

COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE UM DESSALINIZADOR TIPO TELHADO EM CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO NORDESTE BRASILEIRO

Yohanna Jamilla Vilar de Brito¹
Maria Karolina Borba Cardoso²
Carlos Antônio Pereira de Lima³
Geralda Gilvania Cavalcante de Lima⁴
Keila Machado de Medeiros⁵

INTRODUÇÃO

Nas últimas quatro décadas, resolver o problema da escassez de água doce tornou-se um grande desafio para muitas nações ao redor do globo. A água potável é vital para a nossa existência; no entanto, a água não potável também é importante para atender às demandas agrícolas e industriais. Apesar de mais de três quartos da terra estar coberta de água, apenas 0,014% é potável. Por outro lado, a água do mar constitui 97,5% da água global, esta água pode ser purificada por destilação para ser adequada para uso humano (KABEEL, 2009). Muitos países sofrem com a escassez de água doce natural. Quantidades crescentes de água doce serão necessárias no futuro, como resultado do aumento da população e do padrão de vida, assim como a expansão das atividades industriais e agrícolas (KHAWAJI et al., 2009). Portanto, é necessário encontrar técnicas sustentáveis, seguras, baratas e ecológicas para produzir água potável a partir de água salgada. A melhor solução para este problema é a destilação solar; este processo é mais seguro para o meio ambiente e usa somente energia sustentável (MURASE et al., 2006).

Desse modo, tem se notado um crescimento nas pesquisas que envolvam métodos para o fornecimento de água potável a partir de águas salinas e salobras, a exemplo pode-se citar a dessalinização de águas através de dessalinizadores que utilizam radiação solar. Um dos locais onde mais se tem verificado a implantação desses equipamentos é na região do Nordeste, pois nessa região o período chuvoso dura menos tempo ou podendo ocasionalmente não existir, o que causa a seca. Outro aspecto considerável para instalação de sistemas de dessalinização solar no Nordeste é o seu grande potencial solar e dispor de níveis de irradiação mais favorável em comparação as demais regiões do país (BEZERRA, 2018).

Destilação de água solar é uma tecnologia com uma história muito longa que pode ser usada para purificação de água em áreas remotas e zonas áridas por causa do grande potencial solar e abundância de fontes de água salgada / salobra. Várias tecnologias estão sendo usadas para a dessalinização, tais como flash multi-estágio, efeito múltiplo, compressão de vapor, osmose inversa, troca iônica, eletrodialise, mudança de fase e extração por solvente (FATH,

¹ Mestranda do Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, yohannajvb@gmail.com;

² Mestrando do Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB,, mariakarolinac@hotmail.com;

³ Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB - PB, caplima@uepb.edu.br;

⁴ Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB - PB, gilvania@uepb.edu.br;

⁵ Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia –UFRB -BA, keilamedeiros@ufrb.edu.br.

1998). Essas tecnologias são caras, especialmente quando a grande quantidade de produção de água doce não é desejável. Por outro lado, o uso de fontes de energia convencionais (combustíveis de hidrocarbonetos) para impulsionar esses sistemas tem impactos ambientais prejudiciais. Vários tipos de energia solar ainda foram investigados por pesquisadores (QIBLAWEY E BANAT, 2008).

Os dessalinizadores são equipamentos que, de modo geral, são de fácil manuseio e montagem, sendo um dos mais conhecidos atualmente o dessalinizador do tipo pirâmide onde a destilação é dada pela evaporação através da energia solar (SPIEGLER, 1965). Nesse processo, o equipamento irá copiar uma parte do ciclo hidrológico que ocorrem espontaneamente na atmosfera, em que é dado pelo aquecimento da água através dos raios solares gerando o vapor d'água. Com isso, o vapor é condensado em uma superfície fria para em seguida ser coletada como a água produto (SOUZA, 2006).

Mas com o passar do tempo, esse tipo de equipamento tem atingido sua produção máxima e tem sido necessário o desenvolvimento de novas técnicas para que haja a coleta de um volume maior de água doce para consumo humano. Portanto, métodos para esse aumento têm sido implantados, como o aumento da área do equipamento, centralização da radiação solar em determinado ponto do dessalinizador para o aumento de temperatura e em consequência o aumento da formação de vapor e outros métodos que vem se mostrando eficazes.

Os fenômenos que acontecem dentro dos dessalinizadores solares são definidos como a transferência de calor, em que, por meio do cálculo dos coeficientes dessa transferência é possível calcular o volume do destilado. Essa transferência de calor pode ser por condução, convecção e radiação, em que os mesmos podem acontecer de uma vez só simultaneamente ou apenas um ou dois por vez. Para que eles aconteçam depende do material utilizado, condições climáticas e temperaturas em que o dessalinizador está submetido.

Os dessalinizadores solares passivos que se dividem em tipos de bacia e inclinação são boas opções para fornecer água potável a partir de água salobra em zonas costeiras áridas quando as condições climáticas são justas e a demanda não é muito grande (TABRIZI et al., 2010).

