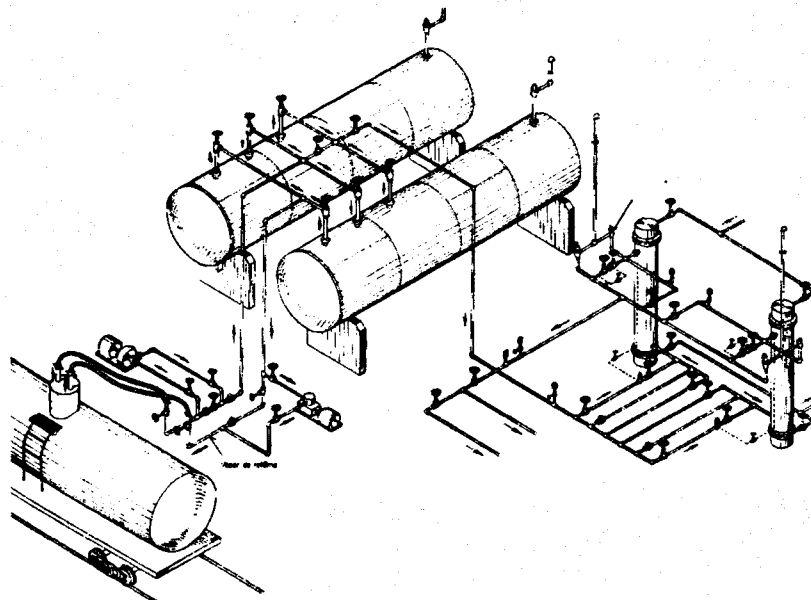




SEMINÁRIO DE MANUTENÇÃO



PROMOVIDO POR :

**Área Departamental de Engenharia Mecânica
Escola Superior de Tecnologia - U.Algarve**

Colaboração :

**Escola Superior de Tecnologia - LP.Setúbal
Delegação Regional da Indústria e Energia
do Algarve**

3 de Novembro de 1994

Faro, 3 de Novembro de 1994

O PROBLEMA DA ESCASSEZ DA ÁGUA POTÁVEL E A QUESTÃO DA DESSALINIZAÇÃO.

REFERÊNCIA AO ESTUDO DUM DESTILADOR COM EVAPORAÇÃO POR "SPRAY" PARA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR

Moreira, M.*, A. Joyce**, H. Pina***

*IPS-Escola Superior de Tecnologia-Rua Vale de Chaves, Estefanilha, 2900 Setúbal, Portugal
Telefone - 065 76 16 21 Telefax - 065 72 18 69

**INETI-Azinhaga dos Lameiros à Estrada do Paço do Lumiar, 1699 Lisboa Codex, Portugal

*** IST-Instituto Superior Técnico - Lisboa, Portugal

RESUMO

No presente texto introduz-se o problema da escassez de água potável apontando-se algumas das soluções indicadas por diferentes autores. Os mais importantes métodos de dessalinização são resumidamente descritos e o seu desempenho é caracterizado e assinalado.

O desenvolvimento de diferentes técnicas de dessalinização, impulsionado pela escassez deste recurso constitui igualmente a motivação para estudo, construção e desenvolvimento dum destilador com evaporação por "spray", no departamento de Energias Renováveis do INETI cuja necessidade de optimização levou à elaboração do modelo computacional aqui descrito. A comparação dos resultados da simulação computacional com resultados de testes experimentais revelou um idêntico comportamento qualitativo (do modelo computacional e do protótipo) e erros relativos de cerca de 20% nos parâmetros de desempenho. A realização de simulações computacionais posteriores evidenciam a possibilidade de atingir desempenhos energeticamente atractivos e apontam direcções a seguir no desenvolvimento do sistema de dessalinização estudado.

INTRODUÇÃO

A ESCASSEZ DA ÁGUA

A água líquida é uma substância de grande complexidade, cujas propriedades estão indissociavelmente ligadas ao fenómeno da vida tal como a conhecemos.

A elevada constante dieléctrica da água, os seus pontos de mudança de fase, a variação da sua densidade com a temperatura, o seu poder dissolvente, ilustram algumas destas importantes propriedades.

O desenvolvimento das sociedades e da qualidade de vida estão também relacionados com a disponibilidade desta substância, da qual dependem directamente a agricultura e as indústrias em geral, substância esta, cuja presença no planeta não é tão abundante como, em geral, se pensa: os recursos mundiais de água correspondem a cerca de 0,25 milésimas da massa total da terra (Rego, [R.1]).

Por outro lado, só uma pequena parte destes recursos de água é adequada ou se encontra disponível para o consumo humano, agrícola e industrial. Cerca de 99% da água existente ou é salgada ou encontra-se nas regiões geladas do planeta (Gillam e McCoy [G.1]).

Se bem que a água das chuvas no ciclo hidrológico se tenha mostrado até hoje suficiente para suprir a maior parte das necessidades da população mundial, diversos factores, tais como o crescimento da população, a contaminação da água potável disponível e a desertificação, comprometem seriamente este equilíbrio.

