

Protótipo de pequena escala de dessalinização térmica de água salgada para o semiárido nordestino brasileiro

Small-scale prototype of saltwater thermal desalination for the brazilian northeast semi-arid

¹ Gabriel Almeida  

¹ Universidade Federal da Bahia

RESUMO

Atualmente, um dos principais desafios do mundo é garantir o fornecimento de água potável, já que sua falta afeta muitas regiões ao redor do mundo. As áreas áridas, devido à carência de recursos hídricos superficiais e à escassez de chuvas, são as mais atingidas. O crescimento populacional, o avanço do turismo, a agricultura, a industrialização, entre outros fatores, ressaltam a demanda crescente por água de boa qualidade. Nessa perspectiva, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de um protótipo de dessalinização para aplicação na região semiárida da Bahia, Brasil. Para a realização da pesquisa, foi desenvolvido um protótipo de dessalinização térmica de água, de aço inoxidável, utilizando uma resistência elétrica, no qual foram medidas as propriedades físico-químicas da água, antes e depois da dessalinização e o seu rendimento ao longo do tempo. Os resultados demonstraram que o protótipo com um revestimento isolante de lã de vidro consegue obter uma eficiência maior que 35%, além de conseguir dessalinizar a água deixando-a dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo governo brasileiro. Conclui-se que protótipos de dessalinização térmicos podem ser uma das alternativas de levar água de qualidade para a população que vive nas regiões semiáridas do Brasil.

Palavras-chave:

Dessalinização, água doce, água salgada.

ABSTRACT

Currently, one of the world's main challenges is to ensure the supply of drinking water, since its lack affects many regions around the world. Arid areas, due to the lack of surface water resources and the scarcity of rainfall, are the most affected. Population growth, the advancement of tourism, agriculture, industrialization, among other factors, highlight the growing demand for good quality water. In this perspective, this study aims to evaluate the efficiency of a desalination prototype for application in the semi-arid region of Bahia, Brazil. To carry out the research, a stainless steel thermal water desalination prototype was developed using an electrical resistance, in which the physical and chemical properties of the water were measured, before and after desalination, as well as its performance over time. The results demonstrated that the prototype with an insulating glass wool coating can achieve an efficiency greater than 35%, in addition to being able to desalinate water within the potability standards established by the Brazilian government. It is concluded that thermal desalination prototypes can be one of the alternatives for bringing quality water to the population living in the semi-arid regions of Brazil.

Keywords:

Desalination, fresh water, salt water.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos maiores desafios do mundo é o fornecimento de água potável, pois sua escassez afeta diversas áreas ao redor do mundo (Panagopolos, 2021). As regiões áridas, devido à falta de recursos hídricos superficiais e à escassez de chuvas, são as mais impactadas. O aumento populacional, o turismo em expansão, a agricultura, a industrialização, entre outros fatores, evidenciam a crescente demanda por água de qualidade (Cavalcante *et al.*, 2019).

No Brasil, a área mais afetada pelo problema de abastecimento de água potável é o semiárido, caracterizado por altas temperaturas, baixa variação térmica ao longo do ano, baixa umidade relativa do ar e longos períodos de seca (Silva; Sharqawy, 2020). Nessa região, os recursos hídricos disponíveis são limitados a águas subterrâneas, que, ao entrarem em contato prolongado com rochas cristalinas no nordeste brasileiro, adquirem propriedades salinas, tornando-se águas salobras (Cunha; Pontes, 2022).

De acordo com a Resolução Conama nº 357 (BRASIL, 2005), a classificação das águas varia conforme a concentração de sais dissolvidos: águas doces apresentam salinidade de até 0,05% (500 mg/L); águas salobras, entre 0,05% e 3,0% (500 mg/L a 30.000 mg/L) e; águas salgadas, superior a 3,0% (acima de 30.000 mg/L). Dessa forma, os mananciais da região semiárida frequentemente apresentam águas salobras, com salinidade que podem ultrapassar os 2% (2.000 mg/L), exigindo um processo de dessalinização para torná-las adequadas ao consumo humano (Pessoa *et al.*, 2022).

A dessalinização térmica é a tecnologia mais antiga para purificar água salgada ou salobra. Muitos estudos investigam esse método que utiliza evaporação e condensação para obter água potável (Curto *et al.*, 2021). A dessalinização térmica não só contribui para a segurança hídrica, mas também oferece uma alternativa sustentável ao tratamento convencional de água, especialmente, quando combinada com fontes de energia renováveis, ajudando a mitigar os impactos das mudanças climáticas e promovendo o uso responsável dos recursos hídricos globais (Cunha; Pontes, 2022).

Um sistema de destilação solar integrado com um concentrador solar de calha parabólica e um trocador de calor do tipo vácuo com técnica de filme descendente foi desenvolvido e avaliado por Hosseini *et al.* (2018). Sua produção máxima de água dessalinizada foi registrada em 1,5 kg/m²/dia com uma radiação solar em média de 1.227,68 W/m² sob a pressão de vácuo do trocador de calor de 0,5 bar. Conforme esses resultados, as maiores eficiências energéticas e exergéticas foram obtidas com 60,98% e 56,80%, respectivamente (Hosseini *et al.*, 2018).

Outros sistemas de dessalinização solar autônomo de bacia tripla (TBSS) foram avaliados, os quais consistem, principalmente, em um destilador solar de vidro de bacia tripla, arranjo de resfriamento de tampa, concentrador de prato parabólico (PDC) e painel fotovoltaico (PV). O rendimento máximo de água dessalinizada girou em torno de 16,94 kg/m²/dia, obtido para TBSS com concentrador, resfriamento da tampa e carvão nas aletas. (Srithar *et al.*, 2016).

