



# Estudo da aplicação da energia termossolar em processos térmicos de dessalinização da água

*Study of the application of thermosolar energy in thermal water desalination processes*

<sup>1</sup> Gabriel Garcia Bastos de Almeida  

<sup>1</sup> Bruno Santos Nascimento  

<sup>1</sup> Universidade Federal da Bahia

## RESUMO

A escassez global de água potável, agravada por fatores como crescimento populacional e mudanças climáticas, demanda soluções sustentáveis, especialmente em regiões semiáridas. A dessalinização térmica, baseada na evaporação e condensação de águas salobras e marinhas, é uma alternativa promissora, embora de alta demanda energética. A integração com energia solar térmica aproveita a elevada irradiância para suprir o calor necessário, reduzindo o uso de combustíveis fósseis. Este trabalho avalia a viabilidade técnico e o desempenho de um sistema de dessalinização térmica alimentado por energia solar, com aplicação no semiárido baiano. O sistema, baseado na conservação de massa e energia, utiliza dados de irradiância obtidos por piranômetro. A energia captada por dois coletores solares planos é armazenada em um reservatório térmico que alimenta o dessalinizador. Com irradiância média de 4,06 kWh/m<sup>2</sup>/dia e energia útil de 8,12 kWh/dia, o sistema supriu a demanda de 3,34 kWh para evaporar 5 litros de água. As temperaturas operacionais variam de 40 °C a 62 °C e indicam aquecimento suficiente para evaporação subebulicinal. Os resultados demonstram o potencial da energia solar para dessalinização sustentável em regiões tropicais.

## Palavras-chave:

Dessalinização, energia, água.

## ABSTRACT

The global shortage of fresh water, exacerbated by factors such as population growth and climate change, demands sustainable solutions, especially in semiarid regions. Thermal desalination, based on the evaporation and condensation of brackish and seawater, is a promising alternative, albeit energy-intensive. Integration with solar thermal energy takes advantage of the high irradiance to supply the necessary heat, reducing the use of fossil fuels. This study evaluates the technical feasibility and performance of a solar-powered thermal desalination system for use in the semiarid region of Bahia. The system, based on mass and energy conservation, uses irradiance data obtained by a pyranometer. The energy captured by two flat-panel solar collectors is stored in a thermal reservoir that powers the desalination unit. With an average irradiance of 4.06 kWh/m<sup>2</sup>/day and a useful energy of 8.12 kWh/day, the system met the 3.34 kWh required to evaporate 5 liters of water. Operating temperatures range from 40°C to 62°C, indicating sufficient heating for sub-boiling evaporation. The results demonstrate the potential of solar energy for sustainable desalination in tropical regions.

## Keywords:

Desalination, energy, water.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente escassez de água potável constitui um dos principais desafios globais do século XXI, demandando soluções inovadoras, sustentáveis e de largo alcance. Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU), aproximadamente, 2,2 bilhões de indivíduos em todo o mundo carecem de acesso seguro e contínuo a fontes de água potável (ONU, 2021). Esse cenário é agravado por diversos fatores, como o crescimento demográfico exponencial, os processos de urbanização não planejada, a poluição de corpos hídricos e os impactos das mudanças climáticas sobre o regime hidrológico (Panagopoulos, 2021).

Em zonas áridas e semiáridas, onde os recursos hídricos superficiais e subterrâneos são escassos, intermitentes ou contaminados por altos teores de sais dissolvidos e poluentes, torna-se fundamental o desenvolvimento de tecnologias capazes de converter fontes não convencionais de água em alternativas viáveis para o consumo humano, uso agrícola e aplicações industriais (Almeida, 2025). Nesse contexto, a dessalinização de águas salobras e salgadas emerge como uma solução estratégica de alta relevância (Almeida *et al.*, 2024).

A dessalinização consiste na remoção de sais dissolvidos, sólidos em suspensão, compostos orgânicos e outros contaminantes, por meio de processos físico-químicos (Birnhack *et al.*, 2011). Dentre as abordagens tecnológicas existentes, destacam-se os processos por membranas, em especial a osmose reversa, e os processos térmicos, como a destilação multietapas (*MSF - Multi-Stage Flash*), a destilação de múltiplos efeitos (*MED - Multi-Effect Distillation*) e a compressão mecânica de vapor (*MVC - Mechanical Vapor Compression*). Os processos térmicos, embora mais intensivos em energia, apresentam elevada robustez operacional e maior tolerância a águas com alta salinidade e carga orgânica (USBR, 2003).

A dessalinização térmica fundamenta-se nos princípios termodinâmicos da evaporação e condensação, mimetizando o ciclo hidrológico natural em condições controladas (Eke *et al.*, 2020). A água é aquecida até a fase de vapor, separando-se dos sais e outras impurezas e, posteriormente, condensada em estado líquido com elevada pureza. Embora eficazes, tais sistemas apresentam elevado consumo energético, o que pode comprometer sua viabilidade em contextos isolados ou de baixa capacidade financeira, especialmente quando dependem de fontes convencionais baseadas em combustíveis fósseis (Silva *et al.*, 2015).

Diante desse desafio energético, a integração entre sistemas de dessalinização térmica e fontes de energia renovável, particularmente a energia solar térmica, representa uma alternativa promissora. A energia termossolar é obtida através de coletores solares térmicos, como coletores planos, concentradores parabólicos (*parabolic troughs*), discos parabólicos (*dish systems*) e torres centrais heliotérmicas, que convertem a radiação solar incidente em calor útil para processos industriais (Palenzuela *et al.*, 2015). Esse calor pode ser diretamente utilizado no aquecimento da água de alimentação dos dessalinizadores (Schwarzer *et al.*, 2001).

