

PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO VIA ENERGIA SOLAR: UMA REVISÃO

Kênia Kelly Freitas Sarmento – kenia.sarmento@aluno.uepb.edu.br

Vanessa Rosales Conserva

Kelly Cristine da Silva

Rafaela Cabral de Araújo Meneses

Keila Machado de Medeiros

Carlos Antônio Pereira de Lima

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande-PB, Brasil; Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Feira de Santana- BA, Brasil.

2.1. Sistemas solares térmicos: aquecimento de água, espaço e refrigeração.

Resumo. O aumento da demanda mundial por água tratada, impulsionado pela população crescente, pelas mudanças climáticas e pela contaminação química e biológica dos recursos hídricos, comprovado em uma redução significativa na disponibilidade de água. É essencial encontrar alternativas sustentáveis de baixo custo para fornecer água potável. A destilação solar torna-se uma das melhores opções para fornecer água potável. Este artigo tem como propósito mostrar ao leitor o contexto da dessalinização solar, ressaltando seus benefícios ambientais, econômicos e sociais, e estabelecer uma base sólida para a revisão de processos de dessalinização via energia solar. Portanto, foi possível concluir que o sistema de dessalinização solar é uma ótima opção para a produção de água dessalinizada para comunidades em que a demanda de água não é elevada e onde existe uma alta incidência de radiação solar para fornecer água dentro dos padrões de potabilidade.

Palavras-chave: Dessalinizadores Solar, Tecnologias, Escassez de água.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda mundial por água tratada, impulsionado pela população crescente, pelas mudanças climáticas e pela contaminação química e biológica dos recursos hídricos, comprovado em uma redução significativa na disponibilidade de água. Como consequência desse cenário desafiador, houve um interesse crescente na exploração de alternativas para tratamento da água (Pichel *et al.* 2023).

De acordo com Khan *et al.* (2021) os sistemas de dessalinização estão relacionados com as taxas de evaporação e condensação. Várias estratégias têm sido estudadas de forma experimental para aumentar a produtividade de água potável através de dessalinizador solar.

É essencial encontrar alternativas sustentáveis de baixo custo para fornecer água potável. A destilação solar torna-se uma das melhores opções através de dessalinizadores solar para fornecer água potável para pequenas comunidades que não têm acesso a água potável (Al-Harashsheh *et al.* 2022).

Melhorar as características de desempenho do destilador solar é considerado um dos fatores mais significativos para aumentar a eficiência do destilador. Vários pesquisadores e cientistas têm trabalhado para aumentar a produtividade e a eficiência dos dessalinizadores solar (Das *et al.* 2020).

Nascimento *et al.* (2018) construíram um destilador solar em escala piloto para verificar a eficiência do equipamento na desinfecção de água. A destilação natural da água pode destruir e/ou inativar microrganismos que são sensíveis ao calor e a radiação UV-A. Este método foi utilizado para fornecer água potável em navios e para dessalinização de água salobra.

SODIS é baseado exclusivamente na utilização de energia solar, e sua eficácia para a eliminação de patógenos da água. Este estudo analisa as tecnologias convencionais que estão sendo aplicado em escalas de médio e grande porte para purificar a água e tecnologias emergentes atualmente em desenvolvimento.

Atualmente, sabe-se que muitas das águas disponíveis para a sociedade, estão com alto teor de sais dissolvidos ou contaminadas biologicamente, o que corrobora para o aumento de doenças. Doenças transmitidas por água afeta de forma trágica nas comunidades em desenvolvimento no mundo, podendo ser evitadas através de mediações de água tratada, cerca de 90% dos casos de diarreia podem ser evitadas. Assim, torna-se necessário, fornecer água de boa qualidade para o consumo humano. A dessalinização solar é uma técnica inovadora que utiliza a energia solar para converter água salgada em água doce, abordando de forma sustentável a crescente demanda por água potável em todo o mundo (Goh e Ismail, 2018).

Neste intuito, o uso de tecnologias de dessalinização solar, mostra-se uma ferramenta eficiente na promoção de água potável, ou seja, as tecnologias tem buscado fornecer uma água tratada, que atenda os parâmetros estabelecidos de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021).

Diante do exposto, este artigo realiza uma visão abrangente do panorama atual da dessalinização integrada com energia solar, destacando a crescente demanda por água potável em todo o mundo e a necessidade de abordagens sustentáveis para enfrentar a escassez de água. Além disso, tem como propósito situar o leitor no contexto da dessalinização solar, ressaltando seus benefícios ambientais, econômicos e sociais, e estabelecer uma base sólida para a revisão de processos térmicos de dessalinização que são utilizados para tratamento e destacando suas contribuições para a compreensão das possibilidades e desafios da dessalinização integrada com energia solar no cenário global, bem como a busca por soluções sustentáveis para atender às necessidades hídricas emergentes.

2. ESCASSEZ DA ÁGUA

A água, recurso natural renovável, bem de uso comum e essencial à vida no planeta, apresenta um ciclo que sustenta a biodiversidade e mantém os ecossistemas, as populações e as comunidades nos ambientes terrestres e aquáticos. Com a população mundial crescente aumenta a necessidade por água com qualidade para diferentes usos. (Biswas; Tortajada, 2018; Van Vliet *et al.* 2021). Este recurso natural está presente no estado líquido, constituindo os mares, oceanos, os lagos e áreas represadas, tais como as áreas naturais alagadas e os lençóis subterrâneos. No estado sólido, a água se encontra presente nas geleiras e calotas polares, podendo ser também encontrada no estado gasoso na atmosfera (Dajoz, 2005).

