SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

Derik Gonçalves da Costa
Larissa Amorim França
Matheus Gonçalves de Souza
Raiane Canuto da Silva

Produção de água a bordo de navios e plataformas

Barra Mansa RJ
2015

Costa, D.G.; França, L. A.; Souza M. G.; Silva, R. C.;

Produção de água a bordo de navios e plataformas. Barra Mansa: SENAI, 2015.

60p.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora com o objetivo de obtenção do diploma de Técnico em Construção Naval, 2015

Orientador: Leandro de Moura

Palavras Chaves:
1Naval 2Osmose 3Embarcações 4Dessalinização

Derik Gonçalves da Costa
Larissa Amorim França
Matheus Gonçalves de Souza
Raiane Canuto da Silva

Produção de água a bordo de navios e plataformas

Trabalho de conclusão de curso com o objetivo de obtenção do diploma de Técnico em Construção Naval.

Orientador
Leandro de Moura

Barra Mansa RJ
2015

Derik Gonçalves da Costa
Larissa Amorim França
Matheus Gonçalves de Souza
Raiane Canuto da Silva

Produção de água a bordo de navios e plataformas

Trabalho de conclusão de curso com o objetivo de obtenção do diploma de Técnico em Construção Naval.

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Curso Técnico em Construção Naval

Data da Aprovação 15/05/2015

Carlos Roberto Garcia
Chefe de Setor de Educação Profissional

Martha Matilde Fernandes Boulte de Souza Renha Weiss Senise
Orientadora Pedagógica

Leandro de Moura
Coordenador do Curso Técnico em Construção Naval

Dedicatória

Dedicamos a todos os profissionais da indústria naval;

Agradecimentos

A todos do grupo que se dedicaram e ajudaram uns aos outros; Aos familiares que contribuíram de seu tempo e conhecimento para nos ajudar com informações e pesquisas; Ao orientador Leandro de Moura, que nos orientou em cada paço dado, assim sendo possível concluir cada etapa; Aos docentes, Evandro de Souza Silveira, Leonardo Coutinho e Thiago Cordeiro, que disponibilizaram de tempo, ajuda e conhecimento no momento de construção do nosso trabalho.

Resumo

Agua é vital. Todos os seres vivos necessitam da água para viver, este cenário não muda na área naval e o que podemos dizer que a água é o que mais temos, água esta que está presente a todo momento, é o que nos cercam, porém uma água que não é usada para consumo, mas isso está sendo mudado, com estudos de processos que hoje existem e estão sendo bem visados por seus benefícios e praticidade. Neste trabalho citaremos a produção de água abordo de navios e plataformas, tendo como objetivo focar no processo de dessalinização da água, desde a captação ao tratamento e distribuição por meio do processo de osmose reversa. Contendo as informações de custo, viabilidade, vantagens e desvantagens, impactos ambientais sendo prós ou contras e também as especificações técnicas do processo como aparelho utilizado e mão de obra. As informações contidas nesse trabalho são pesquisas orientadas através de estudos bibliográficos. Conclui-se que tal processo é de suma importância para o desenvolvimento e sustentabilidade da indústria naval/ offshore brasileira. E uma possível solução para os problemas de escassez de recursos hídricos pelo mundo.

Palavras Chaves: Dessalinização Osmose Naval Embarcações

Abstract

Water is vital: all living things need water so they can survive. This scenario does not change in the naval area, in which we can say we are surrounded by water all the time. However, this type of water, the seawater, is not usually used for consumption, what is beginning to changed due to studies of processes that were recently created and which are calling for attention because of their benefits and practicality. In this paper, we will focus on the production of water on ships and platforms. It is our main focus to talk about the process of desalination of the seawater in all its different phases. It is also our intention to present information about the cost of the project, its feasibility, the advantages and disadvantages of using it, its environmental impacts as well as the technical and human specifications of the process. The information presented in this work is based on bibliographical studies. It is concluded that this process is of great importance for the development and sustainability of the Brazilian naval/offshore industry, as well as a possible solution to the problems of water scarcity worldwide.

Keywords: Desalination Osmosis Marine Ship

Lista de figuras

Figura 1	Equipamento de Osmose Reversa	16
Figura 2	Embarcação de Carga	19
Figura 3	Embarcação de Carga	21
Figura 4	Plataforma Petrolífera	22
Figura 5	FPSO Cidade de Ilhabela	23
Figura 6	Esquema de um Desalinizador Solar	31
Figura 7	Processo de Destilação por Compressão de Vapor	32
Figura 8	Processo de Destilação Flash de Múltiplos Estágios	33
Figura 9	Destilação de Múltiplos Efeitos	34
Figura 10	Processo de Eletrodiálise	35
Figura 11	Processo de Dessalinização por Osmose Reversa	36
Figura 12	Cilindros de Suporte as Membranas	39
Figura 13	Unidade de Osmose Reversa da Plataforma de Perfuração Polvo A	40
Figura 14	Filtros de Areia e Carbono Ativado	44
Figura 15	Bomba de Osmose Reversa	45
Figura 16	Membrana para Osmose Reversa	46
Figura 17	Sistema de Dessalinização com Membranas em série	47
Figura 18	Sistema de Filtragem Secundária	48
Figura 19	Sistema de Desinfecção por Raios Ultra Violeta	49
Figura 20	Irrigação agrícola	53

Lista de tabelas

Tabela 1	Tempo de Sedimentação	25
Tabela 2	Comparação entre as Principais Tecnologias de Dessalinização	56

Lista de abreviaturas e siglas

SD	Destilação Solar	29
MVC	Compressão de Vapor	29
MSF	Destilação Flash Múltiplo Estágio	29
MED	Destilação Múltiplos Efeitos	29
RO	Osmose Reversa	29
ED	Eletrodiálise	29

Sumário

Dedicatória
Agradecimento
Resumo
Abstract
Lista de Figuras
Lista de Tabelas
Lista de abreviaturas e siglas
1 INTRODUÇÃO 15
2 OBJETIVO 18
3 EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS 19
3.1.2 Navios 19
3.1.3 Plataformas Petrolíferas 21
3.2 Utilidade em Embarcações 23
3.2.1 Água 24
3.2.1.1 Água Clarificada 25
3.2.1.2 Água Potável 26
3.2.1.3 Uso da Água 26
3.2.1.3.1 Uso Industrial 26
3.2.1.3.2 Uso Específico em Embarcações Marítimas 27
3.3 Dessalinização 28
3.3.1 Tipos de Processos 28
3.3.1.1 Destilação 29
3.3.1.2 Destilação Solar (SD) 30
3.3.1.3 Dessalinização por Compressão de Vapor (MVC) 31
3.3.1.4 Destilação Flash de Múltiplos Estágios (MSF) 32
3.3.1.5 Destilação de Múltiplos Efeitos (MED) 33
3.3.2 Dessalinização por Membranas 34
3.3.2.1 Eletrodiálise 35
3.3.2.2 Osmose Reversa 36
3.3.3 Dessalinização em Embarcações 36
3.3.3.1 Dessalinização em Plataformas Offshore 37
3.3.3.2 Dessalinização em Navios 37

3.4 Aplicações do Processo de Osmose Reversa em Embarcações 38
3.4.1 Considerações na Escolha do Processo 40
3.4.2 Funcionamento 40
3.4.2.1 Operação e Manutenção 41
3.4.2.1.1 Captação da Água 42
3.4.2.2 Pré-Filtragem 43
3.4.2.3 Filtragem 43
3.4.2.4 Bombeio de Alta Pressão 44
3.4.2.5 Filtro / Membrana de Osmose Reversa 45
3.4.2.6 Filtragem Secundária e Remineração 48
3.4.2.7 Pós Tratamento ou Desinfecção 49
4. RESULTADOS 50
4.1 Vantagens e Desvantagens da Osmose Reversa 52
4.1.1 Impactos Ambientais Provenientes Dos Processos De Dessalinização 53
4.1.2 Reaproveitamento do Concentrado 54
4.2 Comparações Entre as Tecnologias de Dessalinização 54
4.2.1 Salinidade Inicial e Final da Água 54
4.2.2 Capacidade de Produção 55
4.2.3 Perspectivas de Melhorias 57
5. CONCLUSÃO 58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 INTRODUÇÃO

Desde A.C os seres humanos vem explorando e desvendando os sete mares, isso graças as embarcações marítimas. Com o passar do tempo após muitas tentativas, acertos e fracassos a humanidade foi desenvolvendo cada vez mais conhecimentos em relação a esse meio e suas embarcações foram ficando cada vez mais sofisticadas e complexas, os materiais que compunham seus cascos e suas estruturas internas foram sendo substituídos e variando quanto a forma e processos de construção ficando cada vez mais frequentes.

Nos dias de hoje devido ás recentes descobertas de grandes jazidas de petróleo, como a do pré-sal, e conforme a necessidade de transporte e exploração que vem abrangido o nosso país o meio naval está sendo muito bem visualizado e utilizado, com demandas cada vez maiores de embarcações marítimas no mercado, essas que são construções gigantescas que demandam de um grande tempo para a sua confecção, feitas de tipos variados de materiais com modelos diversificados que assim atendem cada setor especifico sendo eles transporte, carregamento, apoio, e extração tanto de produtos retirados da água quanto do solo marítimo.

Apesar de suas particularidades para cada setor, as embarcações marítimas seguem um padrão com relação a sua construção e os processos que são realizados nelas, processos esses que influenciam em seu funcionamento, onde é necessária a utilização de diversos tipos de equipamentos que ocupam uma grande área dentro das mesmas, e necessitam de diversos meios, para que tais processos sejam realizados meios esses que devem ser produzidos dentro das próprias embarcações assim tornando as autossuficientes, a água é essencial para a manutenção de máquinas e sobrevivência humana, água essa que precisa ser retirada do mar, porém ela precisa ser tratada, pois a água do mar vem com muitas impurezas, como sólidos, restos de animais e plantas e até mesmo precisa ser retirar os sais, assim temos os processos de dessalinização da água salgada que são caracterizados por remover sais minerais e impurezas da água.

Essa alternativa já vem sendo utilizada por muitos países do Oriente médio como Israel e Kuwait, também em grandes cidades isoladas como Dubai, além da Austrália, devido a escassez de água potável nesses países, (Freitas, T. 2011).

Grande parte dessa água é voltada para o funcionamento de equipamentos assim não necessitam de um tratamento muito especifico, como o processo de clarificação da água, que só remove as impurezas sólidas. Já a parte da água que é voltada para a tripulação e para máquinas de mecânica fina que precisam de tratamento mais específico existem vários processos que conseguem chegar nesse resultado, mas como o mercado vem sempre se inovando novos processos vem surgindo um em destaque é a osmose reversa, que vem se mostrado muito eficiente em sua função, consiste a capacidade de desfazer a solução criada entre a água e o sal, retirar as impurezas solidas, bactérias, e dejetos químicos, resultando em água de qualidade pura.

