

## **Análise dos parâmetros construtivos no desempenho térmico de dessalinizador solar: Uma revisão**

**Analysis of constructive parameters in the thermal performance of solar still: Review**

**Análisis de parámetros constructivos en el rendimiento térmico de desaladoras solares:  
Revisión**

Recebido: 26/04/2021 | Revisado: 04/05/2021 | Aceito: 12/05/2021 | Publicado: 29/05/2021

**Vanessa Rosales Bezerra**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7920-4107>  
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil  
E-mail: [rosalesuepb@gmail.com](mailto:rosalesuepb@gmail.com)

**Yohana Jamilla Vilar de Brito**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8921-3576>  
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil  
E-mail: [yohannajvb@gmail.com](mailto:yohannajvb@gmail.com)

**Kênia Kelly Freitas Sarmiento**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6815-9577>  
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil  
E-mail: [keniakellys41@gmail.com](mailto:keniakellys41@gmail.com)

**Camilla Soares de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2985-0848>  
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil  
E-mail: [camillasoeng@gmail.com](mailto:camillasoeng@gmail.com)

**Keila Machado de Medeiros**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9250-1432>  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
E-mail: [keilamedeiros@ufrb.edu.br](mailto:keilamedeiros@ufrb.edu.br)

**Carlos Antônio Pereira de Lima**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1301-6066>  
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil  
E-mail: [caplima@uepb.edu.br](mailto:caplima@uepb.edu.br)

### **Resumo**

Dessalinizador solar é um equipamento ancorado em tecnologia viável e de baixo custo por utilizar a energia proveniente do sol. Além disso, apresenta resistência a altas temperaturas, podendo obter água potável. O objetivo deste trabalho é estudar a influência dos parâmetros construtivos do desempenho térmico de dessalinizador solar. Para atender este objetivo, optou-se por uma descrição sequencial dos fatores que interferem no processo de destilação solar. Os resultados desta revisão indicaram que a dessalinização solar é afetada pela área de evaporação, profundidade da lâmina da água e do ângulo da cobertura do dessalinizador. O isolamento do sistema de dessalinização afetou positivamente a produtividade, porque aumentou a capacidade de aquecimento e os efeitos evaporativos dentro do dessalinizador. Também verificou-se a partir dos estudos observados que o desempenho do dessalinizador é aprimorado através do aumento da radiação solar, temperatura do ar ambiente, temperatura inicial da água na bandeja e velocidade do vento. Além disso, o desempenho foi associado à condutividade térmica dos materiais utilizados na produção do dessalinizador, e para taxa alta de produtividade dessalinização ser alcançada usando materiais absorventes térmicos, como uso de aletas, nano fluidos e esponjas integradas no dessalinizador. Portanto, concluiu-se que os parâmetros climáticos e operacionais inerentes ao dessalinizador solar, foram fatores determinantes para melhoria da produtividade de água dessalinizada.

**Palavras-chave:** Água salobra; Dessalinização; Potabilidade.

### **Abstract**

The solar desalinator is a viable and low-cost technology for using energy from the sun. In addition, it is resistant to high temperatures, obtaining reasonable amounts of water. The objective of this work is to present the influence of climatic, operational and design parameters on the thermal performance and productivity of the solar desalinator. To satisfy this objective, a sequential description of the factors that interfere with the solar distillation process was chosen.

The results indicated that solar desalination is affected by the evaporation area, water depth and the desalination cover angle. The isolation of the desalination system positively affected productivity, because it increased the heating capacity and the evaporative effects within the desalinator. It was also found that the performance of the desalinator was improved by increasing solar radiation, ambient air temperature, initial water temperature in the tray and wind speed. In addition, performance is associated with the thermal conductivity of the materials used in the desalinator, a high productivity rate can be achieved using thermal absorbent materials, such as the use of fins, nano fluids and sponges integrated in the desalinator. Therefore, it was possible to conclude that the climatic, operational and design parameters inherent to the solar desalinator, are determining factors to improve the productivity of desalinated water.

**Keywords:** Brackish water; Desalination; Potability.

### Resumen

El desalinizador solar es un dispositivo anclado en una tecnología viable y de bajo costo para aprovechar la energía del sol. Además, es resistente a altas temperaturas y puede obtener agua potable. El objetivo de este trabajo es estudiar la influencia de los parámetros constructivos del rendimiento térmico de un desalador solar. Para cumplir con este objetivo, se eligió una descripción secuencial de los factores que interfieren con el proceso de destilación solar. Los resultados de esta revisión indicaron que la desalación solar se ve afectada por el área de evaporación, la profundidad de la capa de agua y el ángulo de la cubierta de desalación. El aislamiento del sistema de desalación afectó positivamente la productividad, ya que aumentó la capacidad de calefacción y los efectos evaporativos dentro del desalador. También se verificó a partir de los estudios observados que se mejora el rendimiento del desalador mediante el aumento de la radiación solar, la temperatura del aire ambiente, la temperatura inicial del agua en la bandeja y la velocidad del viento. Además, el desempeño se asoció a la conductividad térmica de los materiales utilizados en la producción del desalador, y a que se logre una alta tasa de productividad de desalación utilizando materiales termo absorbentes, como el uso de aletas, nano fluidos y esponjas integradas en el desalador. Por tanto, se concluyó que los parámetros climáticos y operativos inherentes al desalador solar, fueron factores determinantes para mejorar la productividad del agua desalada.

**Palabras clave:** Agua salobre; Desalación; Potabilidad.

## 1. Introdução

Atualmente, 3,5 milhões de pessoas morrem anualmente devido ao suprimento inadequado de água potável, reforçando assim o papel da água como um recurso global crítico (Luo, et al., 2015). O aumento da demanda de água está tornando-se um grande problema, e o acesso à água potável está cada vez mais difícil, principalmente para pessoas que vivem em áreas remotas afastadas dos centros urbanos (Hamed, et al., 2015; Shannon, et al., 2010).

Os países em desenvolvimento e os da região do Oriente Médio são os que mais sofrem com a escassez de água doce, e afirmaram que um terço da população mundial vive em países com água doce insuficiente para suprir suas necessidades básicas (ONU, 2019). Portanto, o crescente aumento populacional, as atividades agrícolas e industriais proporcionam desequilíbrio entre demanda e oferta de água doce

As tecnologias de destilação são usadas há cerca de séculos atrás, principalmente em navios para fornecer água potável à tripulação. O uso regular de tecnologias de destilação acelerou após a Segunda Guerra Mundial, com o aumento da demanda por água doce em países áridos (Kabeel & El-agouz, 2011). A energia solar é a melhor fonte alternativa de energia para aquecimento, é inesgotável, limpa e disponível em quase todas as partes do mundo. Pode-se explorar a intensa radiação solar para instalação de dessalinizações, visto que, a maioria dos processos de dessalinização, precisam de fonte de energia elétrica.