Além da escassez, a qualidade da água continua sendo uma grande ameaça à saúde e ao bem-estar humano. (Connor *et al.* 2019). Águas salobras e a água do mar também são utilizadas para consumo, desde que previamente tratadas, pois as fontes de água doce são escassas (Shen *et al.* 2020). A água doce pode ser encontrada nas superfícies, o que inclui rios, lagos e reservatórios, bem como nas águas subterrâneas. Estas fontes são facilmente poluídas por atividades advindas das agroindústrias e por descargas inadequadas de efluentes domésticos, o que pode gerar doenças e danos ambientais aos ecossistemas aquáticos (Chen *et al.* 2019).

A atual escassez de água está acontecendo de forma acelerada e também podem representar regiões sob estresse em relação à qualidade da água e impactando um número crescente de consumidores de água residenciais, comerciais, industriais e agrícolas em todo o mundo (Mishra *et al.* 2021; Van Vliet *et al.* 2021).

3. ENERGIA E RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar pode ser explorada de forma intensa para instalação de dessalinizadores, visto que, é uma fonte de energia limpa e abundante. A destilação solar assemelha-se ao ciclo hidrológico natural da água, que envolve duas fases distintas: a evaporação e a condensação.

Uma fonte de radiação, como o sol, emite radiação em todo o espectro (Fig. 1). Por exemplo, decompondo-se a luz solar com um prisma é possível ver um espectro de cores, como as do arco-íris. Outras são invisíveis ao olho humano, mas detectáveis por instrumentos (Incropera e Dewitt, 2014).

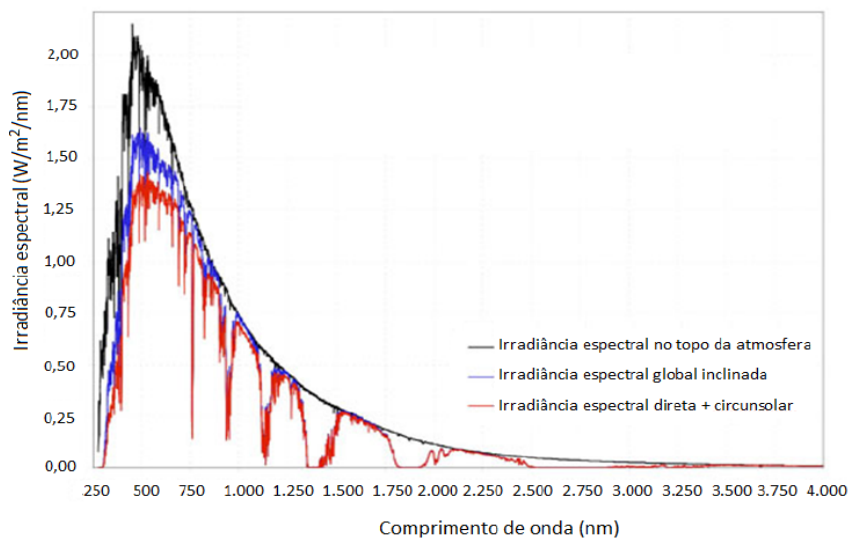


Figura 1 – Distribuição espectral de irradiância no topo da atmosfera. Fonte: Pinho e Galdino (2014).

A quantidade de energia solar radiante que chega sobre uma superfície por unidade de área e de tempo é chamada irradiância. A irradiância extraterrestre média normal fora da atmosfera da terra é de aproximadamente $1,36 \text{ kW.m}^{-2}$.

Como a órbita da terra é elíptica, a distância sol-terra varia ligeiramente com a época do ano, e a irradiância extraterrestre real varia $\pm 3,4\%$ durante o ano (Goswami, 2015).

A energia solar é uma energia abundante e disponível em todo o globo terrestre, isto constitui seguramente o fator predominante que faz residir na energia solar uma promissora solução de um grande número de problemas decorrentes da crise energética do início da década de 70, além de constituir um fabuloso potencial energético renovável e inesgotável na escala humana, sendo ainda uma forma de energia limpa e susceptível de inúmeras aplicações. A energia solar apresenta uma característica importante que é a de não ser poluente, podendo ser utilizada de forma concentrada ou não, dependendo da maneira como ela for captada, os níveis de temperatura obtidos podem variar desde a temperatura ambiente até alguns milhares de graus centígrados (Kalogirou, 2014).

A radiação solar está ganhando terreno rapidamente como um complemento às fontes não renováveis de energia, as quais têm um suprimento finito (Focchezatto, Korzeniewicz e Focchezatto, 2020).

4. METODOLOGIA

A metodologia empregada consistiu em uma revisão bibliográfica, que incluiu a busca de artigos em publicações técnicas abordando a dessalinização solar, bem como o desempenho térmico e a produtividade de dessalinizadores solares. Para coletar informações relacionadas à dessalinização solar, foram consultadas as bases de dados Web of Science e Scopus, utilizando descritores como "dessalinizador solar," "tecnologia de dessalinização solar" e "revisão da dessalinização solar."