O aproveitamento da energia solar térmica em regiões com alta irradiância solar anual, como zonas costeiras, áridas e desérticas, possibilita a implantação de sistemas descentralizados de dessalinização com baixo impacto ambiental, alta eficiência térmica e considerável autonomia energética (Kabeel; El-Said, 2014). Tais sistemas híbridos são capazes de alcançar eficiências globais superiores a 70%, com redução significativa do custo nivelado de água (*LCOE - Levelized Cost of Water*), principalmente quando associados a estratégias de armazenamento térmico (*TES - Thermal Energy Storage*) que permitem a operação contínua, mesmo em períodos noturnos ou de baixa insolação (Gorjian *et al.*, 2021).

Além disso, a adoção de materiais avançados com alta condutividade térmica e baixa perda energética, aplicados em trocadores de calor, evaporadores e condensadores, tem potencial para elevar a eficiência exérgica dos sistemas de dessalinização térmica (Almeida *et al.*, 2024). A integração de tecnologias inteligentes de monitoramento, controle térmico automatizado e otimização por algoritmos computacionais também contribui para o aprimoramento do desempenho operacional (Schwarzer *et al.*, 2009).

A convergência entre sistemas de dessalinização térmica e energia termossolar representa uma solução tecnicamente viável, economicamente sustentável e ambientalmente adequada, para mitigar a escassez hídrica em regiões vulneráveis (Almeida, 2025). Tal abordagem alia inovação tecnológica, aproveitamento de recursos renováveis e promoção da resiliência hídrica em escala local e global, posicionando-se como uma estratégia-chave no enfrentamento da crise hídrica contemporânea (Silveira *et al.*, 2015).

Nessa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e o desempenho operacional de um protótipo de sistema de dessalinização térmica que será acoplado a uma fonte de energia solar termossolar, visando a sua aplicação em regiões semiáridas do estado da Bahia, Brasil. A investigação envolve a caracterização do recurso solar local, a eficiência do sistema na conversão e aproveitamento da energia térmica e a taxa de produção de água dessalinizada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação do sistema protótipo de dessalinização térmica baseou-se na aplicação dos princípios de balanço de massa e balanço de energia, com o propósito de fornecer dados que subsidiem a validação matemática do sistema. O protótipo em estudo utiliza energia proveniente de um sistema termossolar para o aquecimento da água.

Dessa forma, o calor total fornecido ao sistema ( $Q_T$ ) pode ser determinado pela multiplicação da potência média disponível ( $P_m$ ) pelo tempo de operação ( $t$ ), conforme expresso na Equação (1):

$$Q_T = P_m \cdot t \quad (1)$$

As perdas energéticas do sistema podem ser estimadas com base na Primeira Lei da Termodinâmica, representando o balanço de energia conforme descrito por Hessel *et al.* (2004). Assim, a energia dissipada ou perdida ( $Q_p$ ) é definida pela Equação (2):

$$Q_p = Q_T - (Q_S + Q_L) \quad (2)$$

Na Equação (2),  $Q_S$  e  $Q_L$  correspondem, respectivamente, ao calor sensível, referente ao aquecimento da massa de água no reservatório de armazenamento; e ao calor latente, associado ao processo de evaporação da água que será posteriormente condensada. Essas quantidades são dadas pelas Equações (3) e (4):

$$Q_S = m_t \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \quad (3)$$

$$Q_L = m_v \cdot h_{fg} \quad (4)$$

A eficiência térmica ( $\eta$ ) do sistema pode, então, ser expressa pela Equação (5):

$$\eta = \frac{Q_T - Q_p}{Q_T} \quad (5)$$

Onde:

$Q_p$ : energia de perdas (J);

$P_m$ : potência fornecida (W);

t: tempo de operação (s);

$m_t$ : massa da água (g/s);

$m_v$ : massa de vapor (g/s);

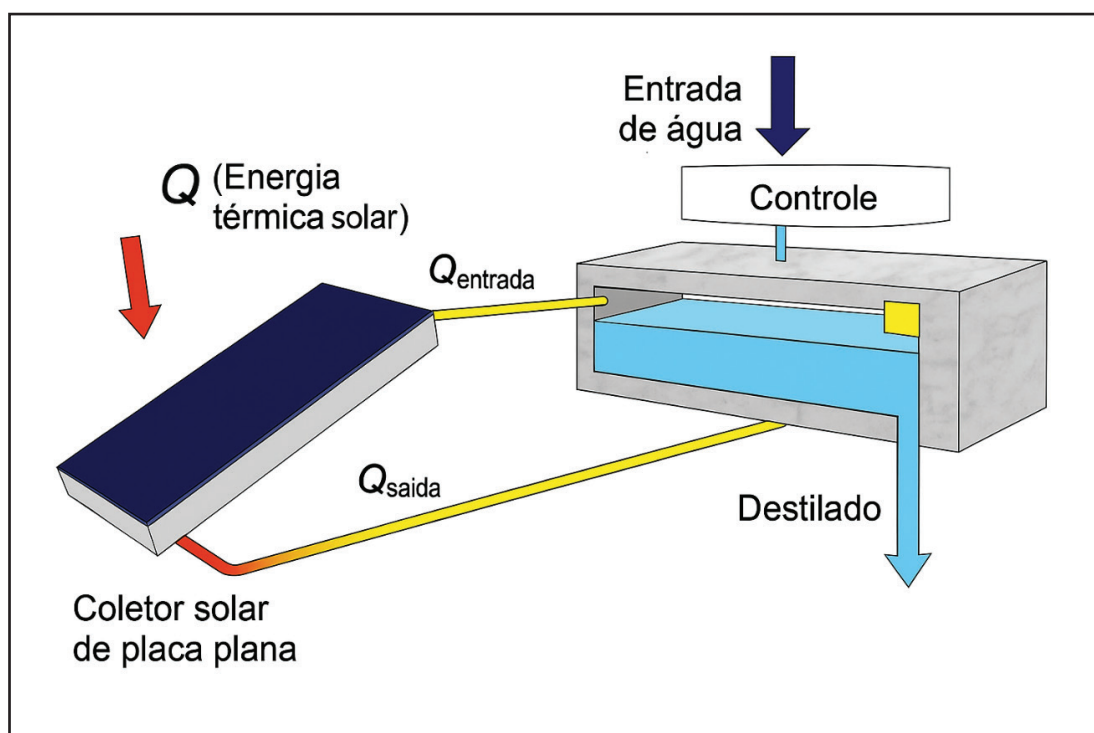
$C_p$ : calor específico da água (cal/g) (4.184 J/kg K);