É neste quadro que Valentin Korzoun e Alexei Solokov, [K.1], adivinham a incapacidade de satisfazer a necessidade deste bem, em meados do ano 2015.

De referir igualmente a existência dum estudo de avaliação das disponibilidades e consumos de água em Portugal, realizado em resultado duma Directiva do Conselho de Ministros para os Assuntos Económicos de 3 de Dezembro de 1968, por um grupo de trabalho *ad hoc*. Neste estudo, conclui-se que nos distritos de Leiria, Lisboa e Setúbal os recursos disponíveis de água não serão suficientes para satisfazer os respectivos consumos no ano 2010 (Cunha, [C.7]).

Os factores anteriormente assinalados, que constituem um condicionamento decisivo na evolução económico-social da humanidade e são o motor de crescentes esforços na investigação de soluções para o problema da escassez deste recurso vital.

SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA

As soluções que podem contribuir para a resolução do problema da escassez potencial ou real de água potável, passam, na opinião de diferentes autores, pela adopção de diversas medidas: *a redução do crescimento da população, a redução do consumo individual, o desenvolvimento de procedimentos e técnicas de utilização agrícola e industrial poluentes em menor grau, a redução de perdas de armazenamento, transporte e utilização, a reutilização da mesma água, o transporte de água de regiões em que esta abunda (nomeadamente de regiões polares) para zonas de escassez, a dessalinização de água salgada dos oceanos ou da água salobra e a potabilização da água em geral;*

O recurso a esta última solução, isto é, à potabilização da água dos oceanos, através da sua dessalinização é objecto de grande interesse, atendendo à proximidade destes relativamente às zonas habitadas do planeta e à dimensão das reservas de água que constituem. Numerosas instalações de dessalinização encontram-se em funcionamento em regiões áridas. De referir que a capacidade acumulada de instalações de dessalinização aumentou de aproximadamente 900 milhões de litros/dia,

em 1970, para 2 200 milhões de litros/dia, em 1977, [U.1]. Em 1989 a estimativa deste parâmetro já indicava o valor de 13 000 milhões de m³/dia (Coghlan, [C.4])!

Se bem que os custos de dessalinização da água do mar tenham vindo a diminuir em resultado dos crescentes esforços de investigação, realizados nas últimas décadas, a intenção de generalizar este procedimento mostra-se proibitiva quer sob o ponto de vista económico, quer energético/exergético. Daí a necessidade de prosseguir a investigação de melhoramentos e de novas soluções.

OS PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO

A potabilização da água dos oceanos ou da água salobra pressupõe a sua dessalinização isto é, a redução do teor dos sais dissolvidos até um limite que possibilite a sua utilização doméstica, agrícola e industrial. As normas internacionais da O.M.S. (Organização Mundial de Saúde), estabelecem como limite para o consumo doméstico o valor máximo de 500 mg/l, e como limite para o consumo agrícola e industrial o valor máximo de 1500 mg/l. Naturalmente, a potabilização da água passa também pela eliminação em maior ou menor grau de outros contaminantes minerais, orgânicos e biológicos, simultânea ou não com o processo de dessalinização utilizado.

Os diferentes processos de dessalinização podem classificar-se em dois grupos distintos, segundo Gillam, [G.1], aqueles que promovem a separação da água da solução salina e os que, inversamente, promovem a separação dos sais desta (no apêndice final do texto encontram-se resumidamente descritos):

A. Processos que promovem a separação da água da solução salina:

1. Evaporação (Destilação)

- a. Evaporação multi-efeito;
- b. Evaporação instantânea (flash);
- c. Compressão mecânica de vapor e termocompressão;
- d. Humidificação (solar);

2. Congelação ou Cristalização

- a. Refrigeração com vapor de água;
- b. Congelação por contacto directo;
- c. Congelação indirecta;
- d. Hidratação;

3. Osmose inversa

4. Extração do Solvente

B. Processos que promovem a separação dos sais da solução salina:

1. Diálise, electrodialise e piezodialise;
2. Permuta iónica;
3. Utilização de campos magnéticos;
4. Utilização de sistemas biológicos;

A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO

A avaliação do desempenho dos sistemas de dessalinização pode realizar-se, através da utilização de parâmetros característicos que relacionem entre si as informações de maior interesse. Verifica-se, na literatura consultada, a existência de alguma uniformidade na escolha dos parâmetros a relacionar entre si, se bem que a sua concretização não se apresente uniforme na forma e na simbologia utilizada.

No presente trabalho utilizaremos os seguintes parâmetros para caracterizar o processo de destilação, adoptando as designações e simbologia indicadas:

$$\begin{aligned} \text{-Taza de conversão mássica} & \quad TXC = \frac{M_d}{M_f} \\ \text{-Consumo específico de energia} & \quad QM = \frac{E_i}{M_d} \\ \text{-Desempenho} & \quad R = \frac{L_f M_d}{E_i} \end{aligned}$$

O DESEMPENHO DE DIFERENTES SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO

A título indicativo apresenta-se a seguinte tabela com algumas informações relativas ao desempenho de diferentes sistemas de dessalinização de água salgada de salinidade média e à temperatura de 25 °C.