Este estudo constitui uma revisão bibliográfica com foco no processo térmico de dessalinização. O objetivo foi observar as características técnicas e experimentais de cada modelo proposto. Além disso, o trabalho apresenta uma análise comparativa de diversos protótipos de dessalinizadores.

5. REVISÃO DOS PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO

A dessalinização é um processo físico que tem como objetivo separar o excesso de sais dissolvidos na água a fim de coletar água com baixo teor de sal para qualquer uso adequado. (Abdullah *et al.* 2021). A dessalinização tem um crescimento significativo a cada ano, devido à crescente demanda por água doce nas comunidades, indústrias e para a população em geral, especialmente em regiões áridas. Atualmente, existem diversos métodos disponíveis para converter água do mar, água salobra e até mesmo água contaminada em água doce com tratamento adequado para diversas finalidades. Podendo ocorrer os processos de dessalinização de duas maneiras: térmicos ou por membranas (Fig. 2).

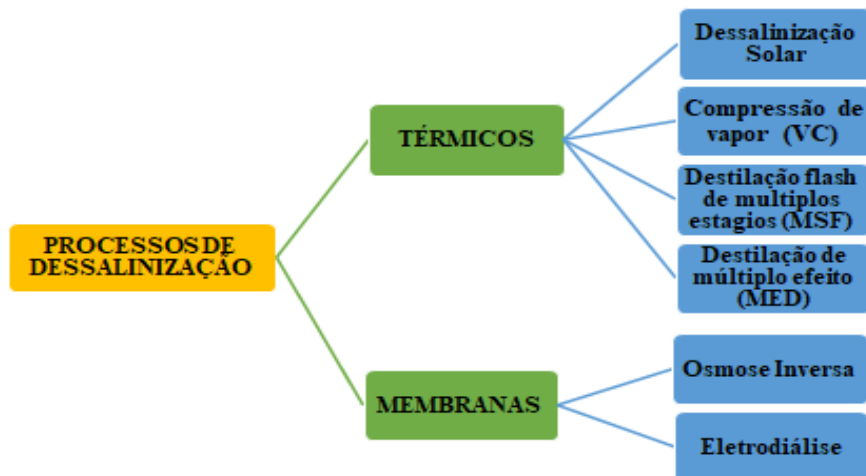


Figura 2 – Processos de dessalinização. Fonte: Autores (2023).

Os processos térmicos de dessalinização de água são métodos que envolvem a energia solar para ocorrer o processo ao qual a água em estado líquido é aquecida e ocorre o processo de evaporação, transformando o estado da água de líquido para gasoso, ficando retidas as partículas sólidas, enquanto o vapor de água é captado pelo sistema de resfriamento e ao ser submetidos a temperaturas mais baixas acontece a condensação retornando para o estado líquido. A escolha do método depende das condições locais, da disponibilidade de recursos e da escala da dessalinização desejada. Os métodos mais comuns de dessalinização térmica são: Dessalinização solar, Compressão de Vapor (CV), Flash de Múltiplos Estágios (FME), Múltiplo Efeito (ME).

Os processos de dessalinização por membranas são métodos que utilizam membranas semipermeáveis para separar sais presentes na água, com base nas diferenças de pressão osmótica e tamanho das moléculas. Existem dois principais processos de dessalinização por membranas: Osmose Inversa (OI) ou Eletrodialise (ED).

5.1 Dessalinização solar

Os sistemas de destilação solar podem ser classificados de acordo com o tipo de energia aplicada à bandeja de água, dividindo-se em sistemas passivos e sistemas ativos. Nos sistemas ativos, uma parcela extra de energia é introduzida ao sistema, promovendo uma evaporação mais rápida. Essa energia extra ela pode ser introduzida por um coletor solar, por exemplo. Se nenhum modo extra de energia for usado, o sistema é passivo (Kumar *et al.* 2015).

O destilador solar é um dispositivo de baixo custo que produz água potável a partir de água salobra ou contaminada, utilizando a energia do sol. O fenômeno básico deste dispositivo é que a água impura que fica dentro de um recipiente fechado é evaporada usando o calor retido absorvido do sol. Então, esse vapor d'água é condensado nas paredes de vidro do destilador e depois é acumulado (Ibrahim, Allam e Elshamarka, 2015).

A dessalinização solar através dos dessalinizadores pode ser utilizada para fins domésticos, principalmente em regiões sem acesso à energia elétrica, por ser uma tecnologia social, tem proporcionado benefícios socioeconômicos e ambientais, uma vez que, favorece a disseminação social, o que possibilita seu uso individual ou coletivo, e não causando impactos ambientais. As unidades de destilação movidas à energia solar podem reduzir as emissões de carbono e fornecer água descontaminada de maneira sustentável, com impactos mínimos no meio ambiente e são adequadas para áreas remotas e rurais, onde não é possível fornecer abastecimento de água potável (Sharon e Reddy, 2015).

Podem variar desde os modelos convencionais (de simples efeito) até os modelos que foram desenvolvidos a partir deste modelo convencional, com o intuito de melhoria nos rendimentos e, conseqüente, diminuição dos custos. São reservatórios de grande área e pequena altura, com cobertura de vidro ou material polimérico, permitindo a livre passagem dos raios solares, gerando vapor, que se condensa para converter-se em água potável, em seguida, é enviada para os reservatórios de armazenamento. A seguir podem-se observar alguns modelos de dessalinizadores solar: do tipo bandeja, do tipo pirâmide, de filme capilar, do tipo mecha e o do tipo cascata.