Fazendo assim com que a embarcação que utilize esse processo consiga suprir as necessidades da mesma e do consumo e necessidades humanas. O nosso país começou a dar seus primeiros passos rumo a utilização das tecnologias de dessalinização na área naval pelo processo de Osmose Reversa, que teve início com a Petrobrás, em 1987, para atender ás suas plataformas marítimas. Desde então, devido á sua excepcional eficiência purificadora, a osmose reversa vem sendo utilizada por ser uma tecnologia moderna e muito eficiente em termos de custo para um sistema de purificação da água. (Vannier C.M. 2011), conforme equipamento mostrado na Figura 1.

Figura 1- Equipamento de osmose revessa

Fonte: Petromax, 2010

Como base no grande avanço da dessalinização no meio naval, esse trabalho pretende apresentar a importância dos investimentos nos equipamentos de produção de água doce abordo de navios e plataformas, expor a importância e explicar a utilização desse tipo de tecnologia na indústria naval/offshore brasileira.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre uma nova tecnologia para a indústria naval offshore, o processo de dessalinização da água por osmose reversa, para que assim a indústria naval brasileira atualize suas tecnologias e utilize esse processo em suas plataformas e embarcações, identificando detalhes do processo, e reconhecendo sua importância nesse setor, além de verificar o crescimento e desenvolvimento do processo de dessalinização e analisar o estado da indústria naval brasileira com relação a essas tecnologias.

3. EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS

A partir deste tópico serão abordados os tipos de embarcações marítimas e suas necessidades de utilidade.

Qualquer construção, inclusive as plataformas flutuantes e as fixas quando rebocadas, sujeita a inscrição na autoridade marítima e suscetível de se locomover na água, por meios próprios ou não, transportando pessoas ou cargas.

3.1.1 Navios

Atravessar rios, lagos, mares e oceanos sempre foi um desafio para o homem. Já no Egito antigo, há quase 5.000 mil anos atrás, se utilizavam embarcações para atravessarem o rio Nilo. Pode se dizer que esse foi o ponto inicial das construções navais.

Navio, então, é toda embarcação flutuante destinadas ao tráfego marítimo, fluvial, ou lacustre, dotada de certa capacidade de autopropulsão ou não, e tem estatuto jurídico de acordo com sua finalidade. Podem ser mercantes ou de guerra, conforme elucidação da Figura 2.

Figura 2: Embarcação de Carga

Fonte: (Carvalho, F.P.C; Alberto R.B. 2008)

O navio é um sistema complexo. É o que melhor engloba as mais diversas aplicações da engenharia mecânica numa única construção: na fabricação de seu casco, como uma estrutura que pode ser construída de diversos materiais como madeira, ferro, aço, vidro e da combinação desses e de muitos outros materiais. Composta de barras, vigas, colunas; como um corpo que deve se manter flutuante baseando se através do princípio de Arquimedes, e que se desloca em manobras sobre a superfície ondulada das águas e em condições de estabilidade

O sistema de propulsão é acionado por motores de combustão interna ou turbinas, a gás ou a vapor, gerado por ciclos termodinâmicos, utilizando caldeiras, aquecedores, condensadores, bombas, compressores, trocadores de calor em plantas de tubulações. Vasos de pressão para armazenamento e transporte de fluídos, além de tanques de combustível, água e lastro.

Como os navios são autossuficientes é comum que muitas embarcações tenham a presença de sistemas auxiliares como os de ar comprimido para partida de motores e acionamentos pneumáticos, ar condicionado para compartimentos habitáveis, grupos destilatórios, sistemas de refrigeração para frigoríficas, lavanderia, cozinha, etc; Também possuem a capacidade de geração e distribuição de energia elétrica para iluminação e potência, acionamento dos motores (Almeida, P.B.; Souza, L.P.S.; Pamplona, C.F.M.; Finkel, L.T.B.; 2011).

O navio deve ter capacidade para transportar carga ou pessoas e também deve dispor de documentação legal necessária e de tripulação que lhe permita entrar e sair dos portos sem riscos de atraso. A classificação dos navios é essencialmente quanto; a finalidade, ao projeto, equipamento próprio para içamento de cargas, sistemas em que são gerados e quanto ao percurso, de acordo com o serviço prestado, podendo assim possuir variações quanto à forma geométrica e estrutural, um exemplo é o cargueiro representado na Figura 3.

Figura 3: Embarcação de carga

Fonte: (Seafood Brasil, 2014)

3.1.2 Plataformas Petrolíferas

A engenharia acompanhou rapidamente a descoberta de campos de petróleo e gás em profundidades cada vez maiores, desenvolvendo plataformas específicas para cada situação.

As plataformas petrolíferas as utilizadas no meio naval podem ser de duas maneiras, em terra firme recebem o nome de plataforma on/shore e no mar recebem o nome de plataforma off/shore e é uma estrutura usada para perfuração em alto mar, nos anos 60 as plataformas eram limitadas a permanecerem ligadas a costa o que gerava grandes impactos ambientas para as regiões litorâneas, para abrigar trabalhadores e as maquinas necessárias para a perfuração de poços no leito do oceano para extração de petróleo ou de gás natural porém, existem plataformas que conseguem fazer a extração desses dois tipos de produtos simultaneamente, processando os fluídos extraídos e levando os produtos, de navio, até a costa. Dependendo das circunstâncias, as plataformas podem ser fixadas ao solo marinho, pode constituir de uma ilha artificial ou pode flutuar como a elucidação da Figura 4.

Figura 4: Plataforma Petrolífera

Fonte: (Veja, 2014)

A indústria do petróleo utiliza atualmente duas famílias de plataformas, segundo a função a que se destinam: plataformas de perfuração ou sondas de perfuração marítima e as plataformas de produção.

As plataformas ou unidades de perfuração submarina são de três tipos: auto elevatória, semissubmersível e navios sonda. Estes três tipos de unidades de perfuração têm, em comum, além das utilidades (alojamentos, refeitório, geradores, laboratório, heliporto e outros) a sonda de perfuração que fica no centro da plataforma.

As que também compões esse time são as FPS do inglês Floating Production Systems. São navios, em geral de grande porte, com capacidade para produzir, processar e/ou armazenar petróleo e gás natural, estando ancorados em um local definido. Em seu convés, são instaladas plantas de processo para separar e tratar os fluidos produzidos pelos poços. Depois de separado da água e do gás, o petróleo produzido pode ser armazenado nos tanques do próprio navio e/ou transferido para terra através de navios aliviadores ou oleodutos. Abaixo a Figura 5 representando uma FPSO.

Figura 5: FPSO Cidade Ilhabela

Fonte: (Sinaval, 2014)

Os principais tipos de FPS são: FPO - As FPOs (Floating Production and Offloading) são Unidades Flutuantes de Produção e Descarga, FPSO - As FPSOs (Floating Production, Storage and Offloading) são Unidades Flutuantes de Produção, Armazenamento e Descarga e FSU - As FSUs (Floating Storage Unity) são Unidades Flutuantes de Armazenamento. (Zander, V. 2011)

3.2 Utilidades em Embarcações

No projeto de uma embarcação marítima, no item autonomia calcula se o tempo em que este pode navegar ou permanecer ancorado em auto mar, ou seja, quanto tempo pode durar sua maior viagem previsível, sem reabastecimento de óleo combustível, víveres, e principalmente, água doce para consumo de pessoas. Desta forma, a água doce potável para consumo de tripulantes e passageiros assumiu um papel de mais alta importância, principalmente a partir da época em que os europeus em seus navios passaram a se aventurar em novas descobertas em áreas desconhecidas do mundo. Justamente por isto, os descobridores dos séculos XV e XVI passaram a desejar uma maior autonomia para seus navios, tendo em vista os riscos e as incertezas que tais viagens ao desconhecido suscitavam e para se precaverem embarcavam a maior quantidade possível de víveres, armamento, medicamentos e, principalmente, água potável (Blaibey, G. 2010).

3.2.1 Água

A água é uma substância química cujas moléculas são formadas por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio. É abundante no Universo, inclusive na Terra, onde cobre grande parte de sua superfície e é o maior constituinte dos fluídos dos seres vivos. As temperaturas do planeta permitem a ocorrência da água em seus três estados físicos principais. A água líquida, que em pequenas quantidades é incolor, mas manifesta sua coloração azulada em grandes volumes, constitui os oceanos, rios e lagos que cobrem quase três quartos da superfície do planeta. Nas regiões polares, concentram-se as massas de gelo e vapor constitui parte da atmosfera terrestre.

A água possui uma série de características peculiares, como sua dilatação anômala, o alto calor específico e a capacidade de dissolver um grande número de substâncias. De fato estas peculiaridades foram favoráveis para o surgimento da vida nos oceanos primitivos da Terra, bem como propiciaram sua evolução. Atualmente todos os seres vivos existentes precisam da água para sua sobrevivência.

Embora os oceanos cubram a maior parte da superfície terrestre, sua água é inadequada para o consumo humano por conta de sua salinidade. Somente uma pequena fração disponível sobre a superfície dos continentes que contém poucos sais dissolvidos, a água doce, está disponível para consumo direto. Contudo, sua distribuição não é uniforme, o que faz com que diversas regiões sofram de escassez hídrica. As atividades humanas, principalmente a agricultura, possuem grandes necessidade de retirada de água de seu leito natural, o que tem afetado negativamente sua distribuição sobre os continentes, bem como da água subterrânea.

É essencial para manutenção da saúde e do bem-estar de todo ser humano o acesso à água potável. Água potável é aquela que pode ser consumida sem nenhum risco de contaminação por agentes químicos ou biológicos a curto e longo prazo. A qualidade da água, por outro lado, está relacionada com todas as substâncias químicas, partículas e microrganismos que estão contidos em si. Geralmente é grande a quantidade de substâncias dissolvidas ou em suspensão, dada a elevada capacidade da água de diluir materiais.

Mais da metade da população mundial recebe água encanada diretamente em seus lares. Normalmente os sistemas de tratamento de água removem os micro organismos e substâncias perigosas utilizando principalmente cloro para desinfecção, tornando-a potável. Nos últimos anos houve ainda o crescimento do consumo de água engarrafada que, a princípio, possui graus ainda mais elevados de pureza. Águas minerais são aquelas que contém diluídas consideráveis quantidades de sais minerais que em geral são benéficos á saúde. A dureza da água refere-se à quantidade de minerais diluídas, sendo que a água dura apresenta maior teor de substâncias minerais dissolvidas. Água destilada, por outro lado, obtida pelo processo de destilação, apresenta os maiores graus de pureza.

3.2.1.1 A Clarificação da Água

A Clarificação das águas é empregada para a remoção de sólidos suspensos (turbidez) nas aguas. A extensão desta remoção de impurezas, depende do equipamento e do tratamento químico empregado na Clarificação.