Dessalinização solar é um dos métodos importantes de utilizar a energia solar para o fornecimento de água potável a pequenas comunidades, onde o suprimento natural de água doce é inadequado ou de baixa qualidade e, a energia solar é abundante (El-sebaili & El-bialy, 2015). A dessalinização solar é uma técnica simples, atrativa, com requisitos mínimos de fabricação e manutenção, em comparação com outros processos. Nos países em desenvolvimento, muitas áreas remotas e costeiras não têm recursos suficientes de energia elétrica para produzir água potável, usando tecnologia convencional de dessalinização, como *flash* de vários estágios, osmose inversa e compressão a vapor (Ahsan et al., 2014).

Velmurugan e Srithar (2011) analisaram o desempenho de dessalinizadores solares com base em vários fatores que afetam a produtividade como temperatura de entrada de água, ângulo de cobertura, profundidade da água. Abujazar et al. (2016)

estudaram os efeitos do uso de aletas e refletores como parâmetros de projeto no desempenho de diversos dessalinizadores solares. Kabeel e El-agouz (2011) revisaram desenvolvimento em destiladores solares e o efeito de materiais como borracha, lã de vidro, quartzito na produtividade de água. O objetivo deste trabalho é apresentar a análise dos parâmetros construtivos no desempenho térmico e produtividade do dessalinizador solar.

## 2. Metodologia

No que se refere a classificação da pesquisa, Vergara (2005) relata que a pesquisa bibliográfica constitui o procedimento básico para os estudos monográficos, pelos quais busca o domínio do estado da arte sobre determinado tema. Neste sentido, o objetivo do presente estudo é uma pesquisa bibliográfica, baseado na compilação de vários trabalhos científicos sobre os parâmetros construtivos e operacionais do dessalinizador solar.

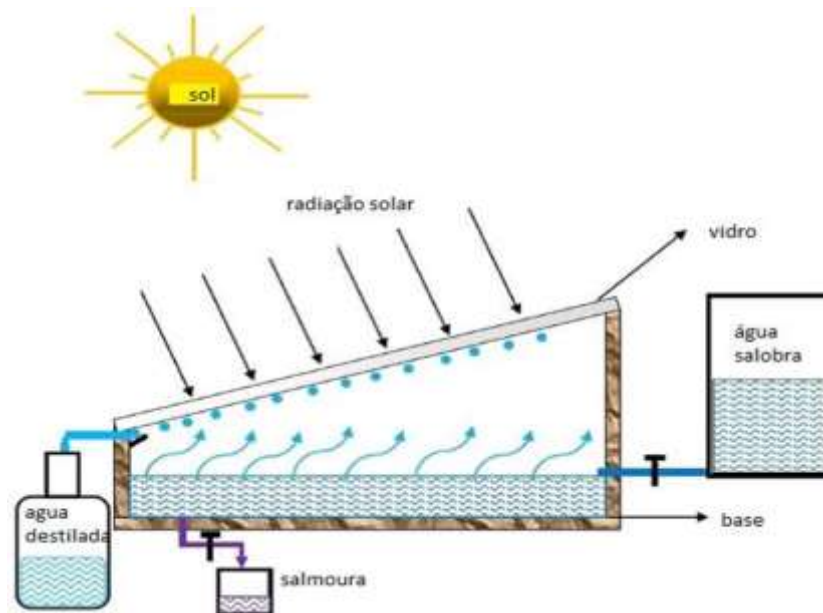
A pesquisa qualitativa define-se principalmente em análises qualitativas, caracterizando-se, em princípio, pela não utilização de instrumental estatístico na análise dos dados (Vieira & Zouain, 2006). A forma de abordagem deste trabalho é realizada por pesquisa qualitativa, utilizando o método da análise da Literatura, com a metodologia proposta por Pereira et al.(2018).

As buscas foram realizadas nas principais bases de dados como Scopus, Science Direct, SciELO, Web of Science, PubMed e apresentam trabalhos acadêmicos especializados. Foram selecionados os artigos entre o período de 2020 a 2020, optou-se por buscar termos livres,

## 3. Dessalinizador solar

Dessalinizador solar simples, consiste em uma bandeja pintada de cor preta, com água salobra ou salina até certa profundidade, e coberta por um vidro inclinado para facilitar a transmissão de radiação solar e condensação (Sharon & Reddy, 2015). A representação esquemática de um dessalinizador solar simples é ilustrado na Figura 1.

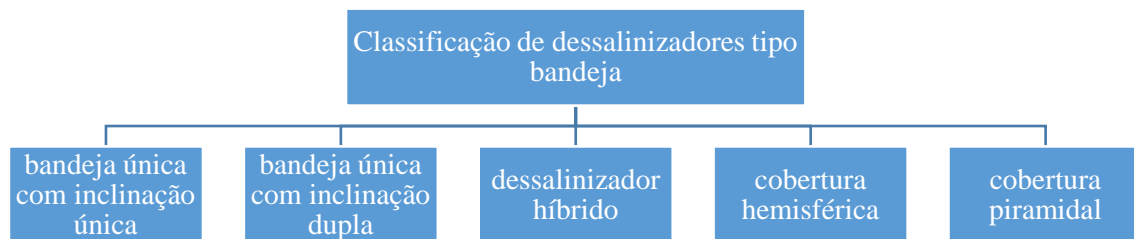
**Figura 1.** Esquema do dessalinizador solar simples.



Fonte: Setoodeh, Hahimi & Ameri (2011).

O princípio da dessalinização solar é baseado no ciclo hidrológico da natureza. Essa mesma teoria de evaporação e condensação, é utilizada para a produção de água pura a partir de água impura em qualquer sistema de destilação solar (Panchal & Patel, 2017). A maioria dos modelos convencionais de dessalinizadores solares apresenta capacidade para atender às necessidades de água de até  $5 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ . Os diversos modelos de dessalinizadores solar incluem a bandeja com inclinação única, com inclinação dupla, dessalinizador solar híbrido, semiesférico, triangular e piramidal (Yadav & Sudhakar, 2015). As classificações gerais de destilados solares são ilustradas na Figura 2.

**Figura 2.** Classificação dos tipos de dessalinizadores solares.



Fonte: adaptado de Yadav & Sudhakar, (2015).

### 3.1. Parâmetros que influenciam na eficiência de dessalinizadores solares

Os parâmetros de construção como, área de superfície livre da água, a área da placa absorvente, a temperatura de entrada da água, o ângulo do vidro, podem ser modificados no intuito de aumentar a produtividade dos dessalinizadores. Enquanto, que a temperatura ambiente, velocidade do vento e intensidade solar, são parâmetros meteorológicos e não podem ser controlados.