5.2 Dessalinizadores passivos e ativos

O esquema de um dessalinizador solar tipo bandeja é apresentado na Fig. 3. Os componentes básicos são: uma bandeja (plana de alumínio) pintada na cor preta, que tem por objetivo aumentar a absorção de energia solar incidente, onde é alimentada a água; uma cobertura de vidro por onde a radiação solar entra no dessalinizador, e que serve para condensar a água; as calhas que permitem recolher a água da base da cobertura para o reservatório de armazenamento; Possuindo termopares para fazer a verificação da temperatura; e o isolamento na base e nas laterais para evitar as perdas de calor para o ambiente (Varun, 2010).



Figura 3 – Dessalinizadores solar do tipo bandeja. Fonte: Alqsair (2024).

Os dessalinizadores solar do tipo mecha se caracterizam por possuir uma espécie de tecido recobrendo sua superfície de evaporação que fica cheio de água a ser destilada. Desta forma, a água passa lentamente através deste tecido poroso chamado mecha, absorvendo a radiação.

O dessalinizador do tipo pirâmide possui as mesmas características do dessalinizador do tipo bandeja, diferenciando apenas pela sua cobertura superior que tem a forma de pirâmide. Além disso, a cobertura de vidro pode ser no formato triangular ou quadrada (Sathyamurthy *et al.* 2014).

As principais vantagens do tipo pirâmide em relação ao modelo convencional são as seguintes: um dessalinizador solar convencional deve estar localizado de modo que sua superfície inclinada fique diretamente voltada para o sol e também seja continuamente deslocado de acordo com o movimento do sol para obter a máxima radiação solar, enquanto

que no formato pirâmide esse ajuste não é necessário, para a mesma área da bandeja, a produção em forma de pirâmide é maior, pois a sua área de condensação é maior do que a de inclinação única do modelo do tipo bandeja (Nayi e Modi, 2018). Na Fig. 4, pode ser observado o dessalinizador solar tipo pirâmide.



Figura 4 – Destilador solar tipo pirâmide. Fonte: adaptado de Arunkumar *et al.* (2012).

O dessalinizador do tipo filme capilar tem como principal característica o uso da propriedade de capilaridade da água (Boucekima, 2002). Na Fig. 5 pode ser observado o diagrama geral de funcionamento. O dispositivo é composto por: uma tampa de vidro; duas placas de metal dispostas face a face e inclinadas a certo ângulo, a primeira face frontal da placa é pintada de preto; a água a ser destilada escorre lentamente pelo tecido, e do outro lado este tecido é adequado para formar um filme de água capilar; o vapor de água produzido deixa o tecido e se condensará em contato com a segunda placa, a água destilada e o resíduo são recuperados pelos coletores; o isolamento térmico da unidade é garantido por uma placa de madeira.

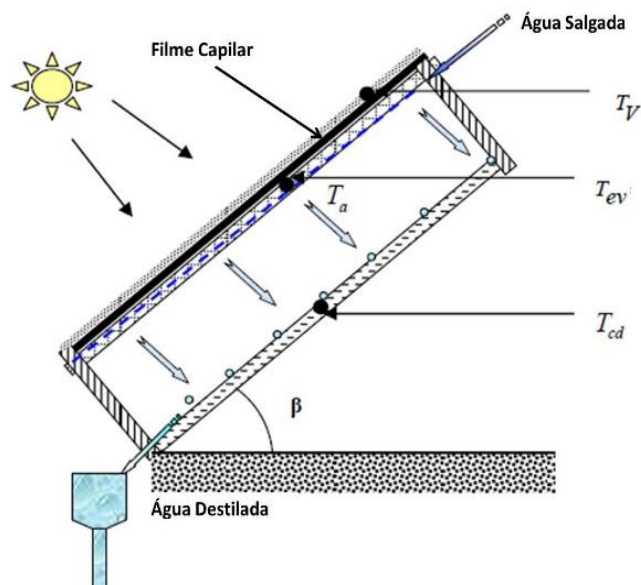


Figura 5 – Sistema de dessalinização com filme capilar. Fonte: adaptado de Abdenacer, Rym e Yacine (2008).

No dessalinizador solar do tipo cascata, a radiação solar aquece a água que evapora e é coletada na parte inferior da tampa de vidro, devido à pequena distância entre a tampa e a placa absorvedora de calor, o dessalinizador fica rapidamente saturado com vapor de água (Cardoso *et al.* 2022). Este dessalinizador apresenta maior produtividade e eficiência se comparado com outros modelos. O sistema de destilação do tipo cascata com seus componentes é ilustrado na Fig. 6, o mesmo é composto por três partes principais: a placa absorvedora de calor, o vidro de condensação da água destilada e o sistema de isolamento térmico.