$(T_f - T_i)$ : diferença de temperatura entre o início e o fim do regime (°C);

$h_{fg}$ : calor latente de evaporação (cal/g) (2.259.000 J/kg a 100° C).

Para promover a integração entre sistemas de dessalinização térmica e fontes de energia renovável, em especial a energia solar térmica, foi desenvolvido um diagrama funcional do sistema proposto (Figura 1). Esse projeto visa à concepção de um protótipo experimental capaz de operar de forma autônoma na região semiárida do estado da Bahia, aproveitando a alta incidência de radiação solar típica da localidade. Com a finalidade de viabilizar a produção sustentável de água potável por meio da conversão da energia solar em calor, será utilizado no processo de evaporação e subsequente condensação da água salobra ou salina.

Figura 1 - Esquema de uma unidade termossolar acoplado a um protótipo de dessalinização de água térmica.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O protótipo foi confeccionado utilizando chapas de aço inoxidável AISI 316 com espessura de 1,2 mm e acabamento superficial tipo 2B. A escolha desse material deve-se à sua elevada resistência à corrosão, atribuída principalmente à presença de molibdênio (teor entre 2% e 3%), o qual confere maior proteção contra agentes agressivos, especialmente em ambientes contendo íons cloreto, como a água do mar.

O tanque destinado ao processo de dessalinização térmica apresenta dimensões internas de 300 mm de largura, 500 mm de comprimento e 150 mm de profundidade. Para minimizar as perdas térmicas durante a operação, o tanque foi alojado em uma estrutura externa confeccionada em madeira de pinho, com dimensões de 400 mm de largura, 600 mm de comprimento e 200 mm de profundidade, além de espessura de parede de 20 mm (Figura 2).

Entre o tanque metálico e o revestimento de madeira, foi inserido um material isolante térmico à base de lã de vidro, com espessura de 30 mm. Esse material foi selecionado por apresentar baixa condutividade térmica (variando entre 0,030 e 0,040 W/m·K), ser classificado como incombustível, possuir origem parcialmente reciclada e ser reciclável, além de apresentar baixo peso específico e facilidade de manuseio durante a instalação.

**Figura 2 - Protótipo de dessalinização térmico construído de aço inox com revestimento de lã de vidro em um caixote de madeira.**

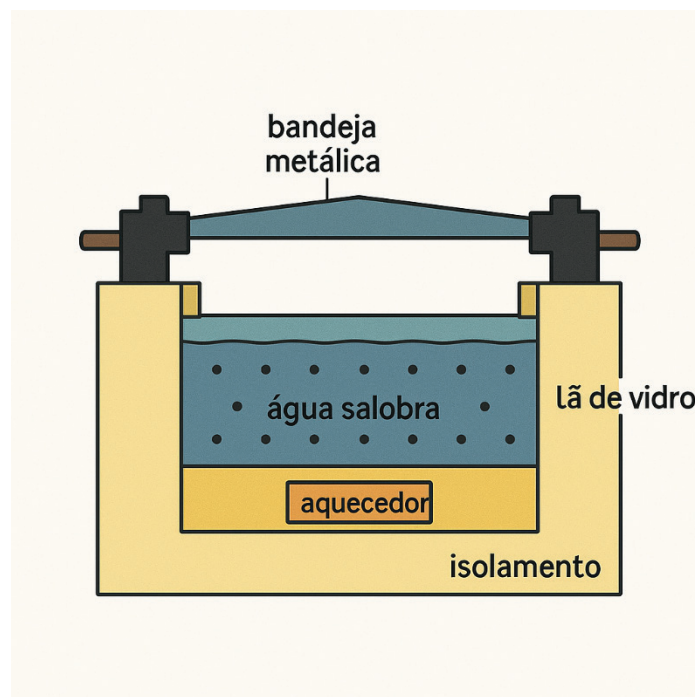


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

O sistema de dessalinização térmica opera por meio do aquecimento da água salobra contida em uma câmara isolada termicamente. Inicialmente, essa água é inserida no reservatório do dessalinizador, onde será submetida a um processo de aquecimento indireto. No presente caso, o aquecimento é promovido por uma tubulação que conduz água quente proveniente de coletores solares térmicos. Essa tubulação atravessa a base do reservatório, transferindo calor para a água salobra, que é, então, gradualmente aquecida até atingir sua temperatura de ebulição (Figura 3).

À medida que a água salobra evapora, o vapor gerado se eleva até a parte superior da câmara, a qual possui uma tampa metálica inclinada. Nessa superfície superior, ocorre o processo de condensação, o vapor de água entra em contato com a tampa mais fria, promovendo a mudança de fase para o estado líquido. Graças ao efeito Coandă, as gotículas de água condensada aderem à superfície da tampa inclinada e, sob a ação da gravidade, escorrem até serem coletadas em canaletas laterais conectadas a tubulações destinadas à água potável. Esse processo permite a separação eficiente dos sais e impurezas contidos na água original, resultando em um produto final de alta pureza adequado para consumo ou outros usos específicos.