Sólidos suspensos esses que consistem de partículas insolúveis e de sedimentação lenta. A título de ilustração na Tabela 1 apresentamos, abaixo, alguns exemplos de tempo de sedimentação em função das partículas.

Tabela 1: Tempo de Sedimentação

Sólidos Suspensos	**Tempo para decantação**
Areia grossa	Segundos
Areia fina	Minutos
Barro	Horas
Argila	Anos

Fonte: (Oceanica, 2011)

As razões básicas do porque as partículas suspensas demoram para decantar, são:

- Tamanho muito pequeno (inferior a 10 micra)
- Carga negativa

Nas condições acima, a água mantém as pequenas partículas em suspensão, com influência direta do peso especifico da partícula, carga das partículas, viscosidade da água, temperatura da água, etc.

Partículas do mesmo tamanho tem condições de sedimentação diferentes em águas de temperaturas diferentes.

3.2.1.2 Água Potável

Água potável corresponde a toda água disponível na natureza destinada ao consumo e possui características e substâncias que não oferecem riscos para os seres vivos que a consomem, como animais e homens. A água, em condições normais de temperatura e pressão, predomina em estado líquido e aparentemente é incolor, inodora e insípida e indispensável a toda e qualquer forma de vida.

A água potável, ou mesmo água doce disponível na natureza, é bastante restrita, cerca de 97,61% da água total do planeta é proveniente das águas dos oceanos; calotas polares e geleiras representam 2,08%, água subterrânea 0,29%, água doce de lagos 0,009%, água salgada de lagos 0,008%, água misturada no solo 0,005%, rios 0,00009% e vapor d’água na atmosfera 0,0009%.

3.2.1.3 Uso da Água

A água é utilizada para diversos fins, tais como: abastecimento de cidades, indústrias, produção de energia elétrica, navegação, na agricultura e pecuária.

3.2.1.3.1 Uso Industrial

Da água surge outros aspectos da sua utilização que envolve elevados consumos. Muitas indústrias dependem da água como elemento do processo produtivo quer para arrefecimento, quer para lavagem, quer ainda como matéria-prima. Se for utilizada como matéria-prima, como é o caso das indústrias de

engarrafamento da água mineral de refrigerantes ou de cervejas a água tem de ter a máxima quantidade. Nos outros casos, normalmente apenas se exigem sua grande abundância.

Quanto aos usos industriais no estado líquido a água é utilizada para:

- Diluir de produtos químicos;
- Combater incêndios;
- Processos como hidrojateamento;
- Regular temperatura;
- No estado gasoso é utilizada para:
- Funcionamento de turbinas a vapor;
- Sopragem de fuligem em fornos e caldeiras;

3.2.1.3.2 Uso Específico em Embarcações Marítimas

As embarcações marítimas, quando em operação estão semi-imersas em algum meio aquático, fluvial ou lacustre (água doce), e, como é mais comum no Brasil, no mar (água salgada) e, em alguns casos, ora numa ora noutra água. Essas águas externas ao navio, recolhidas para utilização em serviços de bordo ´´in natura``, são chamadas de águas não tratadas, ou ainda de ´´águas brutas``, e são de primordial importância para atendimento, após filtragem grossa e bombeamento aos serviços a seguir mencionados:

- Resfriamento de plantas propulsoras (trocadores de calor, camisas de resfriamento e condensadores);
- Lastro e esgotamento de tanques e compartimentos (funis de enchimento e adutores);
- Consumo humano (Tripulação);
- Combate a incêndios (hidrantes); e
- Higiene (sistema sanitários e baldeação de converses entre outros).
- (Vannier, C.M. 2011)

3.3 Dessalinização

A dessalinização é uma alternativa para o tratamento da água do mar. Parte da água salgada na terra é transformada em vapor através da energia solar, formando nuvens que se precipitam como água potável através das chuvas (SOUZA L.F. 2006).

A dessalinização passou a ser utilizada em embarcações no século XVI e em terra a partir do século XVIII. Porém, foi a partir da década de 40 — durante a 2ª Guerra Mundial — que ela passou a receber mais atenção. Até a década de 60, unidades de dessalinização com capacidade para até 8.000 m3 baseadas em processos térmicos foram instaladas ao redor do mundo e, a partir de 1970, os processos de osmose reversa começaram a ser empregados (SOUZA L.F. 2006).

Nos oceanos pode estar a principal solução para o atendimento das futuras demandas de água doce, já que são possuidores de 95,5% da água existente no Planeta.

Hoje em dia, as usinas empregam técnicas como destilação, osmose reversa, dessalinização térmica e congelamento entre outros. Todas elas têm um fator em comum: são caras e só recebem investimentos se não existem outras alternativas economicamente mais viáveis. Esse quadro, porém, está sendo mudado com o aumento de áreas no mundo que sofrem de escassez de água potável. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), da ONU, prevê que, em 15 anos, cerca de 2 bilhões de pessoas viverão esse problema. A demanda favorece o investimento em pesquisas e, com os resultados positivos obtidos por elas, os preços na área têm caído.

3.3.1 Tipos de Processos

Hoje existem muitos métodos de dessalinização, cada um trabalhando em uma relação muito próxima com os outros para produzir água doce.

Os principais processos de dessalinização são:

1- Processos Térmicos

- Destilação
- Destilação Solar (SD)
- Compressão de Vapor (MVC)

- Destilação Flash de Múltiplo Estágio (MSF)
- Destilação de Múltiplos Efeitos (MED)
- Congelamento

2- Processos Através de Membranas

- Osmose Reversa (RO)
- Eletrodiálise (ED)

3.3.1.1 Destilação

A destilação é uma Operação Unitária integrada no conjunto das operações baseadas na Transferência de Massa. O mecanismo envolvido nesta operação de separação é o do equilíbrio líquido/vapor. Ao fornecer calor a uma mistura líquida, se promovermos a sua vaporização parcial, obtemos duas fases, uma líquida e outra de vapor, que têm composições diferentes. A diferença de composição das duas fases resulta da diferença de volatilidades dos vários componentes da mistura líquida inicial. Quanto maior for essa diferença entre as volatilidades (isto é, quanto mais diferente da unidade forem as volatilidades relativas) maior será a diferença de composição entre a fase líquida e vapor e, como tal, mais fácil será a separação por destilação. As aplicações industriais do processo de destilação são várias, sendo a mais conhecida a da separação de misturas de hidrocarbonetos na indústria petroquímica em particular na refinação do petróleo

A separação por destilação pode ser realizada de diversos modos, uns mais simples, outros mais complexos, dependendo do tipo de mistura e do grau de separação desejados. Desse modo a destilação pode ser classificada de diversas maneiras. Em escala industrial existem diferentes equipamentos, chamados de "colunas de destilação", indicados para cada caso.

Embora exista um senso comum do que a destilação signifique, alguns aspectos importantes, do ponto de vista industrial, devem ser evidenciados:

- Destilação é a técnica de separação mais comum, em termos industriais;
- Ela consome quantidades enormes de energia, tanto nas necessidades de aquecimento quanto nas de resfriamento;

- Destilação pode contribuir com mais de 50% dos custos de operação.

O melhor modo para reduzir custos operacionais de unidades existentes, é melhorar sua eficiência e operação através de otimização e controle do processo. Para atingir esta melhoria, é essencial uma compreensão completa dos princípios da destilação e de como são projetados os sistemas de destilação.

A destilação pode ser classificada sob diversos aspectos. A seguir serão apresentadas algumas possibilidades.

Classificação pelo número de componentes da mistura:

- Binária - quando a mistura é composta somente por dois componentes. Exemplo: mistura de água e álcool.
- Multicomponente - quando existem, na mistura, três ou mais componentes. Um exemplo clássico de mistura multicomponente é o petróleo.

Classificação pelo número de estágios:

- Em único estágio
- Em múltiplos estágios

Classificação pelo modo de operação:

- Operação em batelada
- b) Operação contínua

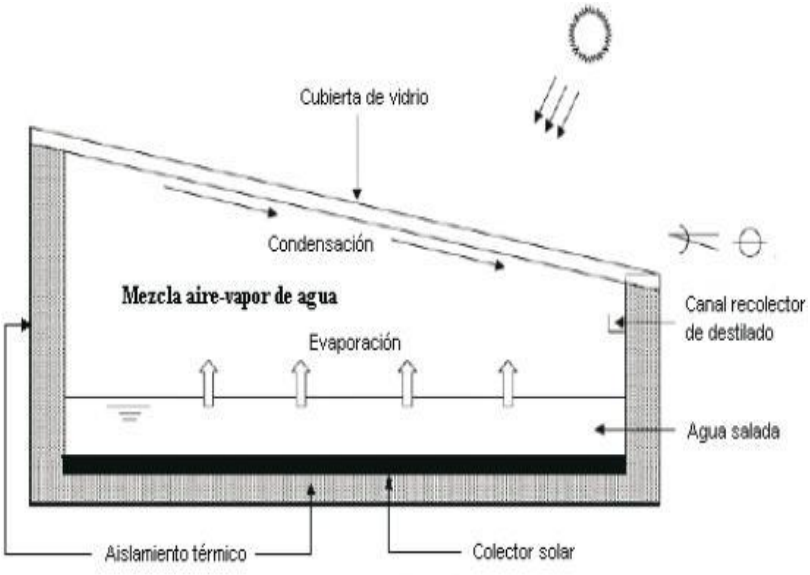
3.3.1.2 Destilação Solar

A utilização direta da energia solar para a dessalinização da água tem sido pesquisada e utilizada já a algum tempo. Durante a II Guerra Mundial, realizou-se trabalho considerável para fazer embotes salva-vidas. Este trabalho continuou após a guerra, resultando numa variedade de dispositivos sendo construídos e testados. (Souza, F.L. 2002)

Os destiladores solares reproduzem o ciclo hidrológico natural em escala reduzida. Nesse processo, a luz solar entra no dispositivo através de um vidro ou plástico inclinado e aquece um recipiente com água salgada. O recipiente geralmente é preto para absorver mais calor. A água quente evapora e então condensa nos painéis de vidro frios. As gotículas então condensadas escorrem pelo vidro inclinado e são coletadas para uso, conforme a elucidação na Figura 6 (MILLER, J.E. 2003).