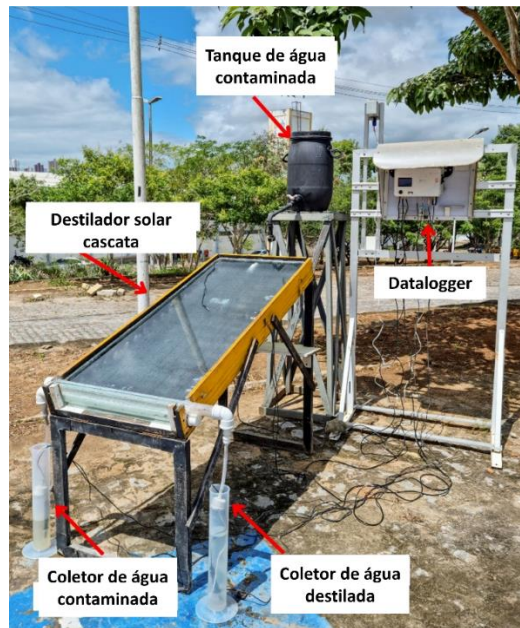


Figura 6 – Dessorizador solar do tipo cascata. Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2024)

Pichel *et al.* (2018) avaliaram o problema de acesso à água potável e apresentaram a revisão intensiva de tecnologias convencionais e avançadas de tratamento de água, tecnologias para a inativação de microrganismos patogênicos na água, portanto, de grande importância para a saúde e o bem-estar. Contudo, tecnologias convencionais para fornecer água potável, embora eficazes, apresentam limitações que impedem sua aplicação global. Esses métodos de tratamento geralmente têm altas demandas de energia e produtos químicos, o que limita sua aplicação para a prevenção de doenças transmitidas pela água nas regiões mais vulneráveis. Essas deficiências levaram a rápida pesquisa e desenvolvimento de tecnologias alternativas avançadas. Um desses métodos alternativos é a desinfecção solar, que é reconhecida pela World Health Organization como um dos métodos mais adequados para a produção de água potável em países em desenvolvimento (Fig. 7).

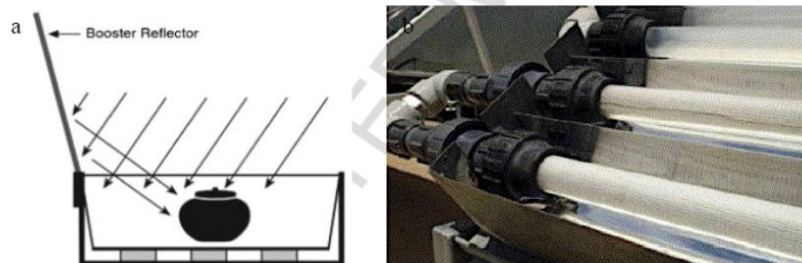


Figura 7 – (a) Pasteurização solar térmica usando um recipiente opaco com um refletor solar; (b) reator fotocatalítico usando coletores parabólicos compostos. Fonte: Pichel *et al.* (2018).

Mevada *et al.* (2021) realizaram análises experimentais, exergo-econômicas e exergo-ambientais de tubos evacuados acoplados ao dessalinizador solar com condensador e aletas, para verificar a melhoria do desempenho na produtividade do destilado e constatou aumento na produtividade.

Velmurugan *et al.* (2008) utilizaram para aumentar a evaporação da água da bandeja do dessalinizador aletas na bandeja. Assim, a taxa de produção acelerou e aumentou a área de exposição com esponjas. Os resultados experimentais foram comparados com dessalinizadores tipo bandeja comum e outros dessalinizadores. Verificou-se que a produtividade aumentou consideravelmente.

Parsa *et al.* (2020) examinaram o desempenho de diferentes modificações de dessalinizadores solar idênticos (Fig. 8) com aquecimento/resfriamento e nanofluido. O primeiro sistema convencional com aquecimento termoelétrico (TEH) na bandeja. O segundo sistema utilizaram aquecimento termoelétrico na bandeja e carregado com nanofluido. O terceiro a mesma configuração do segundo sendo que equipado com um condensador externo simétrico de dupla inclinação, sendo um lado resfriado por filme de água e o outro lado por termoelétrico. Os resultados revelaram que o rendimento diário e a eficiência para sistema com nanofluido/condensador e com nanofluido sem condensador em comparação com o sistema sem nanofluido/condensador melhoraram cerca de 100,5%, 26,7% e 50,8%, 30,6% respectivamente. Também revelou que a contribuição do condensador externo na produtividade foi de 26,3% da produtividade total.



Figura 8 – Dessalinizadores solar termoelétrico movido a energia renovável com condensador externo. Fonte: Parsa *et al.* (2020).

Farghaly *et al.* (2023) Utilizaram no dessalinizador solar um refletor parabólico combinado com o coletor de tubo evacuado, para aumentar a quantidade de radiação solar recebida. Os resultados mostraram que usar ambas as modificações simultaneamente é mais eficiente do que usar cada uma delas separadamente. De acordo com os resultados destes pesquisadores observou-se um aumento de produtividade de 82,26% quando se utilizou o dessalinizador acoplado aos coletores de tubo evacuado, e um aumento de 112,57% quando utilizou ambas as modificações simultaneamente.

Sampathkumar e Senthilkumar (2012) avaliaram experimentalmente o efeito do acoplamento do coletor de tubo evacuado em um dessalinizador solar para aumentar a produtividade da água e concluiu que o rendimento aumentou para 49,7% para o dessalinizador solar integrado com coletor de tubo evacuado.