A transferência simultânea de massa e a transferência de calor são a base para a evaporação da água e sua condensação no meio solar. O processo de transferência de calor interno ou externo é realizado no sistema de dessalinização solar com base no fluxo de energia térmica para dentro ou para fora do sistema. O processo interno é de grande importância para a evaporação e o movimento do vapor de água fresco, que deixa para trás todo tipo de impurezas na própria bacia solar. O processo externo é responsável pela condensação do vapor de água doce como saída destilada (ELANGO et al., 2015; SAMPATHKUMAR et al., 2011)

No processo interno, a alta temperatura é trocada dentro do espaço fechado entre a superfície da bandeja da água e a cobertura de vidro da superfície interna do dessalinizador solar. Ele governa cerca de três tipos de transferência de calor, como processos de evaporação, convecção e radiação dentro do sistema solar. Em um dessalinizador solar, o processo de convecção ocorre entre a água da bacia (fluido) e a face interna da cobertura de vidro superior (superfície sólida) através do ar úmido dentro do espaço fechado devido à diferença em suas temperaturas. O transporte de energia de calor por radiação é o mais rápido entre todos os tipos de processos de transferência de calor, e não sofre deterioração no vácuo. Além disso, ocorre em todos os tipos de substâncias, como sólidos, líquidos e gases. A progressão da transferência de calor (radiação) ocorre entre a superfície interna da cobertura

de vidro e a água no dessalinizador solar. O processo de transferência de calor por evaporação ocorre entre a água e o limite de vapor de água quando a pressão de vapor se torna menor do que a pressão de difusão da água a uma determinada temperatura (TIWARI, TIWARI, 2004).

Nesta pesquisa, pretende-se analisar os coeficientes de transferência de calor (convecção, radiação e evaporação) experimentais e o valor de destilado teórico para o dessalinizador solar tipo telhado, com base nas temperaturas aferidas ao longo do dia de experimento.

METODOLOGIA

Neste trabalho utilizou-se o alumínio para a montagem do dessalinizador devido à melhor resistência à corrosão, baixo peso e fácil formação, com tamanho de 150 cm de comprimento, 20 cm de largura e 10 cm de altura, pintado de preto fosco. A área de evaporação é de 0,302 m², com inclinação do vidro de 25° de acordo com estudo realizado por Soares (2004), formada por cobertura de vidro de 3mm de espessura.

A bandeja de alumínio do dessalinizador é isolado com poliestireno expandido de 25 mm de espessura para diminuir a perda de calor com o ambiente. O sistema é operado em batelada, sendo colocado 3L de água salobra, para formar uma lâmina de água de 1cm. A água evaporada é condensada na parte interna da cobertura de vidro e recolhida nas laterais por calhas até ser aferida na proveta. As temperaturas foram medidas em diferentes pontos do dessalinizador, utilizando termopares de ligas metálicas Pt-100. Foram medidas as temperaturas na cobertura de vidro, na água, no isolamento e a ambiente. A velocidade do vento foi medida utilizando um anemômetro e a radiação solar utilizando um radiômetro.

Todos os experimentos foram realizados entre as 9h e 15h, no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, sendo feitas as medições a cada 30 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao termino dos experimentos observou-se que devido à união do material utilizado e as incidências de radiação solar ocorreu a transferência de calor no dessalinizador estudado, sendo o do tipo telhado, devido à boa condição climática da região Nordeste.

Com a análise de alguns parâmetros como temperatura do vidro, temperatura da água da bandeja e na saída do destilado, obteve-se resultados para calcular os valores dos coeficientes de convecção, radiação e evaporação.

Esses resultados de temperaturas foram anotados e transferidos para um software a fim de calcular esses coeficientes para posteriormente estipular os valores de destilado teórico.

Os experimentos foram realizados em dois dias, onde um deles teve uma maior incidência de radiação e no outro com menor incidência. Para esses dias, as temperaturas variaram sendo notório um valor mais elevado delas no dia de maior incidência e uma menor temperatura para o outro.

Para as temperaturas do dia com maior incidência de radiação solar, os valores do coeficiente de convecção (h_c) variaram entre $4,42 \text{ W/m}^2\text{C}$ no início do experimento, e $0,88 \text{ W/m}^2\text{C}$ no final, chegando a $7,95 \text{ W/m}^2\text{C}$ onde as temperaturas foram mais elevadas durante a realização do experimento. Para o coeficiente de radiação (h_r) os valores foram de $11,02 \text{ W/m}^2\text{C}$ e $10,54 \text{ W/m}^2\text{C}$ entre o início e fim dos testes respectivamente, chegando ao seu valor máximo de $12,49 \text{ W/m}^2\text{C}$ em uma temperatura mais elevada. No coeficiente de evaporação (h_{ev}) os valores obtidos foram de $86,81 \text{ W/m}^2\text{C}$ e $14,260 \text{ W/m}^2\text{C}$ para o início e fim de experimento, chegando ainda ao valor de $198,41 \text{ W/m}^2\text{C}$. O valor teórico total de destilado encontrado através dos cálculos para esse dia é de $9,28 \text{ L/m}^2\text{.dia}$.