Este método é ideal para regiões isoladas do planeta, pois é simples de operar e utiliza a luz solar como fonte de energia. O maior problema desse processo é a baixa capacidade de produção. (SANTOS, J.J.C.S. 2005)

Figura 6: Esquema de um Dessalinizador Solar



Fonte: (Scielo, 2012)

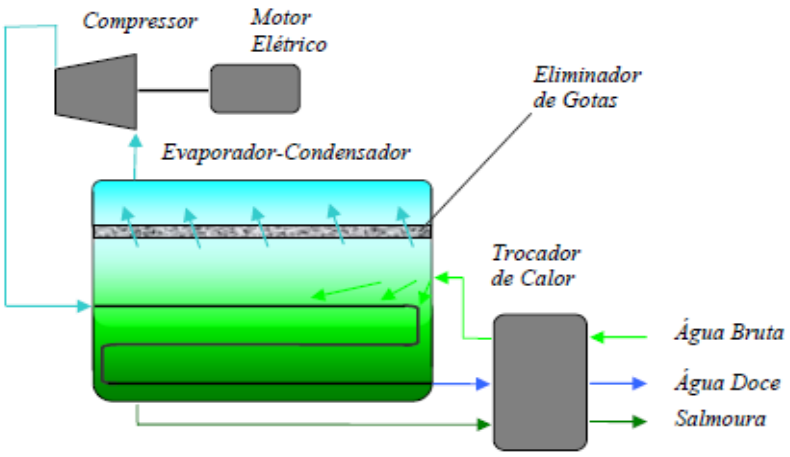
3.3.1.3 Dessalinização por Compressão de Vapor (MVC)

A destilação por compressão de vapor é geralmente utilizada para unidades de dessalinização de água marinha em larga média escala. O calor para evaporação vem da compressão do vapor muito mais do que da troca direta de calor a partir do vapor produzido em um aquecedor. (SOUZA, L.F. 2002)

No processo de dessalinização por compressão de vapor a água bruta é pré-aquecida em um trocador de calor que utiliza a água desaminizada e a salmoura para a troca térmica. O compressor cria vácuo no recipiente e comprime o vapor

gerado, após passar por um eliminador de gotas. Logo após ele é condensado dentro de um grupo de tubos e transfere calor latente para a água marinha que ferve parcialmente, produzindo mais vapor. O calor de condensação é responsável pela repetição sucessiva do ciclo de evaporação-condensação, que permite a continuação do processo. A Figura 7 apresenta o esquema simplificado do processo. (SANTOS, J.J.C.S. 2005)

Figura 7: Processo de Destilação por Compressão de Vapor.



Fonte: (SANTOS, J.J.C.S. 2005)

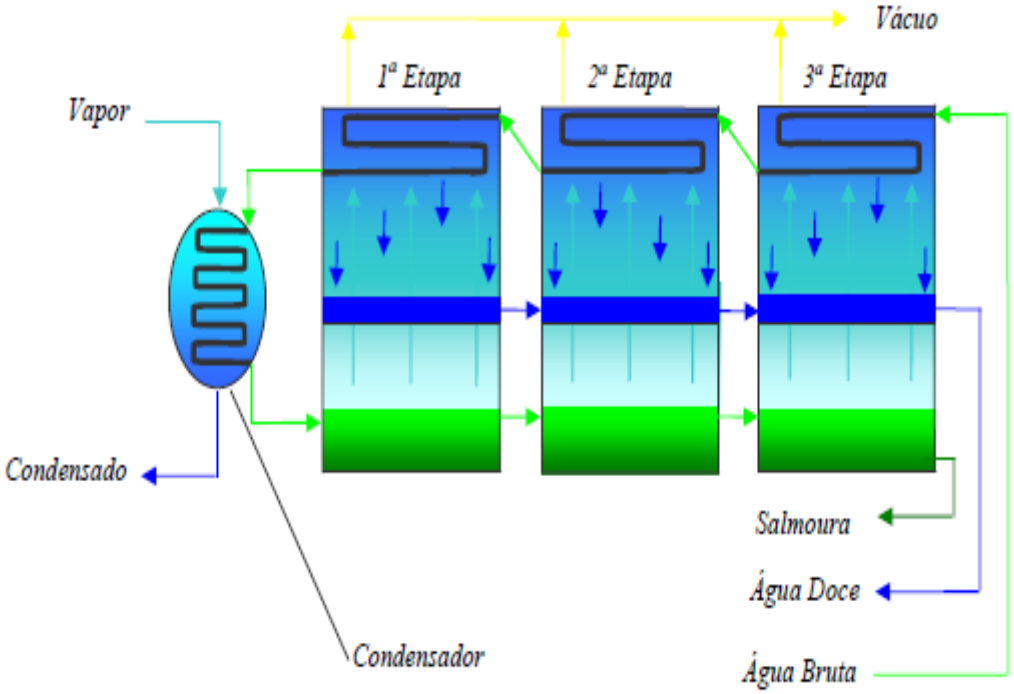
3.3.1.4 Destilação Flash de Múltiplos Estágios (MSF)

A água é aquecida em um recipiente chamado de aquecedor de água salgada. Isto é feito geralmente condensando-se o vapor em uma série de água salgada. Isto é feito geralmente condensando-se o vapor em uma série de tubos que passam através do recipiente que por sua vez aquece a água marinha. Está água marinha aquecida flui então para outro recipiente, denominado de estágio, onde a pressão é tal que a água irá ferver imediatamente, quase explodindo ou transformando-se rapidamente em vapor. Geralmente, apenas uma pequena parcela desta água é convertida em vapor (vapor d´água), dependendo da pressão mantida neste estágio a ebulição irá continuar apenas até o ponto em que a água resfria. (SOUZA, L.F. 2002) Como representado na Figura 8.

O conceito de destilação de água com um recipiente operando a uma pressão reduzida não é novo e tem sido bem utilizado. Nos anos 50, foi desenvolvida uma unidade que utilizava uma série de etapas estabelecidas a

pressões atmosféricas cada vez mais baixas. Nesta unidade, a água poderia passar de um estágio para outro e ser fervida rapidamente á medida que se adiciona mais calor. Tipicamente, uma planta MSF pode conter de 4 a 40 estágios. (Souza, F. L. 2002)

Figura 8: Processo de Destilação Flash de Múltiplos Estágios



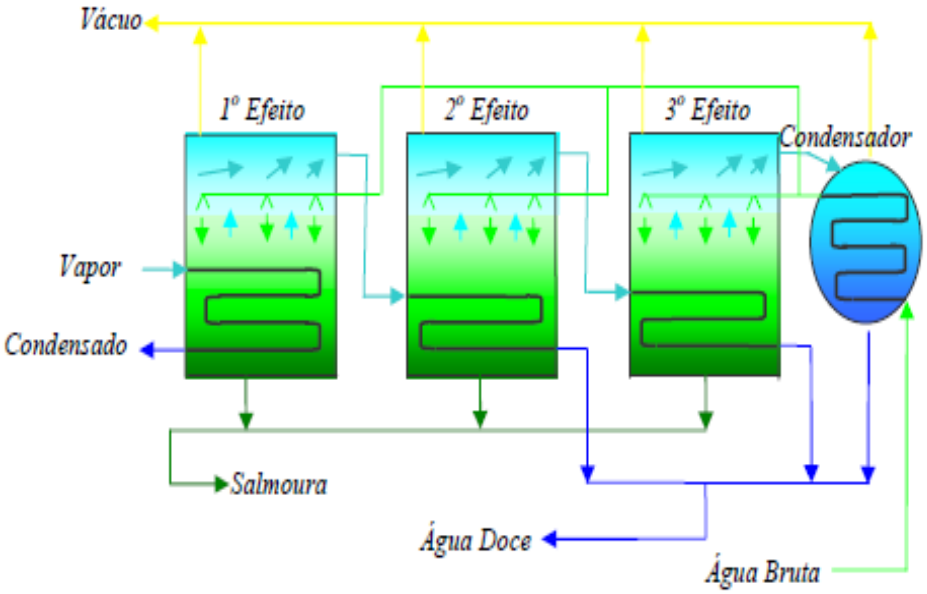
Fonte: (SANTOS, J.J.C.S. 2005)

3.3.1.5 Destilação de Múltiplos Efeitos (MED)

Na destilação múltiplos efeitos (MED), a água do mar pré-aquecida entra no primeiro evaporador (chamado efeito), onde terá sua temperatura elevada até a temperatura de ebulição. O vapor gerado será utilizado para aquecer de forma indireta a água no segundo efeito e assim sucessivamente, sendo que o vapor do último efeito será utilizado para pré-aquecer a água bruta — que entrará no primeiro efeito. Assim como no processo MSF, é utilizado vácuo para reduzir a temperatura de ebulição da água. O vapor condensado é captado, tratado e comercializado como água doce. (SOUZA L.F. 2006) A título de demonstração a Figura 9 representa o sistema.

Note-se que apenas uma parcela da água é evaporada no primeiro efeito. A água remanescente é enviada para o segundo efeito, onde novamente é aquecida e parcialmente evaporada e assim sucessivamente. Nas grandes plantas MED, utilizasse de 8 a 16 evaporadores e, a temperatura do primeiro efeito das plantas mais recentes usualmente é de 70°C. (SOUZA, L.F. 2002)

Figura 9 - Destilação de Múltiplos Efeitos



Fonte: (SANTOS, J.J.C.S. 2005) (DEPNÉ, H. 2012)

3.3.2 Dessalinização por membranas

Na natureza, as membranas desempenham um importante papel na separação dos sais. Isto inclui tanto os processos de diálise quanto de osmose que ocorrem no corpo. As membranas são utilizadas em dois processos comercialmente importantes de dessalinização: Eletrodiálise (ED) e Osmose Reversa (RO). Cada processo utiliza a capacidade das membranas de diferenciar e separar seletivamente sais e água. Entretanto, as membranas são utilizadas diferentemente em cada um destes processos.

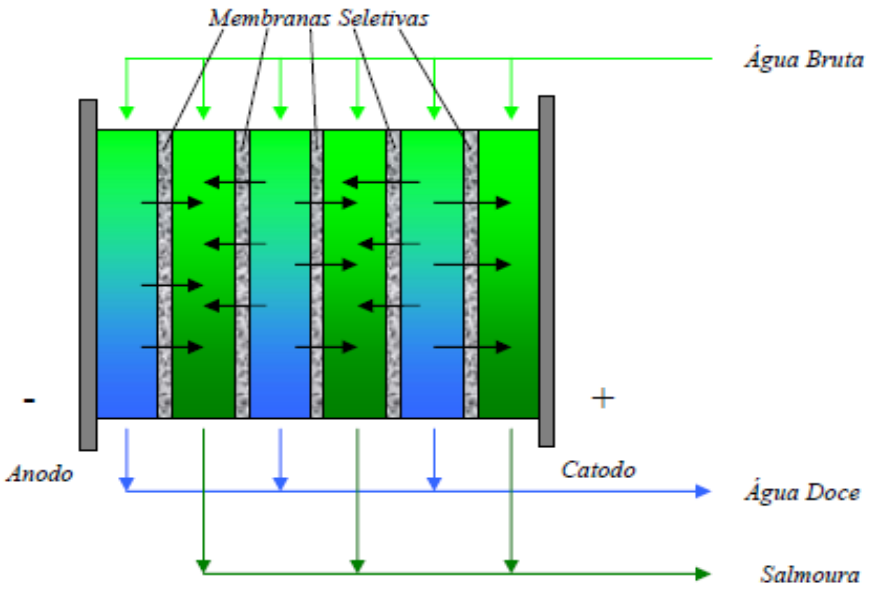
3.3.2.1 Eletrodiálise

A eletrodiálise foi comercialmente introduzida nos anos 60, cerca de 10 anos antes da Osmose Reversa. O desenvolvimento da eletrodiálise forneceu uma forma eficaz no que se refere a custo para dessalinizar a água salobra e incitou um interesse considerável nesta área. (SOUZA, L.F. 2002)

Na eletrodiálise, dois eletrodos são ligados a uma fonte de energia externa, que transportam energia elétrica através da solução, de forma que os íons tendam a migrar para o eletrodo de carga oposta. Para isso, deve haver uma membrana entre eles que permita a passagem dos íons (cátions ou ânions). Essas membranas são arrumadas de forma alternada (membrana seletiva de cátions seguida de membrana seletiva de ânions). (SOUZA, 2006), a Figura 10 demonstra o processo em operação.