Os dessalinizadores solar são amplamente utilizados para destilação de água, mas a produtividade é baixa. Para aumentar a produção do destilador solar, várias pesquisas foram realizadas e relatadas por diferentes pesquisadores.

#### 3.1.1 Área Superficial da Bandeja

A taxa de evaporação da água do dessalinizador solar é proporcional à área de exposição da água. Assim, a produtividade aumenta de acordo com a superfície livre da água (Velmurugan & Srithar, 2011). Para melhores resultados, deve-se aumentar a área de superfície livre da água na bandeja com o intuito de aumentar a produção de água dessalinizada (Tanaka, 2009).

As bandejas podem ser revestidas com tintas pretas para maior absorção da radiação solar. Segundo Selvaraj e Natarajan (2018), um revestimento seletivo da superfície da bandeja deve resultar em maior produtividade, devido à sua alta capacidade de absorção e menor emissividade. Os autores Madhukeshwara e Prakash (2012) relataram que o revestimento de preto cromado em dessalinizador solar tem maior eficiência térmica quando comparado aos revestimentos preto fosco.

De acordo com Manokar et al. (2014) a taxa de evaporação depende da temperatura da água na bandeja e principalmente da disponibilidade de radiação solar, posto isso, a taxa de evaporação desempenha um papel importante na produtividade de água dessalinizada. A taxa de evaporação é proporcional à temperatura da área superficial da bandeja. Portanto, podemos usar placas absorventes suspensas, para aumentar a área de superfície livre da bandeja (Velmurugan & Srithar, 2011).

#### 3.1.2 Temperatura da cobertura de vidro

A diferença de temperatura entre a cobertura do dessalinizador e a água presente no dessalinizador é um dos parâmetros essenciais para melhor produtividade de água. Os autores Prakash e Velmurugan (2015) constataram que a diferença de

temperatura da cobertura vidro e da água, deve ser aumentada para elevar o desempenho dos dessalinizadores solar, a tampa de vidro pode ser resfriada por água corrente, e com o fluxo de água constante.

Segundo Ahmed e Alfaylakawi (2012) projetaram, construíram e conduziram uma pesquisa sobre o efeito da integração de aspersores de água e ventilador de refrigeração no desempenho de um dessalinizador solar convencional para as condições climáticas da cidade do Kuwait, na Figura 3 ilustra o modelo experimental do dessalinizador.

**Figura 3.** Arranjo experimental do dessalinizador com aspersor (esquerda) e ventilador (direita).



Fonte: Ahmed & Alfaylakawi (2012).

Seus resultados mostraram que, ao aumentar a velocidade média do vento de  $1,2 \text{ m.s}^{-1}$  para  $3,0 \text{ m.s}^{-1}$  e  $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ , a produtividade foi aumentada em 8% e 15,5%, respectivamente. E que o uso de aspersores de água durante 30 segundos, em intervalos predefinidos de 20 e 10 minutos, aumentaram a produtividade em 15,7% e 31,8%, respectivamente.

Arunkumar et al. (2012) avaliaram dois dessalinizadores solar, um modelo convencional e outro com fluxo de água na superfície superior da tampa. Concluíram que o modelo convencional tinha uma eficiência de 34%, enquanto o sistema de água com refrigeração na cobertura alcançou uma eficiência de 42%.

Gupta et al. (2016) investigaram o uso de um aspersor instalado sobre a cobertura de vidro, e as partes internas pintadas de branco do dessalinizador solar de inclinação única, com o intuito de diminuir a temperatura na superfície do mesmo, e assim aumentar a diferença de temperatura entre o vidro e a água salobra na bandeja. Obtiveram taxa mais rápida de evaporação e condensação, o que propiciou aumento de 21% de água dessalinizada, quando comparado a um dessalinizador solar sem as melhorias citadas.

### 3.1.3 Profundidade da lâmina de água

A profundidade da lâmina de água no dessalinizador solar tem efeito significativo na produtividade. A taxa de evaporação do dessalinizador solar é inversamente proporcional à profundidade da água (Tripathi & Tiwari, 2006). A profundidade mínima da água possui um coeficiente de transferência de calor mais alto e, portanto, fornece maior produtividade (Murugavel, et al., 2008). Segundo Panchal e Patel (2015) coeficiente de transferência de calor por convecção entre a tampa interna de vidro e a água depende significativamente da profundidade da água na bandeja.

Tiwari e Tiwari (2006) encontraram o efeito da profundidade da água na transferência de calor em um dessalinizador solar no período de verão. Relataram que com a profundidade mínima da lâmina de água, é alcançada a maior produtividade,

devido ao aumento do coeficiente de transferência de calor por convecção e por evaporação. A partir destes resultados, a lâmina de água com 0,04 m, proporcionou maior eficiência.

Khalifa e Hamood (2009) investigaram o efeito da profundidade da água no desempenho do dessalinizador solar do tipo bandeja, com as cinco diferentes lâminas de água, 1, 4, 6, 8 e 10 cm. Eles descobriram que a produtividade diminui com o aumento da profundidade da salmoura. Por fim, concluíram também, que a produção de água noturna aumentou devido ao calor armazenado durante as horas de incidência solar.

### 3.1.4 Velocidade do vento

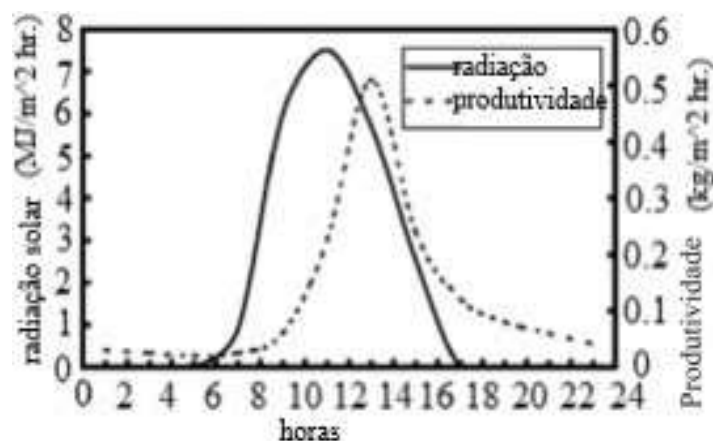
A velocidade do vento tem um efeito significativo na temperatura do vidro (Murugavel, et al., 2008). A velocidade do vento alta aumenta a transferência de calor por convecção da cobertura para a atmosfera devido ao aumento do coeficiente de transferência de calor por convecção entre a cobertura e a atmosfera. Este efeito aumenta as taxas de condensação e evaporação (Zurigat & Abu-arabi, 2004).