Figura 3 - Esquemas da unidade de dessalinização térmica que será acoplada a energia termossolar.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

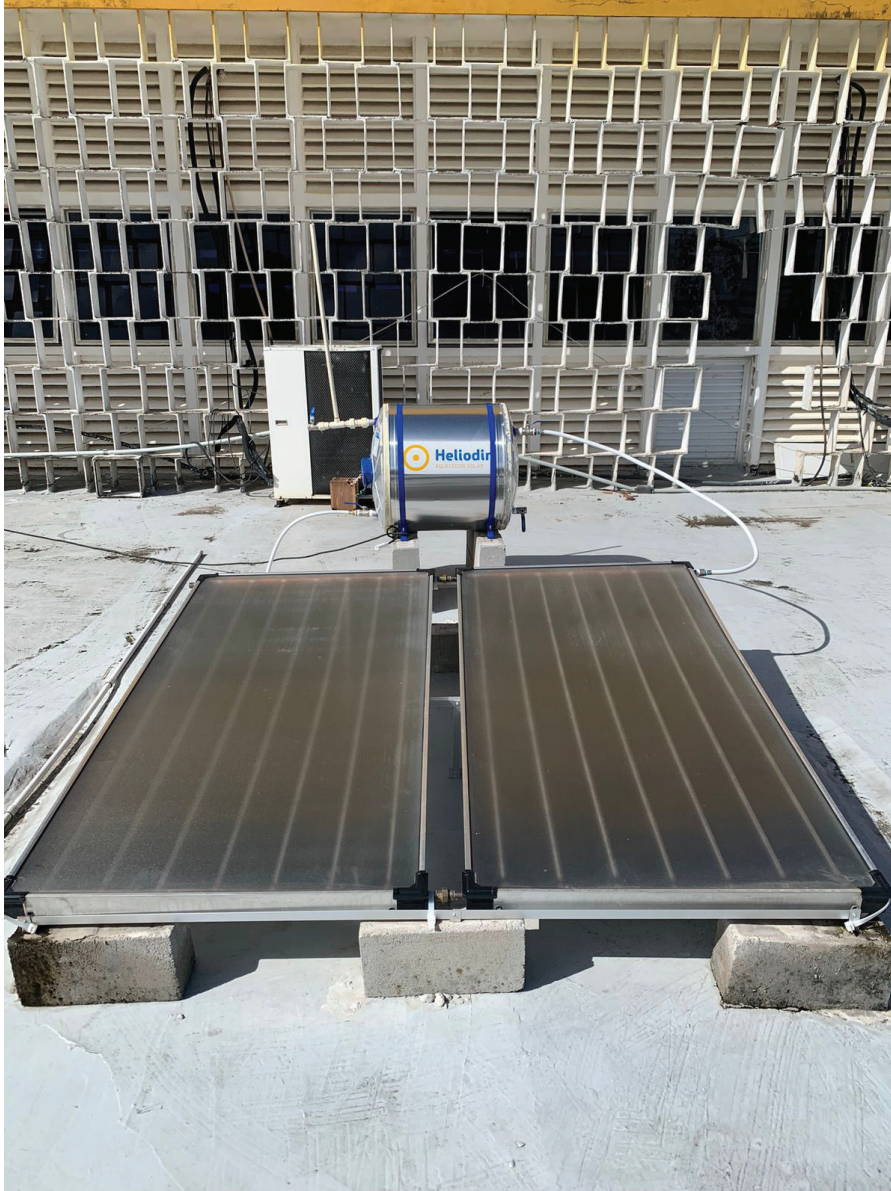
O sistema termossolar consiste em dois coletores solares planos, cada um com dimensões aproximadas de 2 metros de comprimento por 1 metro de largura, instalados em uma base fixa sobre laje. Foram orientadas para o norte geográfico, em conformidade com a localização de Salvador-BA, situada no hemisfério sul, visando à maximização da captação de radiação solar ao longo do ano. A inclinação adotada foi de 10° em relação ao plano horizontal, valor compatível com a latitude local e adequado à otimização da eficiência energética do sistema. Os coletores são projetados para capturar a radiação solar incidente e convertê-la em energia térmica, aquecendo o fluido que circula internamente. A superfície dos coletores é composta por um vidro de cobertura transparente e uma placa absorvedora escura, que favorece a absorção da radiação solar enquanto minimiza perdas térmicas por convecção e radiação (Figura 4).

O fluido aquecido nos coletores é armazenado em um reservatório térmico metálico de 30 litros, posicionado imediatamente atrás dos painéis, que possui isolamento térmico para minimizar perdas por condução e convecção para o ambiente externo. A tubulação de conexão entre os coletores e o reservatório é constituída por materiais resistentes à corrosão e à alta temperatura.

O reservatório térmico é equipado com um sistema de monitoramento interno que permite a aferição contínua da temperatura da água armazenada. Esse controle é realizado por meio de sensores termométricos

estrategicamente posicionados no interior do reservatório, possibilitando a avaliação do grau de aquecimento promovido pela radiação solar captada pelos coletores térmicos ao longo do dia.

Figura 4 - Sistema de energia termossolar com boiler térmico e duas placas solares.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Será empregado um piranômetro modelo MES-200 (Figura 5) para a medição da irradiância solar global incidente na superfície horizontal. O referido instrumento é do tipo termoeletrônico, adequado para aplicações em monitoramento ambiental, estudos de potencial solar e validação de desempenho de sistemas fotovoltaicos. O MES-200 possui faixa de medição de até 2.000 W/m<sup>2</sup>, com sensibilidade calibrada conforme a norma ISO 9060 para piranômetros da classe secundária padrão.

