possuem tabelas com fatores de correção que permitem o cálculo do acréscimo da quantidade de água de alimentação que deverá ser feito, com base na produção normal de projeto, geralmente a uma temperatura de 25°C, afim de manter a capacidade de produção de projeto do equipamento, evitando danos às membranas.

Fazendo uma comparação entre os equipamentos podemos citar alguns pontos positivo e negativos.

Em relação ao grupo destilatório.

Pontos positivos:

a) Água produzida de excelente qualidade (água praticamente desmineralizada);
b) Baixo consumo de energia elétrica pelas bombas ejetora e de extração de condensado, impactando no consumo de combustível pelos geradores;
c) Equipamento compacto, facilitando sua instalação a bordo;
d) Água produzida livre de bactérias e micro-organismos devido ao processo de vaporização da água;
e) Equipamento simples, de fácil manutenção, exigindo geralmente uma limpeza a cada três meses em média;

f) Baixo nível de vibração e ruído.

Pontos negativos:

a) Necessidade de uma fonte de calor perene, ou seja, uma instalação de vapor ou de propulsão funcionando sem interrupções;
b) A produção da água fica condicionada as flutuações da demanda de vapor, ou da temperatura da água de resfriamento dos motores;
c) Devido sua diminuição na utilização, há poucos fabricantes e fornecedores, todos de origem estrangeira.

Em relação ao equipamento de osmose reversa.

Pontos positivos:

a) A produção de água doce é realizada de forma autônoma, ou seja, independente de outros sistemas da embarcação;
b) A capacidade dos equipamentos, no caso, a quantidade de água doce a ser produzida, não fica dependendo da variação energética de outros sistemas, podendo ser dimensionado de acordo com a necessidade;
c) Permite a instalação modular, ou seja, os componentes do sistema podem ser arranjados em unidades especificas: módulo de filtragem, módulo de bombeamento, módulo de membranas. Facilitando o arranjo a bordo;
d) Apesar de importados são de fácil aquisição no mercado, inclusive contando com todo o apoio técnico em relação à instalação, comissionamento, manutenção e fornecimento de sobressalentes.

Pontos negativos:

a) As membranas semipermeáveis, fabricadas com material sintético e que são a peça chave do processo, são importadas e utilizam para sua fabricação tecnologia avançada. Com poucos fornecedores, seu preço é relativamente elevado.
b) A manutenção e preservação das membranas semipermeáveis, bombas de alta pressão e filtros é complexa. Sendo necessário para a preservação da membrana uma gama de produtos químicos, sendo que alguns encontrados somente fora do Brasil.
c) Por produzir uma água doce com uma concentração relativamente alta de sólidos dissolvidos, cerca de 500 ppm, podem estar associados a micro-organismos indesejáveis, sendo necessário a utilização de equipamentos auxiliares afim de prover algum tipo de pós-tratamento da água produzida, sendo comum por

exemplo, um esterilizador de raios ultravioleta (UV), destinado à eliminação da presença de micro-organismos nocivos não retidos nas membranas.

Em relação ao custo dos equipamentos em questão, fica difícil realizar uma comparação, pois os dois utilizam equipamentos muito diferenciados entre si, além de possuírem princípios de funcionamento tão diversos.

Nesse contexto, não cabe a escolha de um dos equipamentos apenas pelo seu custo, e sim do somatório de fatores, como: das condições da água a ser captada, tipo de embarcação onde será instalado, manutenção a ser empregada, além da associação ao custo. Desta forma, ao analisar o somatório de fatores, pode se chegar a um custo 15% a 20% mais baixo do grupo destilatório.

Ressalta-se que, apesar da utilização cada vez menos frequente dos grupos destiladores atualmente, a excelente qualidade da água produzida, aliada a não necessidade de equipamentos complementares de pós-tratamento, responsáveis por elevar o preço de um equipamento, deixam o grupo destilatório com custo ligeiramente inferior como supracitado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pudemos observar nesse trabalho as características de cada processo de produção de água doce a partir da água do mar através da dessalinização, concluindo que não existe um pior ou um melhor, sendo que a escolha do equipamento a ser utilizado depende de vários fatores relativos à operação, manutenção, características da água de alimentação, qualidade requerida da água produzida, não sendo muito difícil serem encontrados ambos os equipamentos a bordo de uma mesma embarcação.

Nesse contexto, quando existe a necessidade de uma água com grau de pureza mais elevado, como a usada para alimentar caldeiras, baterias ou usadas em laboratórios, é recomendável a instalação de um grupo destilatório. E quando os padrões de pureza necessários não são tão rígidos, sendo necessária uma água para uso geral mas que atenda aos padrões e normas internacionais, um equipamento de osmose reversa supre essas necessidades, porém com a necessidade de um pós-tratamento.

A tendência atual é que com o avançar das pesquisar e da tecnologia referente aos equipamentos de osmose reversa, estes se tornem cada vez mais confiáveis, seu custo total seja reduzido e a qualidade da água produzida melhore, podendo até mesmo um dia substituir de uma vez os grupos destilatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCENÇÃO, Antônio Leonardo Silva de. **Dessalinização por osmose reversa:** a inovação tecnológica da geração de água doce. Trabalho de conclusão do curso APMA. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL; Marinha; Diretoria de Engenharia Naval. **Geração de água doce:** equipamento por destilação com reaproveitamento de energia**.** RJ: DEN, 1992.

BRASIL; Marinha; Diretoria de Engenharia Naval. **Grupo de osmose reversa:** especificação da aquisição**.** RJ: DEN, 1992.

BUROS, O. K. **The ABC's of desalting.** International Desalination Association. Disponível em: <http://www.water.ca.gov/pubs/surfacewater/abcs_of_desalting/abcs_of_desalting.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2014.

FREITAS, Tayná Dalci Nicolau. **Produção de água a bordo de navios e plataformas.** RJ: Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, 2011.

GOMES, Abílio Soares; CLAVICO, Etiene. **Propriedade físico-química da água.** UFF, Niterói, 2005.

LORCH, W. **Handbook of water purification.** 2 ed. The Lorc Foundation. University of Buckinghan, 1987.

LUZ, Jomar Marinho. **Dessalinizadores de osmose reversa:** vantagens e desvantagens em relação aos destiladores. 30p. Trabalho de conclusão do curso APMA. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2010.

VANNIER, Célio Monteiro. **Processos de dessalinização da água do mar utilizados a bordo de navios.** RJ: Universidade Cândido Mendes, 2011.