PROCESSO UTILIZADO	CONSUMO ESPECÍFICO QM [kJ/kg]	DESEMPENHO R [Adim.]	REFERÊNCIAS
Hum. (Solar) (Efeito simples)	2300	0,98	Maurel [M.1]
Hum. (Solar) (c/recuperação)	792	2,8	Baumgartner [B.1]
Evap. multi-efeito (7 efeitos)	384	6,0	Maurel [M.1]
Termocompressão	233	9,5	Joyce [J.2]
Evap. Instant. multiestágio	185	12,2	Maurel [M.1]
Electrodialise	108	21	Maurel [M.1]
Comp.mecânica de vapor ($\Delta T=5^\circ\text{C}$)	58	39	Maurel [M.1]
Comp.mecânica de vapor ($\Delta T=3^\circ\text{C}$)	43	52,5	Maurel [M.1]
Osmose inversa (s/recuperação)	43	52,5	Maurel [M.1]
Congelação (vapor de água c/ ref.)	30	75	Othmer [O.1]
Osmose inversa (c/recuperação)	29	78	Maurel [M.1]

Tab. 1. O desempenho de Diferentes Sistemas de Dessalinização

De referir que as taxas de conversão mássica (t) típicas dos diferentes processos (com excepção dos processos de humidificação solar) podem atingir os 50 % (Silver [S.2] e Johnson [J.1]).

De acordo com Othmer [O.1], é importante referir que os desempenhos (r) máximos tecnicamente viáveis, que podem ser atingidos nos processos de dessalinização por evaporação multi-efeito e evaporação instantânea multiestágio são, respectivamente, os valores 10 e 30. De acordo com o mesmo autor, é tecnicamente viável desenvolver os processos de dessalinização por compressão de vapor e por congelação até ao valor 80.

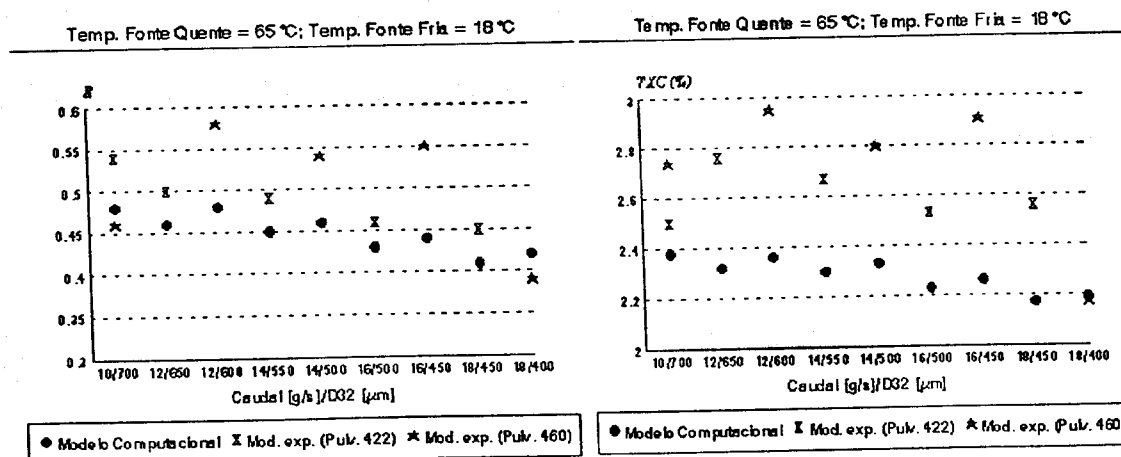
No processo de *humidificação*, estimou-se a área de permuta de massa e energia com base na existência duma distribuição espacialmente uniforme de gotas dispersas. Distribuição esta, resultante da queda à velocidade terminal dum caudal mássico conhecido, de gotas com diâmetro médio imposto. Os coeficientes de transferência de massa e de energia, foram estimados com base em correlações e analogias disponíveis na literatura (Clift, [C.6]), e associadas a escoamentos no exterior de objectos com geometria esférica. O facto de não se disporem de correlações caracterizadoras do fenómeno transferência de energia e de massa associadas a um "spray", na ausência de convecção forçada, ditou a adopção das simplificações atrás indicadas.

O cálculo da área de permuta, associada ao processo de *condensação*, consistiu na estimativa da área exterior duma serpentina helicoidal de eixo vertical. Os coeficientes de transferência de energia e de massa do ar húmido para a serpentina resultaram da utilização de correlações e de analogias aplicáveis a escoamentos forçados (de pequena velocidade) exteriores a tubos horizontais de secção circular (Collier, [C.3]; Churchill, [C.2]). A caracterização da geometria helicoidal do problema foi considerada recorrendo à escolha dum diâmetro equivalente apropriado ao processo (Patil, [P.1]). O coeficiente de transferência de energia, da parede interior da serpentina para o escoamento interior de água salgada, estimou-se utilizando uma correlação adequada (Seban, [S.1]).