Figura 5 - Piranômetro modelo Mes-200 para medir a radiação solar global.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

### 3 RESULTADOS

A medição da irradiância solar global incidente sobre uma superfície horizontal foi realizada na cidade de Salvador, Bahia, no período de 11 a 17 de maio, às 13 horas locais, empregando um piranômetro modelo MES-200 (Tabela 1). O principal objetivo dessa coleta foi quantificar a densidade de fluxo de radiação solar ( $W/m^2$ ) para caracterização do recurso solar local, informação fundamental para o dimensionamento e otimização de sistemas termossolares. As medições seguiram rigorosamente as diretrizes da norma ISO 9060, garantindo a classificação do equipamento segundo sua exatidão e resposta espectral, assegurando a confiabilidade dos dados obtidos para análises energéticas.



Tabela 1 - Dados de irradiância solar global incidente na superfície horizontal na cidade de Salvador.

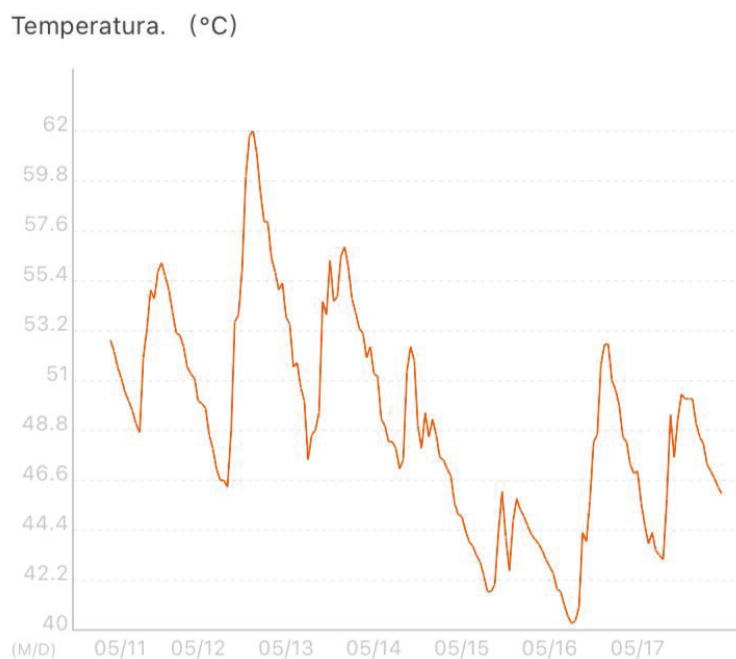
Data/Horário	Medição do Pironômetro
11/05	705 W/m <sup>2</sup>
12/05	759 W/m <sup>2</sup>
13/05	852 W/m <sup>2</sup>
14/05	801 W/m <sup>2</sup>
15/05	536 W/m <sup>2</sup>
16/05	412 W/m <sup>2</sup>
17/05	674 W/m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Durante o período analisado, os valores de irradiância solar global variaram entre 412 W/m<sup>2</sup> (em 16/05) e 852 W/m<sup>2</sup> (em 13/05), refletindo a influência das condições atmosféricas transitórias. O pico observado em 13/05 está associado à presença de céu limpo e elevada incidência solar direta, enquanto os valores mais baixos registrados nos dias 15 e 16 resultaram de cobertura nubosa densa e ocorrência de precipitações. A média aritmética da irradiância semanal foi de, aproximadamente, 677 W/m<sup>2</sup>, evidenciando um elevado potencial solar da localidade para aplicação em sistemas termossolares. Adicionalmente, a média diária estimada de irradiação foi de 4,06 kWh/m<sup>2</sup>/dia, valor compatível com regiões de alta aptidão para aproveitamento energético solar.

Paralelamente, o monitoramento térmico do reservatório indicou uma variação significativa da temperatura da água ao longo dos sete dias analisados (11 a 17 de maio). O gráfico de linha correspondente (Figura 6) apresenta a temperatura (°C) no eixo vertical, com valores oscilando entre 40 °C e 62 °C, enquanto o eixo horizontal representa o tempo cronológico, com marcações diárias no formato mês/dia (M/D). Essa variação térmica reflete diretamente a resposta térmica do sistema à variabilidade da irradiância solar, confirmando a eficiência operacional do coletor termossolar em condições reais de uso.

Figura 6 - Dados históricos de temperatura da água dentro do boiler ao longo do dia.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Ao longo do período observado, nota-se uma oscilação significativa nos valores de temperatura, o que sugere um comportamento térmico cíclico. A presença de picos e vales ao longo da curva indica variações provavelmente associadas a um regime de aquecimento intermitente. A maior temperatura registrada ocorreu no dia 13 de maio, atingindo cerca de 62 °C, o que pode indicar a ocorrência de um evento de aquecimento intenso, devido ao aumento na incidência solar. Por outro lado, a menor temperatura foi registrada próximo ao início do dia 16 de maio, situando-se ligeiramente acima de 40 °C, devido ao dia nublado e chuvoso.

As oscilações de temperatura ao longo do tempo evidenciam um padrão quase diário de aumento e queda térmica, compatível com ciclos de aquecimento e resfriamento naturais. Além disso, observa-se uma leve tendência de declínio nas temperaturas mínimas conforme os dias avançam. Essa característica indica uma perda térmica acumulada no sistema, devido a alterações nas condições ambientais externas, como redução na radiação solar e aumento da umidade ao longo dos dias. Esse tipo de comportamento gráfico é típico em análises de desempenho de sistemas térmicos, como coletores solares de água, processos de aquecimento em reatores químicos, testes com materiais isolantes térmicos ou mesmo monitoramentos em estufas agrícolas e ambientes climatizados.