O destilador solar é um dispositivo promissor utilizado mundialmente para destilação de água devido ao seu design simples, fácil construção e baixo custo. Várias técnicas ativas surgiram ao longo dos anos para resolver este problema. De acordo com os pesquisadores Bhargva e Yadav (2020) realizaram um estudo experimental em um dessalinizador solar de inclinação única complementado com um coletor de tubo evacuado e um trocador de calor funcionando em termostifão (Fig. 9) Os efeitos do sombreamento e do resfriamento evaporativo da cobertura de vidro no desempenho do destilador solar ativo foram explorados e analisados em dias separados sob as condições meteorológicas de Kurukshetra, na Índia. O principal objetivo foi para aumentar a produtividade e a eficiência do destilador solar acoplado ao coletor, aumentando a taxa de condensação. Os resultados experimentais mostraram notável incremento na produtividade de água doce do dessalinizador com um máximo de 2.114 ml/dia alcançado. Um aumento de 16,4% e 3,8% foi alcançado na produtividade da água doce e na eficiência geral.



Figura 9 – Dessalinizador solar com refletor parabólico combinado com coletor de tubo evacuado. Fonte: adaptado de Bhargva e Yadav (2020).

Com objetivo de mostrar comparações de diversos estudos relacionados ao processo de dessalinização via energia solar, foi realizado um estudo comparativo, de alguns pesquisadores, mostrando diferentes tipos de dessalinizadores e suas modificações realizadas, evidenciando a eficiência térmica e localização do estudo, conforme apresentados na Tab. 1. Constatando a aplicabilidade dos processos de dessalinização via energia solar de forma eficaz para uso em locais com problemas de escassez.

Tabela 1 - Comparação dos processos de dessalinização em diferentes dessalinizadores solar

Autores e Ano	Tipos de dessalinizadores solar e suas modificações	Eficiência %	País
Elashmawy (2020)	Tipo tubular com concentrador parabólico usando brita como material de armazenamento de calor sensível.	36,34	Egito
Sambare <i>et al.</i> (2022)	Tipo tubular usando materiais de armazenamento de baixo custo: granito.	21,90	Índia
Omara <i>et al.</i> (2018)	Convencional com ventilador rotativo e turbina eólica.	39,8	Egito
Kabeel e Abdelgaied, (2020)	Tipo pirâmide com placa absorvedora de grafite e resfriamento de vidro.	70,98	Egito
Muthu Manokar <i>et al.</i> (2020)	Tipo pirâmide com condições de isolamento e profundidade de água de 1 cm.	28,5	Índia
Abd Elbar e Hassan (2020)	Tipo convencional Integrado com painel utilizando material de fibras de lã de aço preto com pré-aquecimento de água salina.	38,07	Egito
Dhivagar; Mohanraj; Belyayev (2021)	Tipo Convencional contendo brita como material de armazenamento de calor com evaporador de biomassa.	34,40	Índia
Alawee <i>et al.</i> (2021)	Tipo pirâmide, modificado com cilindros rotativos e aquecedores.	65,0	Iraque
Abujazar <i>et al.</i> (2018).	Tipo cascata com bandejas feitas de chapa de cobre.	22,48	Malásia
Bhargva e Yadav (2020).	Tipo Convencional, integrado e modificado com tubos evacuados e trocador de calor com tubos de cobre, 2.114 ml/dia alcançado de produtividade.	3,8	Índia

5.3 Fatores que afetam a produtividade dos dessalinizadores solar

A produtividade do dessalinizador solar depende dos parâmetros naturais como intensidade da radiação solar, velocidade do vento e da temperatura ambiente. Os parâmetros de construção também afetam a produtividade, como a diferença de temperatura entre a placa de cobertura e a água, profundidade da água da bandeja, inclinação e espessura do vidro (Velmurugan e Srithar, 2011).