Segundo Sathyamurthy et al. (2014) verificaram que o aumento da velocidade do vento de  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  para  $3 \text{ m.s}^{-1}$  e  $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ , melhorou a produtividade entre 8 e 15,5%, respectivamente. O mesmo foi confirmado por Al-Garni (2012) maior produtividade de água, cerca de 50%, quando a velocidade do vento é alterada de 0 a  $10 \text{ m.s}^{-1}$ . À medida que a velocidade do vento aumenta o desempenho do destilador solar também aumenta (Kumar & Dwivedi, 2015).

### 3.1.5 Radiação solar

Diversos estudos relatam que o aumento da radiação solar resulta em maior rendimento no dessalinizador (Abujazar, et al., 2016). Os autores Al-hinai, Al-nassri e Jubran (2002) estudaram à influência da radiação solar no desempenho do dessalinizador solar com cobertura de vidro de inclinação única, com produção máxima às 13h:50min de  $0,5 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ , conforme a Figura 4. Almuhanha (2014) também inferiu que a produtividade de água destilada é maior à medida que a intensidade da radiação solar aumenta.

Figura 4. A variação da intensidade solar e produtividade de água.



Fonte: Al-hinai, Al-nassri, & Jubran, (2002).

Muftah et al. (2014) relataram que transferências de energia que destilam a água na configuração de um dessalinizador solar abrangem o suprimento de calor evaporado e sua remoção do vapor condensado, e o aumento das taxas de transferência de energia aumenta o rendimento. Morse e Read (1968) utilizaram expressões analíticas para determinar o efeito de diferentes

parâmetros, como radiação solar, velocidade do vento, temperatura ambiente e alterações de perda de calor na produtividade, concluindo que a radiação solar é parâmetro mais essencial para o processo.

### 3.1.6 Inclinação da cobertura de vidro de condensação

Singh e Tiwari (2004) verificaram que o rendimento do dessalinizador solar é máximo, quando a inclinação da tampa do vidro de condensação é igual à latitude do local. Ghoneyem e Ilery (1997) constataram que a inclinação do vidro localizado corretamente, pode alterar a produção de água dessalinizada em aproximadamente 63%, assim, concluíram que o ângulo do vidro é um parâmetro importante no processo de construção do dessalinizador.

**Tabela 1.** Comparação de diversos dessalinizadores solares de acordo com as mudanças nos parâmetros de projeto.

Autores	Modificação	Resultados
Omara et al. (2013)	Uso de refletores internos	A produtividade de água com e sem refletores internos foi superior a convencional em 75% e 57%, respectivamente.
Zheng et al. (2013)	Projetaram o dessalinizador tubular de dois efeitos, consiste em duas conchas tubulares circulares e duas calhas semicirculares que são colocadas dentro das respectivas conchas do tubo.	Os resultados experimentais indicaram que a taxa de desempenho alcançou cerca de 1,4%, sob condições de energia de aquecimento fixa. O rendimento do dispositivo atingiu cerca de 20,08 L.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> .
Rajaseenivasan e Srithar (2016)	Utilização de aletas circulares e quadradas anexadas ao dessalinizador solar com inclusão de material de isolamento térmico	A produtividade diária aumentou 26,3% e 36,7% para as aletas circulares e quadradas. No entanto, quando as mesmas aletas foram cobertas com material de isolamento térmico, a produtividade do dessalinizador aumentou em 36 e 45,8%
Abdallah et al. (2018)	Refletores externos e internos foram usados para focar a absorção da radiação solar no fundo da bacia.	A produtividade diária total aumentou 165% em comparação com o destilador solar convencional.
Zanganeh et al. (2019)	Analisaram a produtividade de água no dessalinizador solar aplicando o nano-revestimento para a tampa de vidro como aprimoramento para o processo de condensação.	A produção de condensado de uma superfície de vidro foi aumentada em 23% após nano-revestimento em um ângulo de inclinação da superfície de 50 °.
Nafey et al. (2012)	O uso de placa perfurada flutuante em destilador solar com profundidade de água de 6 cm.	Aumentou a produtividade em 40%, em comparação com o dessalinizador solar convencional
El-Samadony e Kabeel (2014)	Dessalinizador solar tipo escada com filme de resfriamento no vidro de cobertura.	O sistema foi bem-sucedido, a produtividade diária aumentou 30%, a partir do resfriamento da cobertura de vidro

Fonte: Autores.

## 4. Materiais Térmicos Absorventes de Calor

Geralmente, a máxima eficiência do dessalinizador solar convencional é cerca de 50%, levando em consideração o isolamento total, o menor isolamento reduz consequentemente, em torno de 14,5% da eficiência (Sharshir, et al., 2016). O material de isolamento como também a sua espessura, são fatores significativos para obter um melhor desempenho no processo de dessalinização solar.

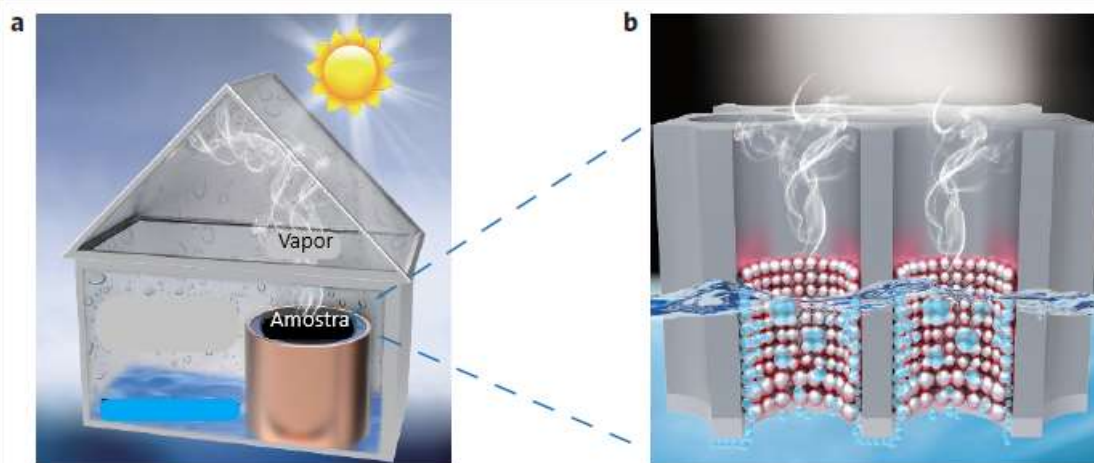
Al-Karaghoul e Alnaser (2016)relataram que a média da produção diária foi de 2,46 kg.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> para um dessalinizador não isolado, e 2,84 kg.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> para dessalinizador com isolamento. Em contrapartida, Khalifa e Ali (2015) sugeriram que o aumento de 80% referente à produtividade, pode ser alcançado a partir da seleção do isolamento apropriado.