Para as temperaturas do dia com menor incidência de radiação solar, os valores do coeficiente de convecção (h_c) variaram entre $4,42 \text{ W/m}^2\text{C}$ no início do experimento, e $6,18 \text{ W/m}^2\text{C}$ no final, chegando a $9,724 \text{ W/m}^2\text{C}$ com temperaturas mais elevadas durante o experimento. O coeficiente de radiação (h_r) apresentou valores de $8,36 \text{ W/m}^2\text{C}$ e $9,72 \text{ W/m}^2\text{C}$ entre o início e fim dos testes respectivamente, chegando ao seu valor máximo de $10,36 \text{ W/m}^2\text{C}$ em uma temperatura mais elevada. No coeficiente de evaporação (h_{ev}) os valores obtidos foram de $24,26 \text{ W/m}^2\text{C}$ e $69,28 \text{ W/m}^2\text{C}$ para o início e fim de experimento, chegando ainda ao valor de $96,28 \text{ W/m}^2\text{C}$. Nesse dia de menores temperaturas, o valor teórico total de destilado encontrado por meio de cálculos foi de $2,59 \text{ L/m}^2\text{.dia}$.

Vale ressaltar que esses resultados irão variar, pois o experimento não depende apenas da radiação solar do dia em questão, mas também da junção das condições climáticas, como a intensidade do vento que ajudam a superfície do vidro a esfriar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão dos experimentos, percebeu-se que com a combinação de materiais adequados para a construção de um dessalinizador em uma região de boa incidência de radiação solar, é possível obter como resultados uma boa eficiência do equipamento. Através das temperaturas aferidas durante o experimento no vidro, na água da bacia e na saída do destilado, puderam-se calcular os coeficientes de transferências de calor com a finalidade de se obter valores teóricos para o destilado acumulado durante as horas de teste. Com esses resultados é possível ter uma previsão de como o dessalinizador irá se comportar em dias de temperaturas semelhantes aos dos testes, mas tendo ciência que esses valores teóricos têm a probabilidade de não serem igualados na prática, como foi o caso do experimento em questão.

No mais, os dessalinizadores apresentam uma eficiência aceitável para a finalidade na qual foram projetadas, que é a de dessalinizar águas salobras para o consumo do ser humano que sofrem em regiões acometidas pela escassez hídrica.

Palavras-chave: Dessalinização Solar; Transferência de calor; Análise de Desempenho; Energia Solar.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, F. D. Nordeste: Futuro Promissor Para Energia Solar, Caderno Setorial ETENE, Fortaleza, Brasil, 2018.

ELANGO C, GUNASEKARAN N, SAMPATHKUAR K. Thermal models of solar still—a comprehensive review. **Renew Sustain Energy Rev** . v. 47. p. 856–911, 2015.

FATH, H.E.S. Solar distillation: a promising alternative for water provision with free energy, simple technology and clean environment, **Desalination** v.116. p.45–56, 1998.

KABEEL, A. Performance of solar still with a concavewick evaporation surface, **Energy**. v. 34 p. 1504–1509, 2009

KHAWAJI, A.D., I.K., KUTUBKHANAH, WIE, J.-M., Advances in seawater desalination technologies, **Desalination** v. 221 p. 47–69, 2008.

MURASE, K., TOBATA, H., ISHIKAWA, M., TOYAMA, S., Experimental and numerical analysis of a tube-type networked solar still for desert technology, **Desalination**. v. 190. p. 137–146, 2006.

QIBLAWEY, H.M., BANAT, F. Solar thermal desalination technologies, **Desalination** v. 220. p.633–644, 2008.

SAMPATHKUMAR K, ARJUNAN TV, SENTHILKUMAR P. **Single basin solar still coupled with evacuated tubes—thermal modeling and experimental validation**. International Energy Journal v. 12. p. 53–66, 2011.

SOARES C. Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada. 2004. 110p. Dissertacao de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pos-graduacao em Engenharia Sanitaria e Ambiental. Florianopolis, SC.

SOUZA, L. F. **Dessalinização como fonte alternativa de água potável**. Norte Científico, v. 1, n. 1, 2006.

SPIEGLER, K. S. **Salt-Water Purification**. 3 ed. John Wiley & Sons Inc., Haifa. Israel, 1965.

TABRIZI, F.F., DASHTBAN, M., MOGHADDAM, H., RAZZAGHI, K. Effect of water flow rate on internal heat and mass transfer and daily productivity of a weir-type cascade solar still. **Desalination**. v. 260. p. 239–247, 2010.

TIWARI, G.N., TIWARI, A.K. **Solar distillation practice for water desalination systems**. New Delhi: Anamaya Publishers; 2008.