O processo de *circulação* do ar está associado à combinação do processo de convecção natural e do processo de arrastamento de ar produzido pelo "spray" (Walker, [W.1]). Se bem que as características locais do processo de convecção natural associado à geometria do problema, não sejam abarcadas pelo modelo adoptado, a complexidade da sua modelação rigorosa, na presença de condensação fílmica a temperatura variável (numa geometria helicoidal), do fenómeno de transferência de energia e de massa e de arrastamento de ar provocado, pelo "spray", não sugere a existência de outras alternativas.

ENSAIOS COMPUTACIONAIS E EXPERIMENTAIS - COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Com o objectivo de testar a validade do modelo computacional elaborado, apoiado no anterior modelo físico-matemático, foram efectuados diversos ensaios computacionais preliminares que tiveram em conta a escolha de parâmetros geométricos, condições de fronteira e outros dados iniciais comuns aos ensaios experimentais realizados com o protótipo do dessalinizador desenvolvido. Seguidamente apresentam-se, sob a forma gráfica, alguns dos resultados comparativos obtidos.



DESENVOLVIMENTO DUM DESTILADOR COM EVAPORAÇÃO POR "SPRAY"

Na perspectiva da escassez de água potável referida num parágrafo anterior e no contexto do programa CYTED-D (para exploração dos recursos locais do mundo rural), encontra-se em estudo no INETI (ex-LNETI) um destilador solar de multi-efeito com iluminação por um concentrador do tipo CPC (concentrador parabólico composto) (Joyce, [J.2]).

É neste quadro que se encontra, igualmente em desenvolvimento, o protótipo dum destilador por evaporação por "spray", para dessalinização de água do mar. Este último sistema, é constituído por uma câmara cilíndrica, de eixo vertical, que aloja no seu interior uma região cilíndrica e concêntrica, nas condições da figura seguinte:

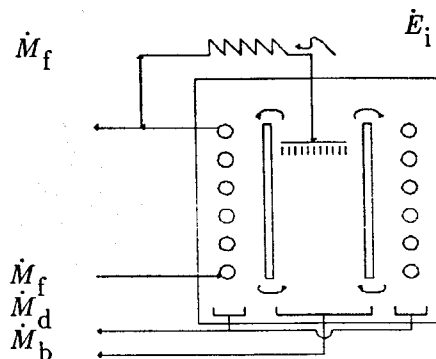


Fig. 1. Sistema de Destilação em Estudo

Na câmara interior desenvolve-se o processo de *humidificação* (por dispersão de gotas de água salgada à temperatura da fonte quente). Na câmara anular cilíndrica exterior, na qual existe uma serpentina helicoidal, ocorre o processo de *condensação* (e de recuperação da energia utilizada na vaporização). A *circulação* do ar húmido entre as diferentes regiões, desenvolve-se por convecção natural e arrastamento de ar produzido pelo "spray". Na base da região de humidificação, terá lugar a recolha de água salgada rejeitada e na base da região de condensação, a recolha de destilado.

A optimização do seu desempenho serviu de motivação à elaboração dum modelo computacional, baseado no modelo físico-matemático, adiante descrito.

MODELAÇÃO FÍSICO-MATEMÁTICA

Os grupos de fenómenos que se consideraram no estudo do processo de dessalinização foram os processos de *humidificação*, de *condensação* e de *circulação* natural do ar. Nos dois primeiros, a realização de balanços mássicos e energéticos, em volumes elementares das regiões de humidificação e de condensação, permitiram obter equações que relacionam a variação espacial de entalpia, do escoamento de ar húmido, com a variação espacial de temperatura no escoamento de água salgada. Da integração espacial das equações obtidas, tendo em conta as condições de fronteira conhecidas, obtiveram-se as distribuições espaciais dos parâmetros referidos. Nestes processos considerou-se que a humidade absoluta do ar em qualquer ponto correspondia à humidade de saturação à temperatura desse ponto, facto evidenciado experimentalmente. No processo de circulação do ar, considerou-se que a força motriz, por ele responsável, resultava da diferença dos pesos das colunas de ar na região de humidificação e de condensação. O seu balanço com o somatório das forças viscosas verificadas em cada região, permite obter as velocidades médias, nestas.

Pode observar-se que o comportamento qualitativo do modelo computacional, é idêntico ao do modelo experimental, no tocante à variação dos parâmetros manipulados. Este resultado é acompanhado, também por erros relativos, por defeito, na ordem de 20 % (podendo atingir 30 % em situações limites). Tendo em conta as simplificações adoptadas face à complexidade dos fenómenos intervenientes, os resultados computacionais quantitativamente inferiores aos experimentais não são considerados reveladores de erros evitáveis. A resposta qualitativa e quantitativa pode considerar-se satisfatória. De referir que ensaios computacionais e experimentais realizados a uma temperatura da fonte quente inferior (53 °C), evidenciam comportamentos semelhantes aos anteriormente descritos, se bem que termodinamicamente menos favoráveis, como seria de esperar. A obtenção de desempenhos (*R*) inferiores à unidade, motiva a necessidade de otimizar o sistema.