Srivastava e Agrawal (2013) avaliaram o desempenho térmico do dessalinizador solar do tipo bandeja, integrado a aletas porosas estendidas. No período da manhã as temperaturas mais altas foram atingidas, proporcionando melhores coeficientes de transferência de calor por evaporação. A água da bandeja atua principalmente como um armazenamento térmico, que complementa o processo de evaporação durante baixa insolação, além de proporcionar produção noturna razoável. A destilação no período diurno foi de 56% maior em relação ao dessalinizador convencional, a produtividade máxima do destilado foi cerca de  $7,5 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

#### 4.1 Material térmico de plasmon

Zhou et al. (2016) estudaram um dessalinizador solar aprimorado com plasmon, através da automontagem de nanopartículas de alumínio em uma membrana porosa 3D, capaz de flutuar naturalmente na água. Este dispositivo reduz a salinidade em quatro ordens de magnitude e mantém seu desempenho em 25 ciclos, ressalta-se que na construção utilizaram de baixo custo. Na Figura 2 ilustra o modelo do dessalinizador e o esquema do plasmon.

**Figura 2.** a) Instalação e desempenho da dessalinização solar com reforço de plasmon b) Esquema do plasmon.

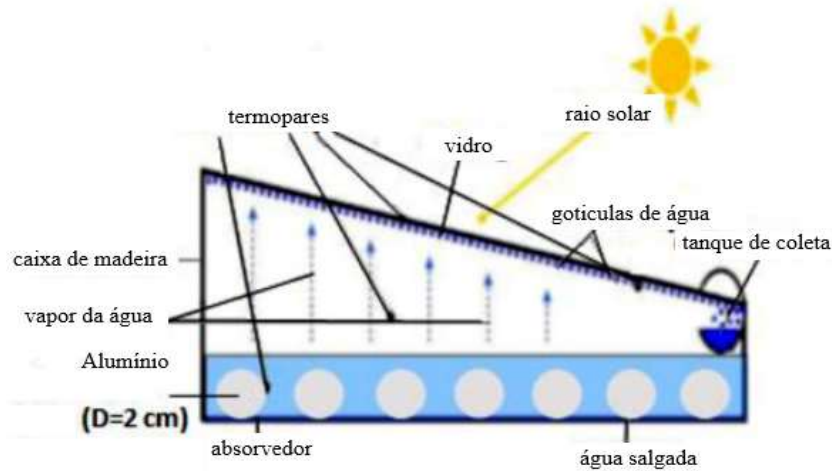


Fonte: Zhou et al. (2016).

A capacidade térmica desempenha um papel importante na produtividade do dessalinizador solar. Segundo Bhattacharyya (2013) a eficiência da produção de água é diretamente proporcional ao aumento da capacidade térmica do material do dessalinizador solar. Attia et al. (2020) estudaram um dessalinizador solar com esferas de alumínio com 2 cm de diâmetro em cima da bandeja de alumínio. Na Figura 3 são apresentadas todas as configurações do dessalinizador.



**Figura 3.** Dessalinizador solar com esferas de alumínio.



Fonte: Attia et al. (2020).

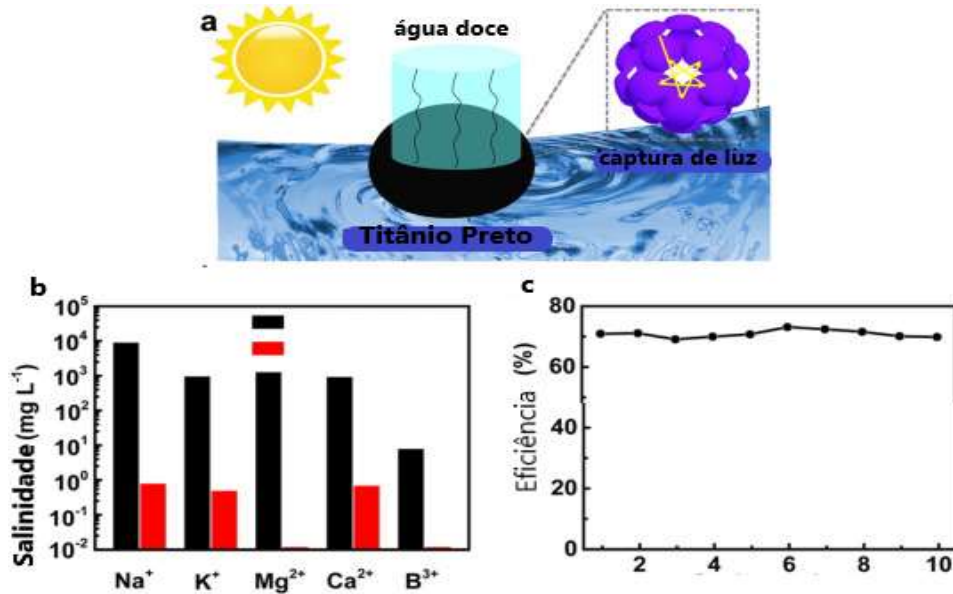
As esferas de alumínio elevaram a temperatura da água cerca de 5°C, a energia térmica armazenada foi usada para aumentar a temperatura da água salina durante o horário do pôr do sol. O rendimento, a eficiência térmica e foram aprimorados em 27,1%; 33,6% e 36,4% mais altos que os solares convencionais. Existem diversos estudos inerente a mudanças dos parâmetros de projeto do dessalinizador no intuito de aumentar a eficiência. Na Tabela 1 são apresentados parâmetros operacionais de modelos de dessalinizadores com uso de materiais integrados e seus respectivos resultados.

O uso de materiais de baixa condutividade térmica da bandeja e do material de armazenamento térmico melhora a produtividade, porque dificulta a perda de calor do dessalinizador para a atmosfera. Para alcançar maior condutividade térmica, são utilizados nano fluidos, que são nanopartículas suspensas para aumentar a área de superfície da bandeja. Ressalta-se também, que interfere na capacidade de calor do fluido, desta forma, aumentando a sua condutividade térmica (Manokar, et al., 2014). A condutividade térmica do aço é relativamente baixa em comparação com alumínio e cobre ( $k = 48 \text{ W/mK}$ ,  $k = 200 \text{ W/mK}$  e  $k = 390 \text{ W/mK}$ , respectivamente) (Manokar, et al., 2014). No entanto, o aço é mais barato que o alumínio e o cobre, aproximadamente a metade do custo do alumínio e cobre.

#### 4.2 Material térmico de titânio

Zhu et al. (2016) projetaram uma estrutura de nanopartículas de titânio preto, que contribuiu para o aumento da evaporação da água. As nanopartículas aceleram a transferência de calor do titânio para água. A camada auto flutuante de titânio é capaz de absorver com eficiência a irradiação solar, convertendo em energia térmica, com eficiência de 70,9%, foi capaz de remover sais da água e manteve sua eficiência por 10 ciclos. Na Figura 4 o modelo esquemático do titânio preto, a concentração da salinidade antes e após a dessalinização solar e a eficiência solar com número de ciclos.