Como qualquer processo, a eletrodialise também apresenta alguns problemas: impedimentos a passagem de corrente elétrica entre o arranjo das membranas na seletividade dos íons, desperdício de energia provocado pelo aquecimento das próprias membranas e da solução ionizada, e polarização das concentrações de sal. Portanto, os níveis teóricos de energia necessária para a prática da eletrodiálise ficam maiores. (SOUZA, L.F. 2002)

Figura 10 - Processo de Eletrodiálise



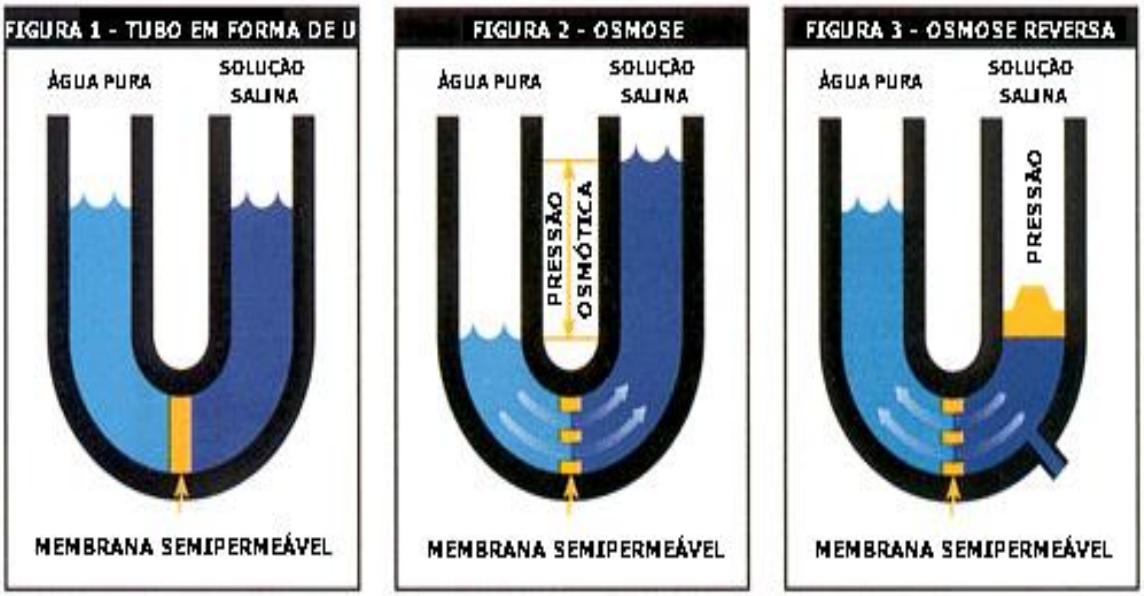
Fonte: (SANTOS, J.J.C.S. 2005); (DEPNÉ, H. 2012).

3.3.2.2 Osmose Reversa

O princípio da osmose é o solvente passar através de uma membrana do meio menos concentrado para o mais concentrado. Já na osmose reversa ocorre o oposto, devido à aplicação de pressão no meio mais concentrado a água passa para o meio diluído, produzindo água doce e deixando como resíduo um meio altamente concentrado e sob pressão.

Na prática, a água do mar é submetida a uma pressão superior a sua pressão osmótica contra uma membrana semipermeável, de forma que passe apenas a água livre de sais. Este processo requer um pré-tratamento a fim de retirar elementos em suspensão e organismos da água, minimizando dessa forma o entupimento das membranas. (SANTOS, J.J.C.S. 2005), O processo de Osmose Reversa é representado na Figura 11.

Figura 11: Processo de dessalinização por Osmose Reversa.



Fonte: (Waterworks, 2009)

3.3.3 Dessalinização em Embarcações

A busca por novas alternativas para aumentar a eficiência de processos realizados no segmento naval e o intuito de melhorar a vida dos trabalhadores marítimos são preocupações frequentes deste segmento. (FREITAS, T. 2011)

3.3.3.1 Dessalinização em Plataformas Offshore

As plataformas Offshore são grandes estruturas flutuantes que se encontram localizadas em alto mar com o intuito de extrair petróleo do fundo do oceano. As plataformas também abrigam os operários e os equipamentos necessários para realizar essa operação.

Devido ao isolamento nos locais das plataformas, navios de apoio garantem seu abastecimento com suprimentos.

O abastecimento com água em alguns casos é realizado com o auxilio de navios rebocadores, porém essa não é a solução mais viável. Para garantir uma maior autonomia nas plataformas de petróleo, processos de dessalinização com grupos de Osmose Reversa já vem sendo bastante empregados. (FREITAS, T. 2011)

Estima-se que as plataformas de petróleo utilizam em média 60.000 litros de água doce por dia, sendo esse número o somatório da água utilizada para consumo humano, para abastecer banheiros e acomodações e a água industrial, que é a água utilizada para produzir vapor em caldeiras que abastecem as turbinas. (SATTAMINI, L. 2010)

Devido a essa grande quantidade torna-se mais viável para a plataforma produzir sua própria água, além da questão de transformar um recurso não utilizável em um recurso utilizável.

Para o uso em turbinas, o vapor de água tem que ser isento de impurezas, ou seja, totalmente destilado. Com a utilização de processos de dessalinização é possível obter água nessas condições que aumentam a eficiência e durabilidade da turbina.

Para o consumo humano o sistema de dessalinização por Osmose Reversa elimina vírus e bactérias garantindo assim o bem estar da tripulação. (FREITAS, T. 2011)

3.3.3.2 Dessalinização em Navios

As utilidades da água em navios são praticamente as mesmas que em uma plataforma Offshore.

Antigamente era muito comum que a tripulação de um navio recolhesse água da chuva enquanto estivessem a bordo.

Hoje em dia, devido à tecnologia, isso já não é mais necessário.
Diferente das plataformas os navios não dispões de outros navios para lhes fornecerem suprimentos. Com isso o abastecimento de água é realizado através de armazenamento em tanques.

Com a produção de água a bordo nos navios, consegue-se manter uma maior autonomia em tempo de viagem no mar e reduzir paradas em portos para realizar abastecimento com água.

Tais processos são comuns em navios de grande porte e transatlânticos, pois normalmente são equipados com piscinas e cabines com hidromassagem que consomem um grande volume de água, bem maior que o comum.

Navios pesqueiros também são beneficiados com a utilização de processos de produção de água, pois normalmente esse tipo de navio costuma sair carregado do porto com gelo e água, com os sistemas de dessalinização o gelo e a água poderão ser produzidos durante a viagem eliminando assim o peso morto inicial. (FREITAS, T. 2011)

3.4 Aplicações do Processo de Osmose Reversa em Embarcações

Um equipamento de osmose reversa é basicamente composto por vasos de pressão tubulares arranjados em série ou em paralelo, que asseguram o suporte e a proteção mecânica dos elementos de membranas que estão contidas em seu interior como a representado na Figura 12.

Figura 12: Cilindros de suporte as membranas

Fonte: (Portal Marítimo, 2012)

As membranas são formadas por um conjunto de filtros semipermeáveis, geralmente de poliamida com polisulfona, enroladas em forma de espiral.

Além destes vasos tubulares, o sistema de osmose reversa também é constituído de uma bomba de alta pressão para pressurizar a água para dentro dos vasos com energia suficiente para suplantar a pressão osmótica, válvulas e instrumentação necessários para ajuste do equipamento. (MANUTENÇÃO OFFSHORE, 2010), Na Figura 13 é representado um equipamento de RO embarcado.

Figura 13: Unidade de Osmose Reversa da Plataforma de Perfuração Polvo A

Fonte: (Portal Marítimo, 2012)

3.4.1 Considerações na Escolha do Processo

Ao escolher um processo a ser utilizado, deve-se ter em mente as peculiaridades/facilidades existentes a bordo, tais como (Maya 2002):

- Existência de locais adequados para instalação de ´´caixas de mar`` para admissão da água salgada a ser desaminizada, ou seja, que permita a captação de água salgada livre de contaminantes gerados pelo próprio navio.
- Local adequado para instalação do equipamento dessalinizador a bordo, ou seja, espaço físico adequado que permita a operação e manutenção do mesmo, com a menor interferência possível nos outros sistemas do navio. (Vannier, C.M. 2011)

3.4.2 Funcionamento

A finalidade da dessalinização por Osmose Reversa é permitir a passagem da parte líquida da solução mais concentrada (no caso da água do mar) por uma

membrana, formando uma solução com concentração mais baixa de (água doce), contrariando a pressão osmótica natural, ou seja, é desejada a passagem da fase líquida da solução mais concentrada através de membranas semipermeáveis, pela ação de uma pressão extrema que ficam entre 100 e 1000 psig, ao fenômeno natural (filtragem super-fina). (BHATTACHARYYA, D.; WILLIAMS, M.E. 1992)

A maior parte dos sistemas comerciais e industriais utiliza múltiplas membranas em série. A água processada pelo primeiro estágio de tratamento pode ser passada por módulos de membranas adicionais para atingir níveis superiores de tratamento. A água de rejeito também pode ser direcionada para sucessivos módulos de membranas para aumento da eficiência, apesar de a descarga ainda ser necessária em concentrações maiores onde a incrustação tem maior tendência de ocorrer. (FREITAS, T. 2011)

Os resultados finais da máquina e a qualidade da água tratada (resultado) estão totalmente atrelados a configuração adequada do número de membranas, arranjos de vasos, pressão fornecida pela bomba e instalação correta do equipamento.

O sistema de osmose reversa pode ser projetado para operação totalmente manual ou automatizada.

3.4.1.1 Operação e Manutenção

O processo de Osmose Reversa separa a água de uma solução de sais dissolvidos pelo bombeamento da água através de uma membrana semipermeável. Como a pressão é aplicada na solução, normalmente por bomba, a água e outras moléculas com baixo peso molecular (menores que 200 gramas por mol aprox.) passam através dos microporos da membrana.