PROJECCÕES COMPUTACIONAIS

Nos gráficos seguintes, estabelecem-se os resultados de algumas simulações computacionais, realizadas com o objectivo de determinar algumas direcções de optimização, possíveis.

Observando a Figura 4. pode concluir-se não haver interesse na promoção da diferenciação dos caudais de humidificação e de condensação. Por outro lado a diminuição do diâmetro de dispersão em gotas da água de humidificação, bem como a promoção da diminuição dos caudais mássicos de água salgada intervenientes, melhora o desempenho global do processo, como se pode concluir da Figura 5. Se bem que os resultados da Figura 6., devam ser encarados com reserva, na ausência de um comportamento assintótico limitado, do desempenho (*R*) e da taxa de conversão (*TXC*), face à variação de *ROUT/RIN*, indicam a existência de vantagens em aumentar a altura do equipamento e restringir a área efectiva de circulação de ar na região de condensação. O aumento da altura do equipamento acima de cerca de 1,2 m, não apresenta interesse devido à inevitável coalescência (Coulson, [C.5]).

Temp. Fonte Quente = 65 °C; Temp. Fonte fria = 18 °C; D32 = 500 µm

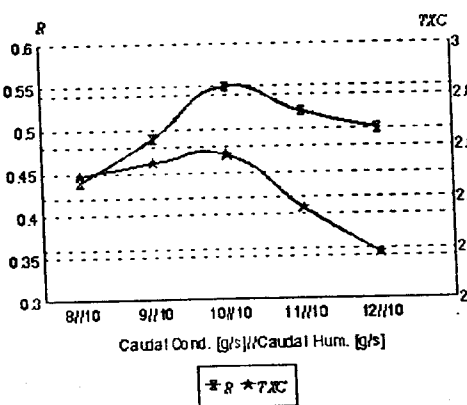
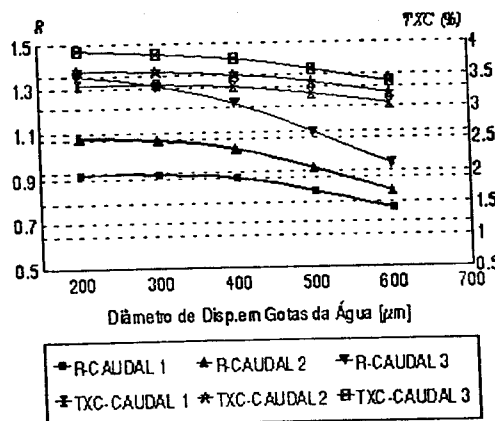


Fig. 4. Efeito da Diferenciação dos Caudais

Temp. Fonte Quente = 65 °C; Temp. Fonte Fria = 18 °C
Caudal de Humidificação = Caudal de Condensação



CAUDAL 1 = 4 g/s; CAUDAL 2 = 3 g/s; CAUDAL 3 = 2 g/s

Fig. 5. Efeito da Variação dos Caudais e do Diâmetro

Temp. Fonte Quente = 65 °C; Temp. Fonte Fria = 18 °C
 Diâmetro de Dispersão em Gotas da Água = 500 μm
 Altura = ALT [m]; Raio Exterior = ROU [m]; Raio Interior = RIN = 0.38 m

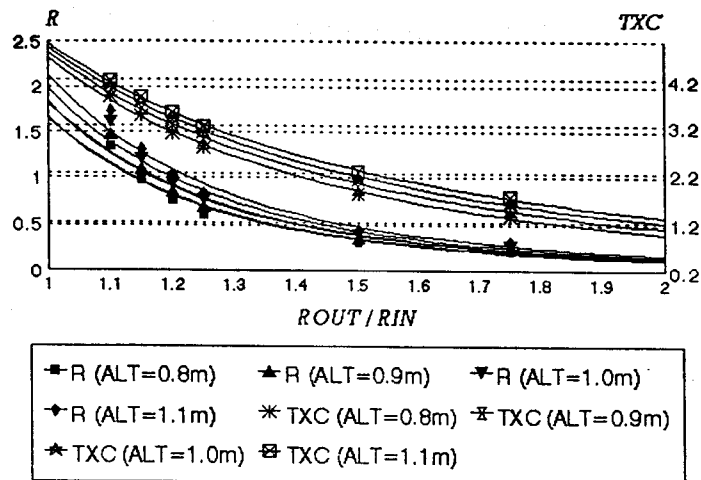


Fig. 6. Efeito da Variação do Raio Exterior e da Altura sobre o Desempenho e a Taxa de Conversão