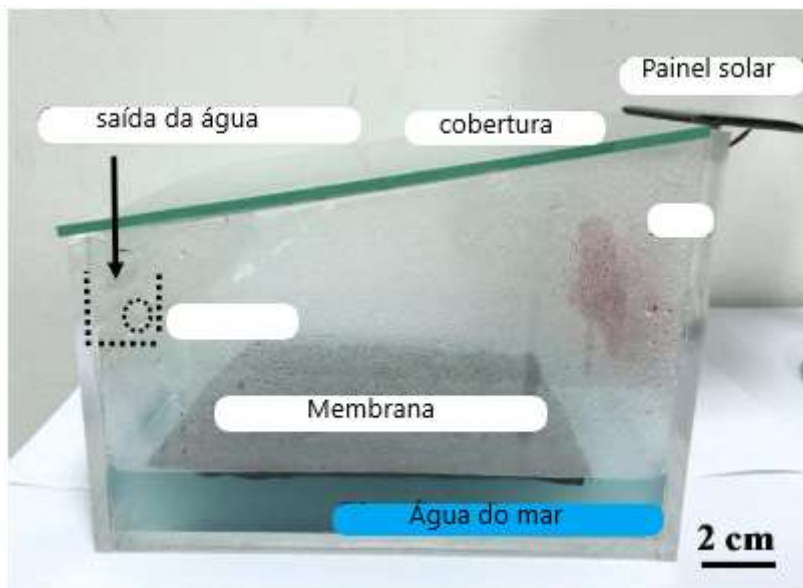
**Figura 4.** a) Dessalinização solar com nanopartículas de titânia preto. b) concentração da salinidade antes e após a dessalinização solar. c) eficiência solar com número de ciclos.



Fonte: Zhu et al. (2016).

Shang et al. (2017) aplicaram membranas híbridas de monossulfeto de cobre e polietileno (PE) porosas, no dessalinizador solar ilustrado na Figura 5. Constataram que além da absorção efetiva em todo o espectro da luz solar, a membrana apresentou alta eficiência de conversão de energia solar em calor, aproximadamente 63,9% e baixa condutividade térmica, podendo ser reciclada 20 vezes, a porosidade em microescala também reduz a condutividade térmica, o que evita a perda de calor.

**Figura 5.** Dessalinizador solar com utilização de membranas híbridas.



Fonte: Shang et al. (2017).

Murugavel et al. (2010) analisaram um dessalinizador solar tipo bandeja, testado com uma camada de água e diferentes materiais sensíveis ao armazenamento de calor, como rocha de quartzito, pedaços de tijolos vermelhos, pedaços de cimento, pedras lavadas e restos de ferro, o intuito foi avaliar o melhor material de armazenamento de calor, para aumentar o rendimento, e descobriram que a rocha de quartzito de 19 mm é o material eficaz para usar na bandeja.

**Tabela 2.** Comparação de diversos materiais térmicos absorventes de calor.

<b>Autores</b>	<b>Modificação</b>	<b>Resultados</b>
Nafey et al. (2011)	Uso do cascalho preto no dessalinizador solar tipo telhado	A produtividade foi aumentada em 19% no com o uso de cascalho preto de tamanho 20–30 mm, o rendimento foi de 20 L.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> .
Panchal (2015)	Uso cascalho de granito preto como material de armazenamento de energia no dessalinizador solar	Durante a evaporação, o cascalho de granito preto aumentou a ação capilar e, assim, aumentou a produtividade do dessalinizador solar.
Elango et al. (2015)	Estudaram o dessalinizador solar de com diferentes nanopartículas óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), óxido de zinco (ZnO) e óxido de estanho (SnO <sub>2</sub> )	Foram testados no dessalinizador solar, no qual a proporção de produtividade apresentou um aumento de 29,95 % usando a nanopartícula de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .
Shalaby, El-Bialy, El-Sebaei, (2016)	O dessalinizador solar com material de mudança de fase (cera de parafina)	Mostraram uma melhoria na produtividade noturna de cerca de 72,7% quando a cera de parafina foi usada como material de mudança de fase.
Sharshir et al. (2017)	Estudaram o efeito do emprego de micro-flocos de grafite e óxido de cobre, e do resfriamento da cobertura de vidro no desempenho do dessalinizador solar	Registraram que a melhor concentração dos micro-flocos de grafite e óxido de cobre foi de 1%; alcançaram um aumento de produtividade de água 54%. Além disso, a eficiência diária do destilador com o resfriamento da cobertura de vidro foi aumentada de 30% para 49%.
Velmurugan et al. (2018)	Análise experimental e teórica sobre o uso de nadadeiras. Foram utilizadas cinco aletas com altura de 35 mm, comprimento de 900 mm e espessura de 1 mm.	Um aumento de produtividade de 45% é relatado para o destilador solar com aletas.
Zanganeh et al. (2019)	Analisaram a produtividade de água no dessalinizador solar aplicando o nano-revestimento para a tampa de vidro como aprimoramento para o processo de condensação	A produção de condensado de uma superfície de vidro foi aumentada em 23% após nano-revestimento em um ângulo de inclinação da superfície de 50 °.
Kabeel et al. (2019)	Avaliaram o desempenho do dessalinizador solar que apresenta revestimento da bandeja absorvente com tinta preta e nanopartícula de TiO <sub>2</sub> .	As nanopartículas revestidas na placa absorvente aumentaram a temperatura da água aproximadamente 1,5–2,2°C.
Salem et al. (2020)	Influência da integração de uma camada flutuante de esponja nas características de desempenho de um dessalinizador solar do tipo telhado	A produtividade máxima de água foi registrada 4,9 L.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> , houve um aumento de 58,1% comparado ao modelo dessalinizador solar convencional.
Kabeel et al. (2020)	Introduziram experimentos para mostrar o efeito da incorporação de uma mistura de nanopartículas, um material com mudança de fase/ óxido de grafeno nas características do dessalinizador solar	Os resultados indicaram que a produtividade foi aumentada em 41,3%. Além disso, a eficiência térmica diária aumentada cerca de 50,9% para dessalinizador com mistura de material de mudança de fase/ óxido de grafeno.

Fonte: Autores.