Com base nas propriedades termodinâmicas da água e nas condições de operação do sistema, foi possível avaliar o dimensionamento energético necessário para a dessalinização térmica de um volume de 5 litros de água, utilizando um protótipo de dessalinizador acoplado a um sistema termossolar.

Inicialmente, considerou-se o aquecimento da água desde a temperatura ambiente de 25 °C até uma temperatura operacional de 60 °C, valor médio definido com base no desempenho típico de coletores solares térmicos de baixa temperatura. Essa faixa visa favorecer o processo de evaporação, mesmo abaixo do ponto de ebulição da água. A energia térmica requerida para esse aquecimento sensível foi calculada, utilizando a equação  $Q=m \cdot c \cdot \Delta T$ , onde  $c$  representa o calor específico da água (4,18 kJ/kg·K),  $m$  a massa (5 kg), e  $\Delta T$  a variação de temperatura (35 K). O resultado foi uma energia de, aproximadamente, 731,5 kJ.

Na etapa seguinte, foi estimada a energia necessária para a vaporização completa do volume de água, adotando-se o calor latente de vaporização da água a 100 °C, igual a 2.260 kJ/kg. Para os 5 kg de água, a energia requerida totalizou cerca de 11.300 kJ. A energia total demandada para o processo, somando o aquecimento sensível e a vaporização, foi de, aproximadamente, 12.031,5 kJ, correspondente a 3,34 kWh.

A disponibilidade energética do sistema termossolar foi analisada com base em uma área coletora de 4 m<sup>2</sup> e uma irradiância solar média diária de 4,06 kWh/m<sup>2</sup>, medida por pirheliômetro (ou piranômetro, conforme o sensor utilizado). A energia solar total incidente sobre a superfície do coletor foi, portanto, de 16,24 kWh por dia. Considerando uma eficiência térmica estimada do coletor de 50%, a energia térmica útil disponível ao sistema corresponde a 8,12 kWh por dia.

A comparação entre a demanda energética (3,34 kWh) e a oferta térmica útil (8,12 kWh) demonstra que o processo é, sob condições ideais, viável em um ciclo diário de radiação solar. No entanto, como a temperatura operacional máxima é limitada a 60 °C, abaixo do ponto de ebulição da água, o processo de evaporação ocorrerá de forma mais lenta, por meio da vaporização subatmosférica ou evaporação forçada.

Esse regime exige atenção a aspectos construtivos e operacionais, como: aumento da área superficial de evaporação para maximizar a taxa de transferência de massa; isolamento térmico eficiente para minimizar perdas de calor ao ambiente; ventilação controlada ou pressão reduzida para favorecer a evaporação; melhoramento da taxa de condensação, por meio de trocadores térmicos adequados e superfícies resfriadas estrategicamente posicionadas. Tais estratégias são fundamentais para garantir o desempenho contínuo do sistema e maximizar a taxa de produção de água dessalinizada sob condições climáticas variáveis.

## 4 DISCUSSÃO

Diferente da proposta avaliada com um estágio de dessalinização acoplado a energia termossolar, Schwarzer *et al.* (2001) apresentaram equações de balanço de energia e massa, com resultados da simulação numérica para a taxa de produção de água dessalinizada, por um sistema solar térmica com uma torre de dessalinização, composta por seis estágios e um sistema de circulação de água através dos estágios para evitar a concentração de sal. Os resultados numéricos calculados com base em dados ambientais mostram que a taxa de produção pode atingir 25 L/m<sup>3</sup>/dia.

Em comparação ao mesmo tamanho de placa solar utilizado neste estudo, Almeida *et al.* (2024) realizaram uma análise técnico-econômica de um protótipo termossolar desenvolvido especificamente para o semiárido nordestino. Seus resultados indicam que, com 6 estágios do dessalinizador, pode-se obter 60 litros/dia de água dessalinizada, em uma área de coletores de 4 m<sup>2</sup>. A produção diária de água potável está diretamente ligada à intensidade de radiação solar, nesse caso, com valores de 6 a 7 kWh/m<sup>2</sup>.

Nesse contexto, Reif e Alhalabi (2015) discutiram os principais desafios e oportunidades relacionados à dessalinização por energia solar térmica, destacando limitações associadas à eficiência dos coletores solares e às perdas térmicas nos sistemas. Eles enfatizam a relevância do uso de estratégias de armazenamento térmico e de materiais avançados para garantir a operação contínua dos dispositivos, além de apontar a necessidade de redução dos custos para que essa tecnologia se torne economicamente competitiva. Apesar desses entraves, os autores reconhecem o potencial sustentável da dessalinização solar para suprir demandas hídricas em regiões remotas e com escassez de recursos.

De modo convergente, Ullah e Rasul (2018) conduziram uma revisão abrangente sobre os avanços em tecnologias de dessalinização baseadas em energia solar térmica, destacando configurações como a destilação por múltiplos estágios (MSF) e sistemas com coletores solares integrados. Embora persistam desafios relacionados à eficiência energética, custos de implantação e sustentabilidade operacional, os autores ressaltam o elevado potencial dessas soluções para mitigar a escassez hídrica em áreas de alta insolação, desde que acompanhadas de inovações técnicas que promovam melhor desempenho e viabilidade econômica.

Adicionalmente, a seleção de materiais desempenha papel fundamental na eficiência dos sistemas térmicos de dessalinização. Silva *et al.* (2015) investigaram experimentalmente o desempenho térmico de bandejas confeccionadas em aço inoxidável, alumínio e cobre, em uma torre de dessalinização com fonte de calor controlada. Os resultados evidenciaram que o cobre apresentou a maior condutividade térmica, refletida em maior taxa de evaporação e rendimento de água destilada, seguido pelo alumínio com desempenho intermediário, enquanto o aço inoxidável, apesar de sua durabilidade e resistência à corrosão, apresentou menor eficiência térmica. Dessa forma, o estudo destaca a importância da escolha criteriosa dos materiais para otimização da transferência de calor e do desempenho global do sistema.