CONCLUSÕES

A necessidade de utilizar pressões de pulverização mais elevadas compatíveis com a produção de gotas menores e a utilização pulverizadores com orifícios diminutos (e susceptíveis de obstrução) capazes de garantir, os pretendidos, pequenos caudais/pressões elevadas, constituem a principal dificuldade na optimização do processo em estudo. Na situação mais favorável ilustrada na Figura 6., deduzem-se desempenhos energeticamente atractivos ($R=1,73$; $TXC=4\%$) associados a produções de cerca de 40 kg/dia de água destilada. Esta produção ocorre nas condições da simulação efectuada, com caudais de água salgada de 10 g/s, diâmetros médios de dispersão em gotas de 500 μm e temperaturas da fonte quente e fria de 65 °C e 18 °C.

Terá especial interesse a determinação do diâmetro mínimo prático de pulverização em que não ocorra a obstrução sistemática na presença de água salgada e a exploração de métodos alternativos de humedificação por contacto directo compatíveis com pequenos caudais. A exploração de mecanismos de condensação mais eficazes ("dropwise condensation", ou condensação, também, por contacto directo, por exemplo), constituem direcções propostas para o desenvolvimento deste tipo de sistemas.

APÊNDICE

DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO MAIS IMPORTANTES

A EVAPORAÇÃO (DESTILAÇÃO)

Neste processo, a evaporação da água exige o fornecimento prévio duma certa quantidade de energia (o calor latente de vaporização e a entalpia da solução) parte da qual pode ser recuperada no processo de condensação do vapor produzido: *evaporação de simples efeito*.

Nos processos de *evaporação multi-efeito*, diferentes sistemas de simples efeito são associados em série de tal forma que o vapor produzido em cada andar é condensado no andar seguinte de forma a produzir a evaporação da solução salina desse andar (num permutador de evaporação). Este processo exige naturalmente que as temperaturas e pressões em cada andar sejam progressivamente mais baixas.

Na *evaporação instantânea (flash)* a evaporação da água é promovida por exposição da solução salina a uma certa temperatura, num ambiente a uma pressão inferior à, correspondente, pressão de saturação. Naturalmente, este processo não exige a presença de permutadores de evaporação. Da mesma forma que na *evaporação multi-efeito* no processo anterior diferentes unidades são combinadas em série: *evaporação instantânea (flash) multiestágio*.

O processo de destilação por *compressão de vapor*, pressupõe o sobreaquecimento do vapor saturado (produzido na evaporação) com fornecimento de energia sob a forma de trabalho, a fim de elevar a sua temperatura de saturação. A condensação do vapor, assim sobreaquecido, pode promover a vaporização da água na câmara de evaporação (onde se verifica uma pressão inferior), com a consequente recuperação (parcial) do calor latente e do trabalho de compressão. De acordo com o modo de compressão do vapor, este processo pode classificar-se em *destilação por compressão mecânica* ou *destilação por termocompressão*. No primeiro o processo de compressão do vapor é assegurado por um compressor mecânico e no segundo por um ejetor de jacto de vapor de água (Coulson, [C.5], Vol. II, pp. 607).

Finalmente, na *humidificação* ou *destilação solar* o processo de vaporização da água é realizado com intervenção da energia da radiação solar e normalmente a temperaturas significativamente inferiores à temperatura de vaporização da água à pressão atmosférica.

Nestes processos, quando o fenómeno de condensação não ocorre no mesmo recinto que o fenómeno de humidificação, diz-se que o processo de dessalinização solar é do tipo *indirecto*. Nestes últimos, a promoção da recuperação do calor latente de vaporização torna-se tecnicamente mais simples, sendo igualmente possível recorrer a outras fontes de energia (energia térmica armazenada de origem solar, em lagos solares, etc) assegurando a possibilidade de produção contínua.

A CRISTALIZAÇÃO OU CONGELAÇÃO

O arrefecimento de água salgada é acompanhado a partir de certa temperatura pela formação de cristais de gelo de água pura. Este fenómeno explica o facto dos *icebergs* serem constituídos por água praticamente doce e pode ser utilizado na dessalinização da água do mar.

Na concretização deste processo, o método de arrefecimento da água salgada que se utiliza, permite diferenciar diferentes técnicas: a utilização de vapor de água (a uma baixa pressão), como refrigerante, ou a utilização de outros refrigerantes em processos de contacto directo ou indirecto.

O recurso a agentes hidratantes, tais como o Propano, o R-12 ou o R-31 (Snyder [S.3], pág.341, Othmer [O.1], vol. 22, pág. 45) que no processo de cristalização não rejeitem moléculas de água e permitam elevar substancialmente as temperaturas do processo de congelação, constitui uma outra variante, em fase de desenvolvimento.