## 5. Conclusão

Vários fatores influenciam na produtividade da água proveniente do processo de dessalinização solar, destacando a área da superfície livre da bandeja, temperatura da água de entrada no dessalinizador, ângulo do vidro de cobertura e profundidade da água. A produtividade do dessalinizador solar está diretamente relacionada com parâmetros meteorológicos que não podem ser controlados como a intensidade de radiação solar, a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento. Além disso, a produtividade é maior, quando ocorre a elevação da temperatura inicial da água na bandeja. Verificou-se também, que o rendimento do dessalinizador solar, atinge eficiência satisfatória, quando a inclinação da cobertura do vidro de condensação for igual à latitude do local. O desempenho está associado à condutividade térmica dos materiais utilizados no dessalinizador, uma alta taxa de produtividade pode ser alcançada usando materiais aditivos como uso de aletas e esponjas integradas no dessalinizador, e os refletores também podem aumentar a produtividade. Materiais para isolamento favorecem a boa eficiência, evitando perdas térmicas de calor para o ambiente. Portanto, o estudo dos parâmetros construtivos é determinante para melhorar o desempenho térmico e a produtividade de água do dessalinizador solar.

Recomenda-se para trabalhos futuros a incorporação de pesquisas exploratórias inerente aos tipos de dessalinizadores que utilizam nanofluidos no processo de aumento da condensação do dessalinizador solar, e relatar a metodologia e discussão dos resultados encontrados sobre os parâmetros construtivos e a produtividade dos modelos de dessalinizadores proposta na literatura atualizada. Por fim, sugere-se também a importância de destacar trabalhos desenvolvidos com a utilização de materiais de mudança de fase (PCM) e Plasmon, visto que são tecnologias atualmente desenvolvidas e que proporcionam maior eficiência térmica nos dessalinizadores e baixo custo construtivo.

## Referências

- Abujazar, M. S. S., Fatimah, S., Rakmi, A. R., & Shahrom, M. Z. (2016). The effects of design parameters on productivity performance of a solar still for seawater desalination: A review. *Desalination*, 385, 178-193.
- Abdallah, S., Badran, O., & Abu-Khader, M. M. (2018). Performance evaluation of a modified design of a single slope solar still. *Desalination*, 219(1-3), 222-230.
- Ahmed, H. M., & Alfaylakawi, K. A. (2012). Productivity enhancement of conventional solar stills using water sprinklers and cooling fan. *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 2(3), 168-177.
- Ahmed, F. E., Hashaikeh, R., & Hilal, N. (2019). Solar powered desalination—Technology, energy and future outlook. *Desalination*, 453, 54-76.
- Ahsan, A., Imteaz, M., Thomas, U. A., Azmi, M., Rahman, A., & Daud, N. N. (2014). Parameters affecting the performance of a low cost solar still. *Applied energy*, 114, 924-930.
- Almuhanna, E. A. (2014). Evaluation of single slope solar still integrated with evaporative cooling system for brackish water desalination. *Journal of Agricultural Science*, 6(1), 48.
- Al-Garni, A. Z. (2012). Enhancing the solar still using immersion type water heater productivity and the effect of external cooling fan in winter. *Applied Solar Energy*, 48(3), 193-200.
- Al-Karaghoul, A. A., & Alnaser, W. E. (2016). Experimental comparative study of the performances of single and double basin solar-stills. *Applied Energy*, 77(3), 317-325.
- Al-Hinai, H., Al-Nassiri, M. S., & Jubran, B. A. (2002). Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still. *Energy Conversion and Management*, 43(13), 1639-1650.
- Arunkumar, T., Jayaprakash, R., Denkenberger, D., Ahsan, A., Okundamiya, M. S., Tanaka, H., & Aybar, H. S. (2012). An experimental study on a hemispherical solar still. *Desalination*, 286, 342-348.
- Attia, M. E. H., Driss, Z., Manokar, A. M., & Sathyamurthy, R. (2020). Effect of aluminum balls on the productivity of solar distillate. *Journal of Energy Storage*, 30, 101466.
- Bhattacharyya, A. (2013). Solar still for desalination of water in rural household. *International Journal of Environment and Sustainability*, 2(1), 21-30.
- Elango, T., Kannan, A., & Murugavel, K. K. (2015). Performance study on single basin single slope solar still with different water nanofluids. *Desalination*, 360, 45-51.

- El-Sebaei, A. A., & El-Bialy, E. (2015). Advanced designs of solar desalination systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1198-1212.
- El-Samadony, Y. A. F., & Kabeel, A. E. (2014). Theoretical estimation of the optimum glass cover water film cooling parameters combinations of a stepped solar still. *Energy*, 68, 744-750.
- Gupta, B., Sharma, R., Shankar, P., & Baredar, P. (2016). Performance enhancement of modified solar still using water sprinkler: An experimental approach. *Perspectives in Science*, 8, 191-194.
- Ghoneyem, A., & Ileri, A. (1997). Software to analyze solar stills and an experimental study on the effects of the cover. *Desalination*, 114(1), 37-44.
- Hamed, M. H., Kabeel, A. E., Omara, Z. M., & Sharshir, S. W. (2015). Mathematical and experimental investigation of a solar humidification–dehumidification desalination unit. *Desalination*, 358, 9-17.
- Kabeel, A. E., & El-Agouz, S. A. (2011). Review of researches and developments on solar stills. *Desalination*, 276(1-3), 1-12.
- Kabeel, A. E., Sathyamurthy, R., Sharshir, S. W., Muthumanokar, A., Panchal, H., Prakash, N., & El Kady, M. S. (2019). Effect of water depth on a novel absorber plate of pyramid solar still coated with TiO<sub>2</sub> nano black paint. *Journal of Cleaner Production*, 213, 185-191.
- Kabeel, A. E., Sathyamurthy, R., Manokar, A. M., Sharshir, S. W., Essa, F. A., & Elshiekh, A. H. (2020). Experimental study on tubular solar still using Graphene Oxide Nano particles in Phase Change Material (NPCM's) for fresh water production. *Journal of Energy Storage*, 28, 101204.
- Khalifa, A. J. N., & Ali, M. A. (2015). Indoor tests on the effect of wind speed on still performance. *International Journal of Energy and Environment*, 6(3), 299.
- Khalifa, A. J. N., & Hamood, A. M. (2009). On the verification of the effect of water depth on the performance of basin type solar stills. *Solar Energy*, 83(8), 1312-1321.
- Kumar, S., & Dwivedi, V. K. (2015). Experimental study on modified single slope single basin active solar still. *Desalination*, 367, 69-75.
- Luo, T., Young, R., & Reig, P. (2015). Aqueduct projected water stress country rankings. *Technical Note*.
- Madhukeshwara, N., & Prakash, E. S. (2012). An investigation on the performance characteristics of solar flat plate collector with different selective surface coatings. *International Journal of Energy & Environment*, 3(1).
- Manokar, A. M., Murugavel, K. K., & Esakkimuthu, G. (2014). Different parameters affecting the rate of evaporation and condensation on passive solar still—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 309-322.
- Morse, RN e Read, WRW (1968). Uma base racional para o desenvolvimento de engenharia de um destilador solar. *Energia solar*, 12 (1), 5-17.
- Muftah, A. F., Alghoul, M. A., Fudholi, A., Abdul-Majeed, M. M., & Sopian, K. (2014). Factors affecting basin type solar still productivity: A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 430-447.
- Murugavel, K. K., Chockalingam, K. K., & Srithar, K. (2008). Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still. *Desalination*, 220(1-3), 677-686.
- Murugavel, K. K., Sivakumar, S., Ahamed, J. R., Chockalingam, K. K., & Srithar, K. (2010). Single basin double slope solar still with minimum basin depth and energy storing materials. *Applied energy*, 87(2), 514-523.
- Nafey, A. S., Abdelkader, M., Abdelmotalip, A., & Mabrouk, A. A. (2011). Solar still productivity enhancement. *Energy conversion and management*, 42(11), 1401-1408.
- Nafey, A. S., Abdelkader, M., Abdelmotalip, A., & Mabrouk, A. A. (2012). Enhancement of solar still productivity using floating perforated black plate. *Energy Conversion and Management*, 43(7), 937-946.
- Omara, Z. M., Kabeel, A. E., & Younes, M. M. (2013). Enhancing the stepped solar still performance using internal reflectors. *Desalination*, 314, 67-72.
- Onu, United Nations Environment Programme (2020, Fevereiro). <http://www.unep.org/themes/freshwater.html>.
- Panchal, H. N., & Patel, S. (2017). An extensive review on different design and climatic parameters to increase distillate output of solar still. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 750-758.
- Panchal, H. N. (2015). Enhancement of distillate output of double basin solar still with vacuum tubes. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 27(2), 170-175.
- Prakash, P., & Velmurugan, V. (2015). Parameters influencing the productivity of solar stills—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 49, 585-609.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica* Ed (pp. 3-9). UFSM. [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf).
- Rajaseenivasan, T., & Srithar, K. (2016). Performance investigation on solar still with circular and square fins in basin with CO<sub>2</sub> mitigation and economic analysis. *Desalination*, 380, 66-74.