Maiores moléculas são retidas pela membrana. Segundo a GEA Filtration, empresa do ramo de filtragem, a maior parte das aplicações da tecnologia de Osmose Reversa utiliza o sistema “cross flow”. Esse sistema é definido como um “Método de filtração onde o escoamento do produto é paralelo à superfície do filtro para minimizar entupimentos e maximizar a eficiência” permitindo assim a utilização contínua das membranas autolimpantes. Como parte do fluido atravessa as membranas e o restante permanece do lado da alimentação, os sais rejeitados são varridos para fora da membrana.

Nos sistemas de Osmose Reversa para usos industriais e comerciais, onde grandes volumes de água são tratados requerendo-se alto nível de pureza, as pressões típicas de operação ficam entre 100 e 1.000 psi, dependendo da membrana selecionada e da qualidade da água que está sendo tratada. A maior parte dos sistemas comerciais e industriais utiliza múltiplas membranas em série. A água processada pelo primeiro estágio de tratamento pode ser passada por módulos de membranas adicionais para atingir níveis superiores de tratamento. A água de rejeito também pode ser direcionada para sucessivos módulos de membranas para aumento da eficiência, apesar de a descarga ainda ser necessária em concentrações maiores onde a incrustação tem maior tendência de ocorrer. (FREITAS, T. 2011)

A operação e manutenção são as chaves do sucesso do desempenho do sistema de dessalinização. Recomenda-se a formação de um banco de dados, o qual deve ser regularmente analisado com objetivo de detectar os potenciais dos problemas, antes do sistema entrar em colapso.

Têm-se observado que o custo de troca de membranas se dá em função da falta de manutenção preventiva nos sistemas de dessalinização. Quando o sistema não apresenta um sistema de pré-tratamento adequado, as membranas passam sob um programa de limpeza química com mais frequência. E quando não são limpas, as impurezas tendem a se depositar na superfície das membranas causando uma gradual diminuição do fluxo e da rejeição de sais e muitas das vezes uma degradação do material da membrana (por exemplo: membrana de acetato de celulose), tornando assim um processo de recuperação irreversível.

3.4.2.1.1 Captação da Água

A água não tratada ou ´´água bruta``, doce ou salgada, é admitida nos navios, através de ´´caixas de mar``, que são caixas de admissão, fabricadas em aço e instaladas em algum local do caco, abaixo da linha d´agua leve, aberta para o exterior e provida de grade ou ralo, a fim de impedir a entrada no sistema de delitos encontrados nos mares e rios. Dessas caixas, aspirada por bomba(s), a água é

direcionada ao sistema a que se destina e para qual foi projetado. (SOUZA L.F. 2006)

Após a utilização, a água é descarregada, via redes, acessórios e peças de apropriadas, em um ponto do casco do navio, abaixo ou acima da linha d´água, conforme o casco, de modo que não possa ser readmitida a bordo para nova utilização. (Vannier, C.M. 2011)

3.4.2.2 Pré-Filtragem

Nesta seção do tratamento ocorre a retirada de sedimentos em suspensão, ou seja, sólidos pesados da água de alimentação com dimensões maiores que 5 micras. A dosagem de cloro também é ajustada nessa fase. Os filtros dessa seção são constituídos de polipropileno. (MANUTENÇÃO OFFSHORE, 2010)

3.4.2.3 Filtragem

Esta seção tem como função remover os sedimentos e sólidos suspensos de tamanho mediano. A água vinda do pré-tratamento passa por filtros constituídos de carbono ativado e areia. A remoção das substâncias contaminantes é realizada através de um processo determinado "*backflushing*", que consiste em "aplicar-se uma contrapressão no sistema, retirando as impurezas retidas pelos filtros. Geralmente essa operação é feita por um sistema automático, com um temporizador acoplado ao mesmo". Para evitar o saturamento das membranas, os filtros de carbono retiram os microrganismos existentes. (CAIRD E CLARK, 2010), na Figura 14 são apresentados os filtros de areia e carbono ativado.

Figura 14: Filtros de Areia e Carbono Ativado

Fonte: (Portal Marítimo, 2010)

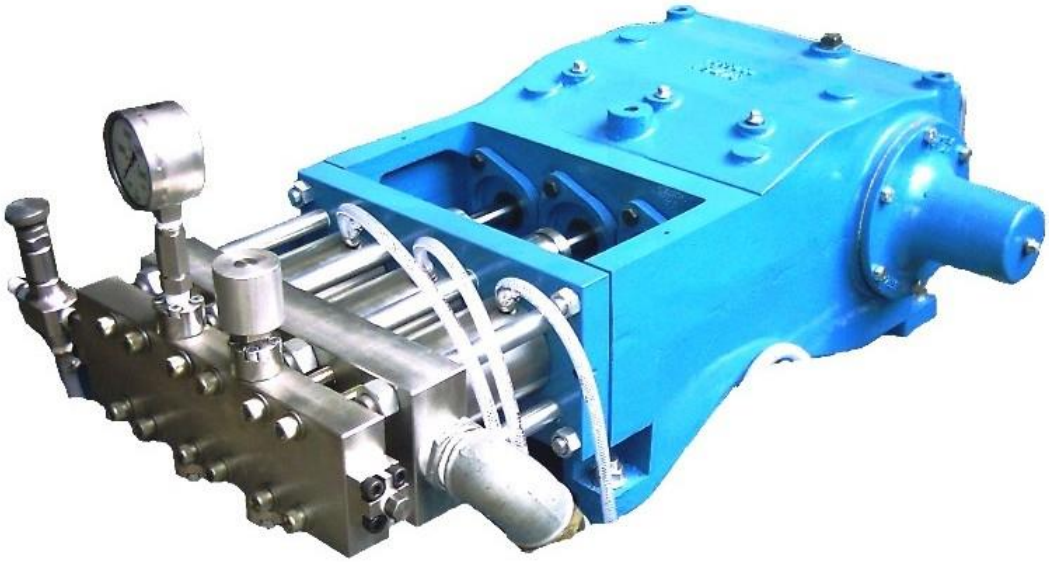
3.4.2.3 Bombeio de Alta Pressão

A bomba de alta pressão é o componente do sistema que gera a pressão necessária para as membranas produzirem uma vazão de água requerida com certa qualidade, um exemplo de uma bomba de RO é representado na Figura 15.

Usualmente, as bombas são do tipo: estágio único, centrífuga de alta velocidade, pistão com deslocamento positivo, centrífuga com multi-estágios. (Moura, J.P.; Monteiro, G.S.; Silva, J.N.; Pinto, F.A.; França, K.P.)

É feito por uma bomba, geralmente alternativa, que eleva a pressão da água de aproximadamente 2,5 *bar* para algo da ordem de 50 *bar*, dependendo do sistema.

Figura15: Bomba de Osmose Reversa



Fonte: (Balhidrojato, 2006)

3.4.2.5 Filtro / Membrana de Osmose Reversa

As membranas são formadas por um conjunto de filtros semi-permeáveis, geralmente de poliamida com polissulfona, enroladas em forma de espiral. Algumas membranas têm capacidade de filtração de 50 a 99%.

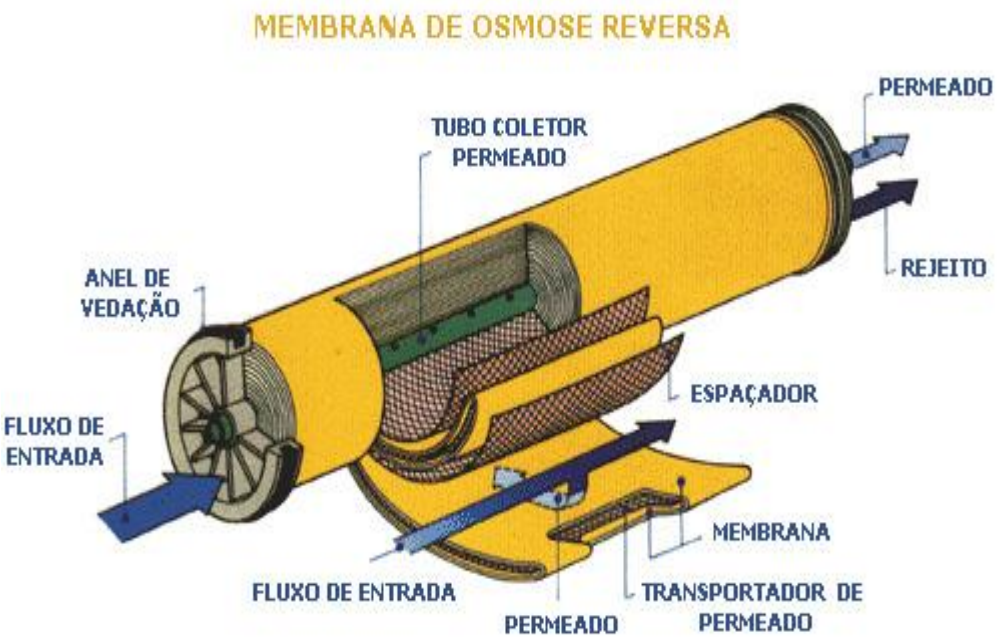
O material de filtração da membrana tem uma variedade enorme de poros microscópicos em sua superfície. O tamanho de um poro de uma membrana () é muito menor que o tamanho de um poro de um filtro normal (1 a 25 microns).

Tais membranas consistem-se em folhas planas seladas em forma de envelope e enroladas em espiral. O arranjo em espiral oferece a vantagem de permitir agregar uma grande área de membranas em um pequeno volume e simplicidade de construção e instalação.

No arranjo em espiral, duas folhas de membranas são unidas com uma tela em seu interior e suas laterais coladas. A partir daí são enroladas ao redor de um tubo e separadas externamente por mais uma tela. Uma das telas forma o canal de coleta de permeado, a outra, o canal de alimentação. O arranjo em espiral torna o sistema mais compacto e facilita a operação a altas pressões em virtude do formato

cilíndrico dos módulos. (ORISTANIO, PEIG E SARTORI, 2006), a Figura 16 representa todo o esquema físico, externo e interno de uma membrana de Osmose Reversa.

Figura16: Membrana para Osmose Reversa



Fonte: (Waterworks, 2009)

As membranas de osmose reversa específicas para água do mar, têm três tipos de diâmetros: 2.5”, 4” e 8”. O que se traduz num intervalo máximo de fluxo de permeado1 de 1.4 a 37.9 m3/d. Por isso é sempre necessário saber o fluxo de permeado desejado para escolher o tipo diâmetro membranar.

As membranas estão compactadas em série no interior de um vaso pressurizado, o número de elementos de membranas pode variar entre 1 a 8 por vaso pressurizado assim como representado na Figura 17.