Pesquisas realizadas por Schwarzer *et al.* (2009) descreveram o desenvolvimento de um sistema solar de dessalinização com recuperação de calor, baseado em um destilador multiefeito que reaproveita o calor latente de condensação em múltiplos estágios, elevando significativamente a eficiência energética do processo. Testes experimentais indicaram uma produção de até 6 litros de água destilada por metro quadrado por dia, superando a *performance* dos destiladores solares convencionais. Esses resultados confirmam a viabilidade técnica e a sustentabilidade ambiental da tecnologia, especialmente para aplicação descentralizada em regiões áridas e isoladas.

Moharram *et al.* (2021) realizaram uma análise técnico-econômica de uma planta integrada de energia solar concentrada (CSP) com dessalinização térmica, avaliando seu desempenho e custos. O estudo mostrou que o sistema é tecnicamente viável e economicamente competitivo em regiões com alta irradiação solar,

oferecendo uma solução sustentável para a produção simultânea de energia elétrica e água potável em áreas com escassez hídrica.

As investigações de Cunha e Pontes (2022) analisaram a integração de uma planta de dessalinização com energia solar térmica no semiárido brasileiro, demonstrando a viabilidade técnica e sustentável do sistema em regiões com alta irradiação solar. Por meio de modelos computacionais, avaliou-se a eficiência da conversão da energia solar térmica para dessalinização, destacando a redução do consumo energético convencional e o fornecimento contínuo de água potável. O estudo evidenciou uma solução promissora para mitigar a escassez hídrica e diversificar a matriz energética em áreas áridas.

Além disso, um mesmo protótipo de dessalinização térmica em aço inoxidável, com isolamento em lã de vidro e aquecimento por resistência elétrica, demonstrou capacidade de produzir água potável conforme os padrões do Ministério da Saúde, alcançando eficiência térmica superior a 35% e rendimento prático de 0,302 L em duas horas, abaixo da avaliação teórica de 0,52 L para 40% de eficiência, segundo estudos realizados por Almeida (2025). A redução no desempenho deveu-se ao acúmulo de sais na resistência, exigindo manutenção frequente. Apesar das limitações de escala e energia, os resultados indicam viabilidade para uso no semiárido, recomendando-se melhorias como ampliação do sistema, isolamento térmico aprimorado, trocadores de calor e controle automatizado.

## **5 CONCLUSÕES**

Com base na análise quantitativa dos dados experimentais obtidos através de medições sistemáticas de irradiância solar global e temperatura operacional do sistema termossolar instalado em Salvador-BA, conclui-se, fundamentado em princípios termodinâmicos e energéticos, que a região apresenta condições ambientais favoráveis para a implementação de sistemas de aquecimento solar. Tais sistemas são adequados para aplicações em processos térmicos de dessalinização em pequena escala.

A média diária da irradiância solar global medida, em torno de 4,06 kWh/m<sup>2</sup>/dia, aliada à energia térmica útil estimada em 8,12 kWh/dia para uma área coletora de 4 m<sup>2</sup>, evidencia a viabilidade energética e a capacidade do sistema em suprir a demanda térmica requerida. A caracterização térmica do reservatório térmico revelou um perfil de aquecimento diretamente correlacionado às variações da radiação solar incidente, atingindo uma temperatura máxima operacional de 62 °C. Essa temperatura é suficiente para promover a evaporação da água no sistema, essencial para o processo de dessalinização térmica.

A energia térmica necessária para a evaporação de 5 litros de água foi calculada em, aproximadamente, 3,34 kWh, valor inferior à energia térmica útil disponível, garantindo, assim, a possibilidade de realizar o processo completo de dessalinização em um único ciclo diário, mesmo considerando eficiências moderadas do sistema.

Adicionalmente, a forte correlação estatística entre as medições de irradiância solar e o comportamento térmico do sistema valida a metodologia experimental empregada, ressaltando a importância da análise integrada desses parâmetros para o correto dimensionamento e avaliação do desempenho de tecnologias solares térmicas. Entretanto, o regime térmico subbulicional, caracterizado por temperaturas inferiores a 100 °C, impõe restrições operacionais que demandam um projeto cuidadoso dos componentes do evaporador e do condensador, a fim de otimizar a eficiência do aproveitamento do vapor gerado.