Os processos de transferência de calor da bandeja para a cobertura, e da cobertura para o exterior devem ser otimizados, com o objetivo de maximizar a produtividade do dessalinizador solar. A variação destes processos de transferência de calor depende de vários fatores como: a variação da intensidade de radiação solar, a variação da temperatura e da umidade ao longo do dia, a latitude e a longitude do local, a velocidade do vento incidente na superfície do dessalinizador, a espessura da cobertura, a orientação e a inclinação da cobertura, a profundidade da água na bandeja, as características dos materiais constituintes do dessalinizador e a utilização de refletores aumenta o fluxo de calor da radiação melhorando o rendimento (Duffie e Beckman, 2013; Selvaraj e Natarajan, 2018).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, foi possível concluir que o sistema de dessalinização é uma ótima opção para a produção de água dessalinizada para comunidades em que a demanda de água não é elevada e onde existe uma alta incidência de radiação solar para fornecer água dentro dos padrões de potabilidade, é uma técnica simples, atrativa, com requisitos mínimos de fabricação e manutenção, em comparação com outros processos. Desta forma, a dessalinização acontece por evaporação acionada por energia solar, que apenas consome energia renovável, sendo uma abordagem promissora para produzir água potável com impacto ambiental mínimo. Nesta revisão foram abordados diversos modelos de dessalinizadores solar, com a utilização da energia solar, também foram apresentados os subprocessos da dessalinização solar, bem como, a importância da radiação solar neste processo. Este trabalho retrata a relevância de processos de dessalinização via energia solar como alternativa viável, para solucionar problemas de escassez hídrica no semiárido brasileiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB e a FAPESQ pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Alqsair, F. U. 2024. Enhancement the production of trays solar still via nano phase change material and preheating feed-water. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 53, p. 103822.
- Abdullah, N., Yusof, N., Ismail, A. F., Lau, W. J., 2021. Insights into metal-organic frameworks-integrated membranes for desalination process: A review, *Desalination*, v. 500, p. 114867.
- Al-Hassan, G. A., Algarni, S., 2013. Exploring of water distillation by single solar still basins. *American Journal of Climate Change*, v. 2, p. 57-61.
- Abd Elbar, A. R., Hassan, H., 2020. Enhancement of hybrid solar desalination system composed of solar panel and solar still by using porous material and saline water preheating. *Solar Energy*, v. 204, p. 382-394.
- Abdenacer, K., Rym, R., Yacine K., 2008. Efficiency of Multi-Stage Solar Still with Capillary Film: Effect of Certain Thermophysical Parameters, the 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environment sand the 1st Arab Water Forum University of Mentouri, Algeria.
- Al-Harabsheh, M., Abu-Arabi, M., Ahmad, M., Mousa, H., 2022. Self-powered solar desalination using solar still enhanced by external solar collector and phase change material. *Applied Thermal Engineering*, v. 206, p. 118118.
- Agrawal, A., Rana, R. S., Srivastava, P., 2017. Heat transfer coefficients and productivity of a single slope single basin solar still in Indian climatic condition: Experimental and theoretical comparison, *Resource-Efficient Technologies*, v. 3, p. 466-482.
- Abujazar, M. S. S., Fatihah, S., Ibrahim, I. A., Kabeel, A. E., Sharil, S., 2018. Productivity modeling of a developed inclined stepped solar still system based on actual performance and using a cascade and forward neural network model. *Journal of Cleaner Production*, v. 170, p. 147-159.
- Arunkumar, T., Vinothkumar, K., Ahsan, A., Jayaprakash, R., & Kumar, S. 2012. Experimental study on various solar still designs. *International Scholarly Research Notices*.
- Alawee, W. H., Mohammed, S. A., Dhahad, H. A., Abdullah, A. S., Omara, Z. M., Essa, F. A., 2021. Improving the performance of pyramid solar still using rotating four cylinders and three electric heaters. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 148, p. 950-958.
- Brasil., 2021. Portaria GM/MS de nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- Bouchekima, B., 2002. A solar desalination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria. *Desalination*, v. 153, p. 65-69.
- Bhargva, M., Yadav, A. 2020. Effect of shading and evaporative cooling of glass cover on the performance of evacuated tube-augmented solar still. *Environment, Development and Sustainability*, v. 22, p. 4125-4143, 2020.
- Biswas, A. K., Tortajada, C., 2018. Avaliando as megatendências globais da água. In: *Avaliando as megatendências globais da água*. Springer, Cingapura, p. 1-26.
- Connor, R., Coates, D., Uhlenbrook, S., Koncagül, E., 2019. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Não deixar ninguém para trás. Recuperado de World Water Assessment Program me WWAP, UN-Water.
- Chen, B., Wang, M., Duan, M., Ma, X., Hong, J., Xie, F., Zhang, R., Li, X., 2019. In search of key: Protecting human heal the and the ecosystem from water pollution in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 228, p. 101-111.
- Cardoso, M., Da Silva, K., Silva, C., 2022. Low-cost solar still with corrugated absorber basin for water desalination. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering*. 44, 214.
- Das, D., Bordoloi, U., Kalita, P., Boehm, R. F., & Kamble, A. D., 2020. Solar still distillate enhancement techniques and recent developments. *Groundwater for sustainable development*, 10, 100360.
- Dajoz, R., 2005. *Princípios de Ecologia*. 7ª Edição. Porto Alegre: Artmed.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 2013. *Solar Engine erring of Thermal Processes*. Fourth Edition, Published by John Wiley& Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Elashmawy M., 2020. Improving the performance of a parabolic concentrator solar tracking-tubular solar still (PCST-TSS) using gravel as a sensible heat storage material. *Desalination*, v. 473, p. 114182, 2020.
- Fochezatto, A., Korzeniewicz, M. B. Dv., Fochezatto, I. M., 2020. Existem spill overs espaciais na expansão da energia solar no Brasil. *Anais do XVIII ENABER*, 2020, Brasil.
- Farghaly, M. B., Alahmadi, R. N., Sarhan, H. H., & Abdelghany, E. S., 2023. Experimental study of simultaneous effect of evacuated tube collectors coupled with parabolic reflectors on traditional single slope solar still efficiency. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 49, p. 103304.
- Goh, P. S., Ismail, A. F. 2018. A review on inorganic membranes for desalination and wastewater treatment. *Desalination*, 434, 60-80.
- Goswami, D. Y., 2015. *Principles of Solar Engineering*. Third edition, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Incropera, F. P.; Dewitt, D. P., 2014. *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*. 7ª Ed, LTC Editora, Rio de Janeiro.
- Ibrahim, A. G. M., Allam, E. E., Elshamarka, S. E., 2015. A modified basin type solar still: experimental performance and economic study. *Energy*, v. 93, p.335-342.
- Kabeel, A. E.; Abdelgaied, M., 2020. Enhancement of pyramid-shaped solar stills performance using a high thermal conductivity absorber plate and cooling the glass cover. *Renewable Energy*, v. 146, p. 769-775.
- Kumar, P. V., Kumar, A., Prakash, O., Kaviti, A. K., 2015. Solar stills system design: A review, *Renewable and Sustainable Energu Reviews*, v. 51, p. 153-181.