- Sathyamurthy, R., Kennady, H. J., Nagarajan, P. K., & Ahsan, A. (2014). Factors affecting the performance of triangular pyramid solar still. *Desalination*, 344, 383-390.
- Salem, M. R., Salem, M. R., Higazy, M. G., & Abdrabbo, M. F. (2020). Performance enhancement of a solar still distillation unit: A field investigation. *Solar Energy*, 202, 326-341.
- Selvaraj, K., & Natarajan, A. (2018). Factors influencing the performance and productivity of solar stills-A review. *Desalination*, 435, 181-187.
- Setoodeh, N., Rahimi, R., & Ameri, A. (2011). Modeling and determination of heat transfer coefficient in a basin solar still using CFD. *Desalination*, 268(1-3), 103-110.
- Shalaby, S. M., El-Bialy, E., & El-Sebaei, A. A. (2016). An experimental investigation of a v-corrugated absorber single-basin solar still using PCM. *Desalination*, 398, 247-255.
- Shang, M., Li, N., Zhang, S., Zhao, T., Zhang, C., Liu, C., & Wang, Z. (2017). Full-spectrum solar-to-heat conversion membrane with interfacial plasmonic heating ability for high-efficiency desalination of seawater. *ACS Applied Energy Materials*, 1(1), 56-61.
- Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Marinas, B. J., & Mayes, A. M. (2010). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nanoscience and technology: a collection of reviews from nature Journals*, 337-346.
- Sharshir, S. W., Yang, N., Peng, G., & Kabeel, A. E. (2016). Factors affecting solar stills productivity and improvement techniques: a detailed review. *Applied Thermal Engineering*, 100, 267-284.
- Sharshir, S. W., Peng, G., Wu, L., Yang, N., Essa, F. A., Elsheikh, A. H., & Kabeel, A. E. (2017). Enhancing the solar still performance using nanofluids and glass cover cooling: experimental study. *Applied Thermal Engineering*, 113, 684-693.
- Sharon, H., & Reddy, K. S. (2015). A review of solar energy driven desalination technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1080-1118.
- Singh, H. N., & Tiwari, G. N. (2004). Monthly performance of passive and active solar stills for different Indian climatic conditions. *Desalination*, 168, 145-150.
- Srivastava, P. K., & Agrawal, S. K. (2013). Winter and summer performance of single sloped basin type solar still integrated with extended porous fins. *Desalination*, 319, 73-78.
- Tanaka, H. (2009). Tilted wick solar still with external flat plate reflector: optimum inclination of still and reflector. *Desalination*, 249(1), 411-415.
- Tiwari, A. K., & Tiwari, G. N. (2006). Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition. *Desalination*, 195(1-3), 78-94.
- Tripathi, R., & Tiwari, G. N. (2006). Thermal modeling of passive and active solar stills for different depths of water by using the concept of solar fraction. *Solar energy*, 80(8), 956-967.
- Velmurugan, V., & Srithar, K. (2011). Performance analysis of solar stills based on various factors affecting the productivity—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(2), 1294-1304.
- Vergara, S. C. *Métodos de pesquisa em administração*. Atlas, 2005
- Velmurugan, V., Gopalakrishnan, M., Raghu, R., & Srithar, K. (2018). Single basin solar still with fin for enhancing productivity. *Energy Conversion and Management*, 49(10), 2602-2608.
- Vieira, M., & Zouain, D. (2006). *Pesquisa qualitativa em administração*. (2a ed.), FGV editora.
- Yadav, S., & Sudhakar, K. (2015). Different domestic designs of solar stills: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 718-731.
- Zanganeh, P., Goharrizi, A. S., Ayatollahi, S., & Feilizadeh, M. (2019). Productivity enhancement of solar stills by nano-coating of condensing surface. *Desalination*, 454, 1-9.
- Zheng, H., Chang, Z., Chen, Z., Xie, G., & Wang, H. (2013). Experimental investigation and performance analysis on a group of multi-effect tubular solar desalination devices. *Desalination*, 311, 62-68.
- Zhou, L., Tan, Y., Wang, J., Xu, W., Yuan, Y., Cai, W., & Zhu, J. (2016). 3D self-assembly of aluminium nanoparticles for plasmon-enhanced solar desalination. *Nature Photonics*, 10(6), 393-398.
- Zhu, G., Xu, J., Zhao, W., & Huang, F. (2016). Constructing black titania with unique nanocage structure for solar desalination. *ACS applied materials & interfaces*, 8(46), 31716-31721.
- Zurigat, Y. H., & Abu-Arabi, M. K. (2004). Modelling and performance analysis of a regenerative solar desalination unit. *Applied thermal engineering*, 24(7), 1061-1072.