Figura 17: Sistema de dessalinização com membranas em série

Fonte: (Portal Marítimo, 2010)

As membranas da Osmose Reversa são geralmente operadas através de um fluxo tangencial. Neste sistema, a solução circula paralelamente à membrana. Parte da água é permeada (atravessa as membranas) e o restante, incluindo os sólidos remanescentes são arrastados e levados para fora dos filtros criando uma segunda saída conhecida como concentrado ou rejeito. (MANUTENÇÃO OFFSHORE, 2010)

Diferenciais da membrana de osmose reversa

- O material de filtração possui diversos poros microscópicos na superfície, o que garante maior qualidade durante o tratamento e retenção de contaminantes;
- Tais poros são bem menores se comparados aos filtros normais (normalmente 25 microns);
- Tecnologia de ponta que permite operação em baixas pressões, ou seja, é garantia de desempenho e ainda economia de energia;
- Apresenta rejeição salina equivalente, ou superior dependendo do modelo, ao padrão das membranas convencionais (maior que 98%).

3.4.2.5 Filtragem Secundária e Remineralização

A água desaminizada é muito corrosiva e por isso precisa ser tratada. A água passa por uma filtragem final, antes de ter seu ph reajustado e seus sais minerais repostos. Nesta fase é dosado um produto químico do tipo “Anti Descaling”, que possui dentre outros componentes, o Dióxido de Carbono, que combate a corrosão por depósitos de concreto ou cimento e uma composição que previne a formação de depósitos de cálcio e magnésio no interior do sistema e ajusta o ph da água para aproximadamente 7 (neutro), podendo o valor variar entre 6.8 e 8.1, já fazendo uma primeira desinfecção. Após isso, os sais minerais essenciais ao ser humano são repostos na água por um filtro mineralizador, o equipamento que realiza a filtragem secundária é representado pela Figura 18.

Figura 18: Sistema de filtragem secundária

Fonte: Portal Marítimo, 2010

3.4.2.6 Pós-Tratamento ou Desinfecção

O pós-tratamento consiste em estabilizar a água e prepará-la para distribuição. O processo de dessalinização representa uma barreira efetiva para organismos patogênicos. Mesmo assim a desinfecção é feita para assegurar um suprimento seguro de água. O processo de desinfecção (que às vezes é chamado de desinfecção germicida ou bactericida) é usado para matar qualquer bactéria, protozoário ou vírus que possa ter by-passado o sistema e ainda esteja presente. Essa desinfecção é feita por radiação ultravioleta (UV), usando-se lâmpadas de UV diretamente na água. Vale lembrar que uma desinfecção primária já foi feita no início do processo, assim que a água não tratada entrou no sistema, através de processo de Clorinação. Em alguns países a lei determina que seja feito o processo de Cloraminação também, que emprega o uso da Amônia além do Cloro. Estes processos com Cloro e Amônia devem sempre ser feitos no início do processo, quando a água entra no sistema, a Figura 19 demonstra o equipamento de desinfecção por Raios Ultra violeta.

Figura19: Sistema de Desinfecção por Raios Ultra Violeta

Fonte: Portal Marítimo, 2010

A única desvantagem em relação ao uso da Osmose Reversa é para o uso residencial, uma vez que ele produz muita água residual, imprópria para consumo. Para se ter uma ideia, para cada litro de água potável produzida é produzido de 2 a 4 litros de rejeito. Esse rejeito pode ser usado em pias e toaletes, mas no nosso país essa não é uma prática comum, até mesmo pela falta de consciência ambiental da população e pelo acesso limitado da população a esse tipo de informação.

3.5.1 Vantagens e Desvantagens da Osmose Reversa

- Vantagens

O processo de osmose reversa possui vantagens em ralação aos processos tradicionais de dessalinização e apresenta-se como a melhor alternativa existente para certas regiões e ainda mostra ser mais econômica que caminhões pipa, as vantagens são:

- É um método bastante eficaz que ajuda na conservação do meio ambiente;
- O vapor do processo tem capacidade de Otimizar o rendimento operacional das turbinas movidas a vapor, aumentando a saída de energia em 10% ou mais;
- Devido à automatização, os sistemas de dessalinização têm pouca necessidade de operadores. São projetados para necessitar o mínimo possível de manutenção preventiva. Não requerem períodos de parada significativos com exceção das rotinas de manutenção que são realizadas em aproximadamente de 4 a 6 meses; (FREITAS, T. 2011)
- Os sistemas de Osmose Reversa possuem alta expectativa de vida útil que podem durar cerca de três a cinco anos;
- Ocupa área muito reduzida para instalação;
- Aproveitamento dos efluentes;
- Qualidade constante da água produzida;
- Processo contínuo;
- O design compacto dos equipamentos favorece a utilização em embarcações menores como veleiros e até mesmo botes;
- Possui flexibilidade para futuras instalações;

- Com o passar do tempo os custos das membranas vem caindo cada vez mais e mais graças as pesquisas que envolvem o processo de Osmose Reversa;
- Sua taxa de rejeição a impurezas chega a 99,4%, tornando assim a água desaminizada com alta qualidade para consumo humano (tripulantes);

- Desvantagens

Como todo e qualquer método utilizado em qualquer área, há desvantagens na utilização dos sistemas de dessalinização. Vale ressaltar que as vantagens superam em muito as desvantagens porém torna-se necessário conhecer algumas destas desvantagens. Citaremos aqui as principais desvantagens da utilização dos sistemas de dessalinização.

- Apesar de já ter diminuído bastante o custo dos equipamentos referentes à tecnologia da dessalinização ainda é considerado alto. Porém se analisarmos mais detalhadamente essa questão observamos que o custo inicial é realmente muito elevado, mas a utilização ao longo do tempo, permite que o investimento seja superado em aproximadamente 4 anos. (IDEIAS AMBIENTAIS, 2010)
- Alto consumo energético, para execução do processo são utilizados equipamentos que consomem elevadas taxas de energia.
- A limpeza das membranas também é considerada uma desvantagem do sistema, visto que ocorre um crescimento biológico no interior das membranas, para reduzir esse crescimento são realizadas limpezas periódicas. (FREITAS, T. 2011)
- O processo de instalação é bastante complicado e necessita de ajuda profissional.
- Membranas de filtração precisam ser substituídas de vez em quando, somando-se os custos, pois são equipamentos delicados que podem sofrer com incrustações, precipitações em óxidos metálicos, resíduos coloidais e até mesmo o correm o risco de que ocorra um crescimento biológico dentro do equipamento.
- Alguns minerais alcalinos benéficos também são removidos juntamente com outros minerais nocivos, tornando a água mais ácida.

- Água potável que tem um teor baixo ou zero alcalina absorve o cálcio e outros minerais do corpo.

4. RESULTADOS

4.1 Impactos Ambientais Provenientes Dos Processos De Dessalinização

Dois aspectos devem ser observados no processo de dessalinização de água marinha, quando se trata de sustentabilidade: consumo de energia e rejeitos de processos (produtos químicos, sais, entre outros).

Os processos de destilação (MED e MSF) possuem uma emissão gasosa considerável devido á utilização de vapor saturado. Porém, mesmo os processos que operam basicamente por energia elétrica (MVC, RO e ED) de forma indireta também consomem combustíveis, uma vez que em regiões onde se faz necessária a dessalinização, a geração de energia elétrica acontece através de centrais termelétricas. (SANTOS, J.J.C.S. 2005)

Algumas alternativas já são estudadas com objetivo de minimizar essas emissões em Unidades MSF e MED. Entre elas a utilização de painéis solares para aquecimento da água marinha se destaca devido aos inúmeros resultados positivos já obtidos. Outra forma de contornar riscos do gênero é bombeando a água depurada para reservatórios, rios ou aquíferos, trazendo-a de volta e tratando-a novamente – o que, naturalmente, eleva ainda mais o custo.

O segundo aspecto observado, resíduos do processo, possui um impacto ambiental considerável. Em todas as tecnologias de dessalinização, apenas uma parcela de água é evaporada, de forma que a salmoura é devolvida á natureza com uma concentração de sais muito maior que a água bruta, porém já existem estudos para plantas que não fazem nenhum despejo desses subprodutos, mas o custo em energia desse processo é muito mais elevado. Além disso, parte dos aditivos químicos utilizados para controle da corrosão também são despejados no mar.

No caso dos processos térmicos, além dos problemas acima citados, a salmoura também é devolvida ao mar com uma temperatura superior á da água bruta, o que, em ambos os casos, causa um desequilíbrio na fauna e flora marinha. (Depiné, H. 2012)

4.1.2 Reaproveitamento do Concentrado

Um problema que envolve a dessalinização é o que fazer com a produção dos resíduos da filtragem (concentrado), já que eles não podem ser depositados diretamente na natureza, pois este procedimento provoca a salinização do solo, que é prejudicial às culturas que nele crescem.

Atualmente, o manejo do concentrado passou a ser fonte de estudo em função da qualidade da água a ser tratada, normalmente para águas de oceano, concentrado vem sendo retornado para o próprio oceano, de forma segura sem perturbar a vida marinha.

O concentrado das unidades de osmose reversa para produção de água potável vem sendo utilizado para diversos fins como:

- Tem-se reciclado uma parte do concentrado para alimentação de gadose irrigação agropecuária, quando se trata de uma água de alimentação de baixo teor de sais dissolvidos;
- Em algumas vilas, a descarga do concentrado é diluída com águas residuais de efluentes;
- Em alguns casos, vem-se retornando o concentrado para a própria fonte;
- Pode ser utilizado a obtenção de soda caustica, ácido clorídrico ou ácido sulfúrico a partir do concentrado da dessalinização; (Moura, J.P.; Monteiro, G.S.; Silva, J.N.; Pinto, F.A.; França, K.P.)

Figura 20: Irrigação agrícola;

Fonte: (Cotrijui, 20014)

4.2 Comparações Entre as Tecnologias de Dessalinização

Em Santos (2005) foi uma comparação entre as principais tecnologias de dessalinização, que será abordada neste tópico.

4.2.1. Salinidade Inicial e Final da Água

Os processos de destilação são os mais indicados para o tratamento da água do mar, uma vez que o consumo de energia independe da salinidade da água bruta, com a vantagem de produzir uma água doce de alta qualidade, podendo conter salinidades inferiores a 10 ppm.

A Osmose Reversa também é muito utilizada para a produção de água doce através da água marinha, porém quanto maior a salinidade maior o consumo de energia para obter água com a mesma qualidade. Este processo pode alcançar uma salinidade próxima a dos processos de destilação (inferior a 50 ppm), porém devem ser utilizados de dois a três passos para isso. Caso contrário a água produzida pode possuir valores de salinidade na casa de 500 ppm. Já Eletrodiálise é recomendada para tratamento de água salobra ou residual e pode alcançar salinidades semelhantes a da Osmse Reversa. (Depiné, H. 2012)

4.2.2 Capacidade de Produção

Atualmente as Unidades MSF são as que possuem as maiores capacidades de produção, podendo chegar a 75.000 m³/dia, porém este processo pode ser utilizado em escalas bastante inferiores, chegando a uma produção de 2.400 m³/dia. As menores capacidades de dessalinização térmica são atingidas nas unidades de MED – TVC com 100 m³/dia, sendo que o processo MED pode atingir até 20.000 m³/dia.