- Khan, M. Z., Nawaz, I., Tiwari, G. N., Meraj, M., 2021. Effect of top cover cooling on the performance of hemispherical solar still. *Materials Today: Proceedings*, v. 38, p. 384-390.
- Kalogirou, S. A., 2014. *Solar Energy Engineering Processes and Systems*. 815p. Second Edition, Academic Press.
- Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., Gautam, A., 2021. Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions. *Water*, v. 13, n. 4, p. 490.
- Mevada, D., Panchal, H., & Sadasivuni, K.K., 2021. Investigation on evacuated tubes coupled solar still with condenser and fins: experimental, exergo-economic and exergo-environment analysis, *27*, 101217.
- Manokar, A. M., Taamneh, Y., Winston, D. P., Vijayabalan, P., Balaji, D., Sathyamurthy, R., Mageshbabu, D., 2020. Effect of water depth and insulation on the productivity of an acrylic pyramid solar still—An experimental study. *Groundwater for Sustainable Development*, v. 10, p. 100319.
- Nascimento, F. T., Nascimento, C. A., Spilki, F. R., Staggemeier, R., Lauer Júnior, C. M., 2018. Efficacy of a solar still in destroying virus and indicator bacteria in water for human consumption. *Revista Ambiente & Água*, v. 13, n. 4, p. 1-12.
- Nayi, K. H., Modi, K. V., 2018. Pyramid solar still: A comprehensive review. *Renew able and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 136-148.
- Omara, Z. M.; Abdullah, A. S.; Dakrory, T. 2017. Improving the productivity of solar still by using water fan and wind turbine. *Solar Energy*, v. 147, p. 181-188.
- Pichel, N., Belachqer-El Attar, S., Soriano-Molina, P., Pérez, J. S., 2023. Demonstrating the feasibility of a novel solar photo-Fenton strategy for full-scale operationalization according to EU 2020/741 disinfection targets for water reuse. *Chemical Engineering Journal*, v. 472, p. 144935.
- Pichel, N., Vivar, M., Fuentes, M., 2018. The problem of drinking water access: A review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods. *Chemosphere*.
- Pinho, J.T., Galdino, M.A., 2014. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. 1ª Edição. CEPTEL CRESESB: Rio de Janeiro.
- Shen M., Song B., Zhu Y., Zeng G., Zhang Y., Yang Y., Wen X., Chen M., Yi H., 2020. Removal of microplastics via drinking water treatment: Current know led geand future directions. *Chemosphere*, v. 251, p. 1-13.
- Sharon, H., Reddy, K. S., 2015. A review of solar energy driven desalination technologies. *Renew able and Sustainable Energy Reviews*, v. 41, p. 1080-1118.
- Sathyamurthy, S., Kennady, H. J., Nagarajan, P. K., Amimul, A., 2014. Factors affecting the performance of triangular pyramid solar still. *Desalination*, v. 344, p. 383-390.
- Selvaraj, K., Natarajan, A., 2018. Factors influencing the performance and productivity of solar stills - A review. *Desalination*, v.435, p.181–187.
- Silva, C. B., da Silva, K. S., Sarmento, K. K. F., de Andrade Pascoal, S., Cavalcante, G. G., de Medeiros, K. M., & de Lima, C. A. P. (2024). Removal of the veterinary antibiotics oxitetracycline from contaminated water by solar distillation. *Journal of Water Process Engineering*, 58, 104784.
- Sambare R. K., Dewangan S. K., Gupta P. K., Joshi S., 2022. Augmenting the productivity of tubular solar still using low-cost energy storage materials. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, v. 29, n. 52, p. 78739-78756
- Van Vliet, M. T., Jones, E. R., Flörke, M., Franssen, W. H., Hanasaki, N., Wada, Y., E Yearsley, J. R., 2021. Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 2, p. 024020.
- Varun, A. K., 2010. Solar stills: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 14, p. 446-453.
- Velmurugan, V., K. Srithar., 2011. Performance analysis of solar stills based on various factors affecting the productivity - A review. *Renew able and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 1294–1304.
- Velmurugan, V., Gopalakrishnan, M., Raghu, R., & Srithar, K., 2008. Single basin solar still with fin for enhancing productivity. *Energy Conversion and Management*, 49(10), 2602-2608.

DESSALINATION PROCESSES VIA SOLAR ENERGY: A REVIEW

Abstract. *The increase in global demand for treated water, driven by a growing population, climate change and chemical and biological pollution of water resources, has proven to be a significant reduction in water availability. It is essential to find low-cost, sustainable alternatives to providing safe drinking water. Solar distillation becomes one of the best options for providing drinking water. This article aims to show the reader the context of solar desalination, highlighting its environmental, economic and social benefits, and to establish a solid basis for reviewing desalination processes via solar energy. Therefore, it was possible to conclude that the solar desalination system is a great option for producing desalinated water for communities where water demand is not high and where there is a high incidence of solar radiation to provide water within potability standards.*

Keywords: *Solar Desalination, Technologies, Water scarcity.*