A OSMOSE INVERSA

Nos processos *osmóticos* típicos, verifica-se a passagem do solvente, duma solução relativamente diluída, por uma membrana, permeável a este, para uma região mais concentrada da solução (Johnson [J.1], página 347). Este fenómeno físico, resulta da tendência para a igualização (de equilíbrio) do processo difusivo do solvente, na direcção das duas regiões separadas pela membrana referida. Uma vez atingida a situação de equilíbrio verifica-se a manutenção duma diferença de pressões entre as regiões separadas pela membrana, designada por *pressão osmótica*. Naturalmente é esta diferença de pressões que promove o equilíbrio (igualdade dos fluxos do solvente) difusivo através da membrana semipermeável. No caso de soluções e membranas ideais a pressão osmótica verificada na região de maior concentração do soluto não depende das características do solvente (Callen [C.1], página 109), contrariamente ao que se verifica no caso de soluções reais.

A aplicação duma pressão superior à pressão osmótica, na região de maior concentração do soluto determina, inversamente, a passagem do solvente pela membrana acima referida, na direcção da região mais diluída da solução. Este processo é designado por *osmose inversa* e pode ser utilizado, na dessalinização da água, recorrendo a membranas especiais: de diacetato de celulose, de álcool polivinílico, de fibras cruzadas de poliamida (Neél [N.1]).

A EXTRAÇÃO DE SOLVENTE

A extracção do solvente é um processo pelo qual, se separam os constituintes duma solução líquida em resultado do seu contacto com um líquido insolúvel (Treybal [T.1]). Assim, neste processo, a água é separada da solução salina na fase líquida dum solvente apropriado, sendo posteriormente separada deste último por um método de destilação convencional.

A DIÁLISE, ELECTRODIÁLISE E A PIEZODIÁLISE

O termo *diálise* caracteriza o processo de difusão selectiva de certos solutos através de membranas especiais (Neél [N.1]), tendo sido proposto por Graham em 1861 e associado ao processo de separação de colóides de soluções com cristalóides. Presentemente recorrendo a membranas especiais (membranas de permuta iónica), é possível promover a difusão selectiva dos iões existentes numa solução e consequentemente, através de arranjos adequadas das membranas nesta, concretizar o processo de separação. De referir que as membranas de diálise, contrariamente às membranas osmóticas, são impermeáveis à água (Doria [D.1]).

A sobreposição dum campo eléctrico, orientado relativamente à disposição de membranas de permuta iónica, de selectividades eléctricas opostas, através do qual se reforça o processo de separação, constitui a chamada *electrodiálise*.

Na electrodiálise, a impossibilidade de obter água completamente dessalinizada (por motivo da elevada resistividade eléctrica da água pura), e os significativos custos energéticos deste processo (proporcional à quantidade de sais eliminados), constituem factores de desvantagem assinalados por Doria [D.1].

Na piezodiálise, o escoamento da solução é realizado através duma membrana mosaico (na qual se sobrepõem diferentes placas de selectividades iónicas opostas) por imposição de diferenças de pressões.

A PERMUTA IÓNICA

Os processos de permuta iónica, resultam de reacções entre electrólitos em solução e electrólitos insolúveis com os quais a solução entra em contacto (Treybal [T.1]). Nestes processos, os permutadores iónicos promovem a troca dos seus iões constituintes por iões do mesmo sinal presentes na solução modificando assim a sua composição iónica.

Num dos processos mais simples o ião Na^+ é trocado pelo ião H^+ , na passagem da solução salina por um leito apropriado. A passagem da solução resultante (com ácido clorídrico diluído) por um novo leito de permuta iónica promove a troca do ião Cl^- pelo ião OH^- . Este processo decorre até ao esgotamento dos respectivos leitos de permuta iónica.

Estes processos, exigem a utilização de quantidades significativas de produtos químicos de elevado custo e cujo esgotamento determina a necessidade da sua substituição, originando custos de produção de água dessalinizada muito elevados e portanto impraticáveis em larga escala na dessalinização de água com elevadas concentrações de sais (Othmer [O.1]).

A UTILIZAÇÃO DE CAMPOS MAGNÉTICOS

O escoamento duma solução em regime laminar (para minorar os efeitos de mistura turbulenta) no seio dum campo magnético determina o aparecimento de forças tendentes a afastar os iões de sinais contrários eventualmente presentes na solução.

Este fenómeno físico pode, teóricamente, reduzir o teor de sais iónicos, da água salgada, para 20 mg/l (Doria [D.1]), encontrando-se em estudo pelo Grupo de Energia Solar da Faculdade de Física da Faculdade Complutense de Madrid.

A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS BIOLÓGICOS

De referir a possibilidade de utilizar o processo de evapotranspiração das plantas na dessalinização de águas salobras, utilizando espécies vegetais capazes de se desenvolverem neste ambiente (chegando a expulsar diariamente várias vezes o seu peso em água).

As produções médias obtidas podem ultrapassar o litro/m² dia, como é referido por Dória [D.1].

As principais dificuldades verificadas no desenvolvimento deste processo, estão associadas à morte prematura das espécies utilizadas em resultado do excesso de CO₂, a carência de O₂ e com o desenvolvimento de patologias no ambiente de elevada humidade do destilador (Dória [D.1]).