Dessa forma, os resultados experimentais corroboram a utilização da energia solar como uma fonte energética viável e sustentável para processos térmicos de dessalinização em pequena escala, além de fornecer subsídios técnicos essenciais para o aprimoramento do projeto, operação e expansão de sistemas solares térmicos em regiões tropicais com características climáticas semelhantes.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. G. B. Protótipo de pequena escala de dessalinização térmica de água salgada para o semiárido nordestino brasileiro. **Cadernos UniFOA**, v. 20, n. 55, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.47385/cadunifoa.v20.n55.5397>. Acesso em: 15/05/2025.
- ALMEIDA, G. G. B. et al. Estudo de viabilidade técnico-econômica de protótipo de dessalinização termossolar para o semiárido nordestino. **Cadernos UniFOA**, v. 19, n. 54, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.47385/cadunifoa.v19.n54.5046>. Acesso em: 11/05/2025.
- BIRNHACK, L. et al. Fundamental chemistry and engineering aspects of post-treatment processes for desalinated water—A review. **Desalination**, v. 273, n. 1, p. 6-22, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.011>. Acesso em: 15/05/2025.
- CUNHA, D. P. S.; PONTES, K. V. Desalination plant integrated with solar thermal energy: a case study for the Brazilian semi-arid. **Journal of Cleaner Production**, v. 331, p. 129943, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129943>. Acesso em: 14/05/2025.
- EKE, J. et al. The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity. **Desalination**, v. 495, p. 114633, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114633>. Acesso em: 15/05/2025.
- HESSEL, V. et al. Chemical micro process engineering: fundamentals, modelling and reactions. **John Wiley & Sons**, 2004. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=C9VnUZjTC-gC&oi=fnd&pg=PR5&dq=HESSEL,+V.+et+al.+Chemical+micro+process+engineering:+fundamentals,+modelling+and+reactions.+John+Wiley+%26+Sons,+2004&ots=nywJwyN6NC&sig=SpRG4VWBRCIPKRCzZnRAOGpA7aA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=HESSEL%2C%20V.%20et%20al.%20Chemical%20micro%20process%20engineering%3A%20fundamentals%2C%20modelling%20and%20reactions.%20John%20Wiley%20%26%20Sons%2C%202004&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=C9VnUZjTC-gC&oi=fnd&pg=PR5&dq=HESSEL,+V.+et+al.+Chemical+micro+process+engineering:+fundamentals,+modelling+and+reactions.+John+Wiley+%26+Sons,+2004&ots=nywJwyN6NC&sig=SpRG4VWBRCIPKRCzZnRAOGpA7aA&redir_esc=y#v=onepage&q=HESSEL%2C%20V.%20et%20al.%20Chemical%20micro%20process%20engineering%3A%20fundamentals%2C%20modelling%20and%20reactions.%20John%20Wiley%20%26%20Sons%2C%202004&f=false). Acesso em: 15/05/2025.
- GORJIAN, S. et al. Performance evaluation and economics of a locally-made stand-alone hybrid photovoltaic-thermal brackish water reverse osmosis unit. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 2, p. 100078, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100078>. Acesso em: 18/05/2025.
- KABEEL, A. E.; EL-SAID, E. M. S. Applicability of flashing desalination technique for small scale needs using a novel integrated system coupled with nanofluid-based solar collector. **Desalination**, v. 333, n. 1, p. 10-22, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.11.021>. Acesso em: 13/05/2025.
- MOHARRAM, N. A. et al. Techno-economic analysis of a combined concentrated solar power and water desalination plant. **Energy Conversion and Management**, v. 228, p. 113629, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113629>. Acesso em: 12/05/2025.
- ONU. WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: five years into the SDGs**. World Health Organization, 2021. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=esH7EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA6&dq=ONU.+WORLD+HEALTH+ORGANIZATION%3B+UNITED+NATIONS+CHILDREN%27S+FUND.+Progress+on+household+drinking+water,+sanitation+and+hygiene+2000-2020:+five+years+into+the+SDGs.+World+Health+Organization,+2021&ots=6fAA5A3SO\\_&sig=Vb0Isf4TaKcZdy6BLpgAVJv5PEM&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=esH7EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA6&dq=ONU.+WORLD+HEALTH+ORGANIZATION%3B+UNITED+NATIONS+CHILDREN%27S+FUND.+Progress+on+household+drinking+water,+sanitation+and+hygiene+2000-2020:+five+years+into+the+SDGs.+World+Health+Organization,+2021&ots=6fAA5A3SO_&sig=Vb0Isf4TaKcZdy6BLpgAVJv5PEM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 11/05/2025.

PALENZUELA, P. et al. Characterisation of the coupling of multi-effect distillation plants to concentrating solar power plants. **Energy**, v. 82, p. 986-995, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.109>. Acesso em: 09/05/2025.

PANAGOPOULOS, A. Water-energy nexus: desalination technologies and renewable energy sources. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 17, p. 21009-21022, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/S11356-021-13332-8>. Acesso em: 10/05/2025.

REIF, John H.; ALHALABI, Wadee. Solar-thermal powered desalination: Its significant challenges and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 152-165, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.065>. Acesso em: 10/05/2025.

SILVA, M. E. V. et al. Experimental study of tray materials in a thermal desalination tower with controlled heat source. **Desalination**, v. 374, p. 38-46, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.07.013>. Acesso em: 16/05/2025.

SILVEIRA, A. P. P. et al. **Dessalinização de águas**. Oficina de Textos, 2015. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=SWWzCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=SILVEIRA,+A.+P.+P.+et+al.+Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%A1guas.+Oficina+de+Textos,+2015.+&ots=eE5atVHJyn&sig=HhAVok19C3vZ3lhZXcCLjPCRhsw&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=SWWzCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=SILVEIRA,+A.+P.+P.+et+al.+Dessaliniza%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%A1guas.+Oficina+de+Textos,+2015.+&ots=eE5atVHJyn&sig=HhAVok19C3vZ3lhZXcCLjPCRhsw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 17/05/2025.

SCHWARZER, K. et al. A new solar desalination system with heat recovery for decentralised drinking water production. **Desalination**, v. 248, n. 1-3, p. 204-211, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.056>. Acesso em: 17/05/2025.

SCHWARZER, K. et al. Solar thermal desalination system with heat recovery. **Desalination**, v. 137, n. 1-3, p. 23-29, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00200-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00200-4). Acesso em: 15/05/2025.

ULLAH, Ihsan; RASUL, Mohammad G. Recent developments in solar thermal desalination technologies: a review. **Energies**, v. 12, n. 1, p. 119, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en12010119>. Acesso em: 16/05/2025.

USBR. Desalting Handbook for Planners. 3rd Edition. Desalination and Water Purification Research and Development **Report #72**. Denver, CO: United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Water Treatment Engineering and Research Group. 2003. Disponível em: <https://www.usbr.gov/research/dwpr/reportpdfs/report072.pdf>. Acesso em: 18/05/2025.