Os processos elétricos são os que possuem as menores capacidades de dessalinização atingindo 1 m³/dia para ED e RO e 10 m³/dia para MVC. Porém nas unidades RO e ED são atingidas capacidades de 10.000 m³/dia e 12.000 m³/dia respectivamente, enquanto que nas MVC não se produz mais que 2.500 m³/dia.

Outro fator a ser analisado é a área ocupada pela unidade de produção, o que pode ser a diferença entre uma unidade de grande porte ou um conjunto de

unidades de pequeno porte. Os processos elétricos geralmente são os que ocupam menor área em relação aos térmicos e, em relação ao MSF, a unidade MED também é mais compacta. (Depiné, H. 2012)

4.2.3 Perspectivas de Melhorias

No processo RO muitos progressos vêm ocorrendo nos últimos anos. Talvez um dos mais significativos tenha sido a inclusão de sistemas de recuperação de energia através de turbinas hidráulicas, que reduziram em mais de 35% o consumo de energia das bombas de alta pressão. Outro avanço que vale ressaltar diz respeito ao desenvolvimento de novos materiais para produção membranas.

Além disso, nos últimos anos foi estudada a possibilidade de substituir as pressões exercidas por bombas por pressão hidrostática. Esta técnica foi denominada “Hydroculture” e consiste em deslocar a unidade dessalinizadora para o fundo do mar, para aproveitar a pressão hidrostática. Um pequeno protótipo foi construído em 1999 e possui capacidade de 12 m^3/dia. Ele está localizado a 600 metros de profundidade e já proporcionou uma redução do consumo energético de 50% em relação a uma unidade RO convencional.

Nas unidades MVC a única possibilidade que vem sendo estudada é ampliar sua capacidade através do acoplamento de evaporadores múltiplos efeitos (MED – MVC), porém como não existe no mercado um compressor volumétrico de vapor de baixa pressão e com vazão suficiente, podem ser utilizados no máximo 3 evaporadores. Para um número maior de efeitos é necessário um conjunto de compressores.

O último avanço da tecnologia MSF foi publicado em setembro de 2003 e consiste em reduzir a temperatura do condensado de 114,9 para 51,75 °C. Esta redução foi possível graças à utilização de um trocador de calor para reaquecer parte do recirculado, aumentando a eficiência do processo. Dois dos principais resultados obtidos foram a redução de 6% do consumo de vapor e de 2% de energia primária.

A tecnologia MED é a que vem sofrendo os maiores avanços nos últimos anos. Além de mais compacta, flexível e consumir menos eletricidade e vapor em relação à MSF, a tecnologia MED apresenta grandes expectativas no que diz respeito à redução do consumo específico de energia.

Entre as tecnologias em estudo, a última tendência é o acoplamento ao MED de bombas de calor por absorção, alimentadas por vapor de baixa pressão, gases de exaustão ou água quente (MED – AHP). Acredita-se que esta tecnologia seja ideal para a utilização de energia solar na dessalinização, através de coletores e concentradores solares para alimentar com água quente o gerador da bomba de calor por absorção. (Depiné, H. 2012)

A tabela 2 apresenta um resumo comparativo das tecnologias discutidas acima.

Tabela 2 – Comparação entre as principais tecnologias de dessalinização

PRÂMETRO	RO	MVC	MSF	MED
Tipo de energia predominante	Elétrica	Elétrica	Térmica	Térmica
Consumo elétrico (kW/h³)	3 – 12	8 – 14	3 – 6	1 - 2,5
Consumo térmico entálpico (KWh/m³)	---	---	55 – 120	25 - 120
GOR (kgproduto/kgvapor)	---	---	8 - 12	6 – 21
Salinidade da água doce	<500	<50	<50	<50
Capacidade de produção por unidade (m³/dia)	<10000	10 – 25000	24000 – 75000	100 – 20000
Custo de instalação	Médio	Alto	Alto	Alto – Médio

Fonte: (SANTOS, J.J.C.S. 2005)

5. CONCLUSÃO

Conclui-se por meio dos seguintes estudos presentes nesta monografia que o comparativo dos processos citados, mostra que o processo por Osmose Reversa se torna altamente aplicável para embarcações marítimas de grande e pequeno porte, em questão de capacidade de produção por unidade dessalinizadora, o processo por osmose reversa atende muito bem a qualquer tipo de embarcação graças a sua capacidade de produção diária invariável, com um consumo energético que pode ser suprido por várias fontes de energia, seu custo de instalação é relativamente baixo considerando seu tamanho, comparando a sua excepcional eficiência purificadora. Sua rejeição típica de sais no processo vai de 95% a 99% assegurando assim a saúde dos tripulantes que fazem uso da agua produzida na dessalinização.

6. REFERÊNCIAS

Carvalho L.F.P; Alberto R.B. Apresentação do projeto do Navio graneleiro Handymax. Acesso em: nov. 2014.

Almeida, P.B.; Souza, L.P.S.; Pamplona, C.F.M.; Finkel, L.T.B.; 2011 Uff Engenharia Mecânica. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/LukasSeize/livro-mecanica-estatica-naval>. Acesso em: set. 2014

Bal ics Hidrojato. Disponível em: <http://www.balhidrojato.com.br/page9.php>. Acesso em: out. 2014

BLAINEY, Geoffrey, Uma Breve História do Mundo 2ª Ed, RJ; Editora Fundamento, 2010.

Líria Alves; Equipe Brasil escola; Purificar água do mar: solução para a sede mundial. Disponível em: <http://www.brasilescola.com/quimica/dessalinizacao-agua.htm>. Acesso em: ago. 2014.

BHATTACHARYYA, D.; WILLIAMS, M.E. ´´Reverse Osmosis – Itroduction and Definitions``. In: Winston, W. S. and Sirkar, K. K. (eds.) Membrane Handbook cap. VI, New York, USA, Van Nostrand Reinhold, 1992.

CAIRD E CLARK. The Brazilian Naval Commission : RO30 Reverse Osmosis Plant. 1999, 66p.

Colégio web; 4 etapas do processo de purificação da água, 2014. Disponível em: <http://www.colegioweb.com.br/trabalhos-escolares/quimica/4-etapas-processo-de-purificacao-da-agua.html>. Acesso em set. 2014

DEPINÉ, Helena, DESSALINIZAÇÃO TÉRMICA DA ÁGUA DO MAR COM RECUPERAÇÃO DOS SAIS, BLUMENAU, RJ; 2012.

FREITAS, Tayná, PRODUÇÃO DE ÁGUA A BORDO DE NAVIOS E PLATAFORMAS, RJ; UEZO, 2011.

MAYA, SÉRGIO LIMA. NT ´´alte motta`` - sistema de geração de água doce – instalação de dois grupos de osmose reversa (gor) em adição aos grupos destinatários (gd) existentes. Rio de Janeiro; DEN 2002

MANUTENÇÃO OFFSHORE; Osmose Reversa. Disponível em: <http://manutencaooffshore.com/2010/02/01/osmose-reversa/>. Acesso em: nov. 2014.

Met@lica; O incrível mundo das Plataformas de Petróleo Disponível em: <http://www.metalica.com.br/conheca-os-tipos-de-plataformas-de-petroleo>. Acesso em: set. 2014.

MILLER, James E. Review of Water Resources and Desalination Technologies. SAND, March, 2003.

Correia, F. Tratamento de água: Sistemas de Tratamento de Água. Disponível em: <http://br.monografias.com/trabalhos3/as-utilidades-da-agua/as-utilidades-da-agua.shtml>. Acesso em: set. 2014.

(Moura, J.P.; Monteiro, G.S.; Silva, J.N.; Pinto, F.A.; França, K.P.)
APLICAÇÕES DO PROCESSO DE OSMOSE REVERSA PARA O APROVEITAMENTO DE ÁGUA SALOBRA DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

Marquesin, N. Freitas, T. Floating Production Storage and Offloading; UFRJ; 2011 Disponível em: <http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2011/NathalieThiago/relat1/Conteudo.htm>. Acesso em: set. 2014.

ORISTANIO, PEIG E SARTORI; Desenvolvimento de um sistema de pré-tratamento para osmose reversa, Dezembro, 2006.

Rodrigo Cintra; Osmose Reversa – Conheça esse processo que purifica nossa água a bordo; Portal Marítimo; outubro de 2012. Disponível em:

<http://portalmaritimo.com/2012/10/15/osmose-reversa-conheca-este-processo-que-purifica-nossa-agua-a-bordo/>. Acesso em: set. 2014.

Eduardo Araia; Revista planeta. Disponível em: <http://revistaplaneta.terra.com.br/secao/meio-ambiente/dessalinizacao-voce-ainda-vai-beber-dessa-agua>. Acesso em: ago. 2014.

SANTOS, José Joaquim Conceição Soares. Avaliação exergoeconômica das tecnologias para a produção combinada de eletricidade e água dessalinizada. 2005. 194 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

SATTAMINI, L.. Dessalinização. Disponível em: <http://www.sattamini.com.br/>. Acesso em: nov. 2014.

Scielo; Revista Ambiente e água. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-993X2012000100016&script=sci_arttext>. Acesso em: nov. 2014.

Seafood; O Maior Navio do Mundo Está Funcionando. Brasil. Disponível em: <http://seafoodbrasil.com.br/tag/triple-e/>. Acesso em: out. 2014.

Sinaval. Disponível em: <http://www.sinaval.org.br/noticia-531.php>. Acesso em: out. 2014.

Paim, M. A. Plataformas Marítimas e Embarcações; dezembro de 2012. Disponível em: <http://www.sintese.com/doutrina_integra.asp?id=1240>. Acesso em: set. 2014.

Luana Vignon; Como Funciona a Dessalinização da Água do Mar. Disponível em: <http://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/como-funciona-a-dessalinizacao-da-agua-do-mar.html>. Acesso em: set. 2014.

SOUZA, Luiz Faustino De. Análise térmica de um dessalinizador de múltiplo efeito para obtenção de água potável. 2002. 55 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002.

SOUZA, Luiz Faustino. Dessalinização como fonte alternativa de água potável. Norte Científico, v.1, n.1, 2006.

VANNIER, Célio Monteiro, Processos de Dessalinização da Água do Mar Utilizados a Bordo de Navios.

Veja. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/blog/augusto-nunes/files/2013/03/plataforma_petroleo.jpg>. Acesso em: out. 2014.

VICE; Águas Tratadas Consciência Limpa Disponível em: <http://vicel.com.br/blog/tag/dessalinizacao/>. Acesso em: ago. 2014.

Weater Works; Osmose reversa, processo e equipamentos e desempenho. 2009 Disponível em: <http://www.waterworks.com.br/osmosereversa_tecnologia.html>. Acesso em: nov. 2014.

WV Eletrónica Naval; O que é Osmose reversa. Disponível em: <http://wveletrotecnica.com.br/o-que-e-osmose-reversa.htm>. Acesso em: set. 2014.