SIMBOLOGIA UTILIZADA

ALT- Altura do dessalinizador;

D32 - Diâmetro médio de Sauter;

\dot{E}_i - Potência dispendida no processo;

L_f - Calor latente de vaporização da água salgada de alimentação;

\dot{M}_b - Caudal mássico de água salgada rejeitada (brine);

\dot{M}_f - Caudal mássico de água salgada de alimentação (feed);

\dot{M}_d - Caudal mássico de água destilada produzida (destilate);

R - Desempenho, $\frac{L_f \dot{M}_d}{\dot{E}_i}$, [Adimensional];

RIN ($ROUT$) - Raio interno (externo) da região de condensação;

TXC - Taxa de conversão mássica, $\frac{\dot{M}_d}{\dot{M}_f} \times 100$, [%];

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [B.1] Baumgartner, T., Jung, D., Kössinger and Sizmann, R., Multi-Effect Low Temperature Process for Solar Desalination, *New Tech. Renewable Energy Sources in Water Desalination*, 1991.
- [C.1] Callen, H. B., *Thermodynamics*, John Wiley & Sons, 1960.
- [C.2] Churchill, S. W. and Bernstein, M., A Correlation Equation for Forced Convection From Gases and Liquids to a Circular Cylinder in Crossflow, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 99, May 1977.
- [C.3] Collier, J. G., *Convective Boiling and Condensation* (Second Edition), McGraw-Hill, 1972.
- [C.4] Coghlan, A., Fresh Water from de Sea, *New Scientist*, 31 de Agosto, 1991.
- [C.5] Coulson, J. M. and Richardson., J. F., *Tecnologia Química*, Edição de Fundação Calouste Gulbenkian, 1968.
- [C.6] Clift, R., Grace, J. R. and Weber, M. E., *Bubbles, Drops and Particles*, Academic Press, 1978.
- [C.7] Cunha, L. V., Gonçalves, A. S., Figueiredo, V. A. e Lino, M., *A Gestão da Água-Princípios*

Fundamentais e sua aplicação em Portugal, **Fundação Calouste Gulbenkian**, 1980.

- [D.1] Doria, J., Potabilização de Água para Consumo Humano, **Edição do Grupo de Energia Solar, Faculdade de Física, Universidade Complutense**, Madrid.
- [G.1] Gillam, W. S. and McCoy, W. H., Desalination Research and Water Resources (in Principles of Desalination, edited by K. S. Spiegler), **Academic Press**, 1966.
- [J.1] Johnson, J. S., Dresdner, L., Kraus, A. K., Hyperfiltration (Reverse Osmosis), (in Principles of Desalination, edited by K. S. Spiegler), **Academic Press**, 1966.
- [J.2] Joyce, A., Pereira, M. C., Loureiro, D. e Oliveira, J., Dessalinização por energia solar: perspectivas e ensaios preliminares com um sistema multi-efeito, 1992.
- [K.1] Korzoun, V., Le Courier de l'UNESCO, Fevereiro de 1978, pp. 5-9.
- [M.1] Maurel, A., Dessalement par les Énergies Renouvelables, **Entropie**, nº 96, 1980.
- [N.1] Néel, J., Les Membranes Artificielles, **La Recherche**, nº 41, Janeiro, 1974.
- [O.1] Othmer, D. F., Water (Desalination), **Encyclopedia of Chemical Technology**, John Willey and Sons, 1970.
- [P.1] Patil, R. K., Shende, B. W. and Ghosh, P. K., Designing a Helical-Coil Heat Exchanger, **Chemical Engineering**, December 13, 1982.
- [R.1] Rego, Z. C., A Água- A Escassez na Abundância, **Edição da Comissão Nacional do Ambiente, Série o Ambiente e o Homem**, Lisboa 1987.
- [S.1] Seban, R. A. and McLaughlin, E. F., Heat Transfer in Tube Coils with Laminar and Turbulent flow, **Int. J. Heat Mass Transfer**, Vol. 6, pp. 387-395, 1963.
- [S.2] Silver, R. S., Distillation, (in Principles of Desalination, edited by K. S. Spiegler), **Academic Press**, 1966.
- [S.3] Snyder, A.E., Freezing Methods (in Principles of Desalination, edited by K. S. Spiegler), **Academic Press**, 1966.
- [T.1] Treybal, R. E., Mass-Transfer Operations, **McGraw-Hill Chemical Eng. Series**, Third Edition, 1980.
- [U.1] UN, O Ambiente no Mundo, 1972-1982, Ambiente Marinho e Águas Interiores, Vol. VII, **Edição do Gabinete de Estudos e Planeamento da Administração do Território do Ministério do Planeamento**, 1988.
- [W.1] Walker, J., Does Convection or the Bernoulli Principle make the Shower Curtain Flutter Inward ?, **The Amateur Scientist, Scientific American**, Junho 1988.