Um protótipo em pequena escala da tecnologia de dessalinização *flash* foi estudado no Egito, com o efeito de diferentes temperaturas da água de alimentação e da água de resfriamento de entrada no desempenho do sistema, no qual obteve-se uma produção de água doce em média de até 7,7 l/m²/dia, nas suas condições de operação. A eficiência do sistema pela relação de produção obtida (GOR) com o horário do dia teve um valor de 1,058, demonstrando que a área da coleta do aquecedor solar de água é considerada um fator significativo para a redução do custo de produção de água dessalinizada (Kabeel; El-Said, 2014).

A dessalinização térmica enfrenta desafios significativos relacionados à sua eficiência e à perda de calor nos protótipos de dessalinização. A principal dificuldade está na necessidade de grandes quantidades de

energia térmica para separar o sal da água, o que pode tornar o processo energeticamente ineficiente e caro (Aly; El-Figi, 2003). Nos sistemas de múltiplos efeitos (MED) e destilação por compressão de vapor (MVC), por exemplo, há perdas de calor inevitáveis durante as etapas de transferência térmica, o que reduz a eficiência geral do processo. Essas perdas podem ser exacerbadas por fatores, como o *design* do sistema, a qualidade dos materiais usados e a gestão inadequada da energia térmica. Além disso, a falta de tecnologias avançadas para recuperar e reutilizar o calor gerado durante a operação também contribui para a baixa eficiência (Qiblawey; Banat, 2008).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de um protótipo de dessalinização para aplicação na região semiárida da Bahia, Brasil. Também foram analisadas as propriedades físico-químicas da água antes e após o processo de dessalinização, verificando-se a conformidade com os padrões de potabilidade. As medições foram realizadas em triplicata para garantir a precisão dos resultados, permitindo a avaliação da variabilidade e a redução de erros experimentais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A modelagem do sistema do protótipo de dessalinização térmico foi de balanço de massa e balanço de energia, com objetivo de se obter dados que possam corroborar a validação matemática do sistema. O protótipo de dessalinização térmico estudado teve a água aquecida com energia elétrica, ou seja, uma resistência elétrica de banho-maria com potência de 1.500 W 220 V. Esse modelo é caracterizado como resistor puro, pois só existe uma resistência. A potência média (P_m) do sistema é definida pela multiplicação da voltagem eficaz (V_{ef}) com a corrente eficaz (I_{ef}), fornecida pelo multímetro, Eq. (1).

$$P_m = V_{ef} \cdot I_{ef} \quad (1)$$

O calor que entra no experimento ou calor total (Q_T) é a potência média (P_m), multiplicado pelo tempo de operação (t), Eq. (2)

$$Q_T = P_m \cdot t \quad (2)$$

A energia perdida do sistema pode ser calculada pelo balanço de energia, ou seja, a 1ª Lei da Termodinâmica (HESSEL *et al.*, 2004). Assim, a energia de perdas Q_p é definida por:

$$Q_p = Q_T - (Q_S + Q_L) \quad (3)$$

Na qual Q_S e Q_L representam o calor sensível (aquecimento da água no tanque de armazenamento) Eq. (4) e o calor latente (evaporação da água a ser condensada) Eq. (5), respectivamente.

$$Q_S = m_i \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \quad (4)$$

$$Q_L = m_v \cdot h_{fg} \quad (5)$$

A eficiência (η) térmica do sistema pode ser expressa pela Eq. (6)

$$\eta = \frac{Q_T - Q_p}{Q_T} \quad (6)$$

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).

Diversos estudos ao redor do mundo investigam protótipos de dessalinização térmica da água do mar, com foco na otimização do processo e no aumento da eficiência energética. Pesquisas como as de Silva *et al.* (2015), Bahrami *et al.* (2019) e Ketabchi *et al.* (2019) analisam o desempenho de sistemas baseados nas tecnologias MED e MSF, algumas das quais integradas a fontes de energia renovável, como a energia solar, para reduzir o consumo energético e aumentar a sustentabilidade do processo. A partir dessas análises, Gorjian *et al.* (2021) estimaram que a eficiência térmica (η) desses sistemas pode variar entre 30% e 50%, dependendo das condições operacionais e do grau de otimização dos equipamentos utilizados.

Para o desenvolvimento do protótipo, foram escolhidas as chapas de aço inoxidável 316 de 1,2 mm com acabamento 2B, devido a sua resistência à corrosão, pois contém molibdênio, cerca de 2-3%, que melhora significativamente a resistência à corrosão, especialmente em ambientes com cloretos, como água salgada. As dimensões internas do tanque de dessalinização são de 300 mm de largura, 500 mm de comprimento e 150 mm de profundidade.

Foi introduzido, na parte inferior do tanque, uma resistência elétrica de banho-maria, com uma potência de 1.500 W e 220 V. Para revestir esse tanque e evitar a perda de calor, foi construída uma caixa de madeira de pinho com as dimensões de 40 cm de largura, 60 cm de comprimento, 20 cm de profundidade e espessura de 2 cm. Entre o tanque de inox e o caixote de madeira, foi utilizado um isolamento térmico, constituído de lã de vidro com espessura de 3 cm, que tem uma baixa condutividade térmica, geralmente entre 0,030 a 0,040 W/m.K. Possui uma boa resistência ao fogo, pois é incombustível; é um material sustentável, pois é produzido com materiais reciclados e é reciclável, tornando-o uma escolha mais ecológica, leve e fácil de manusear.

O sistema de coletor e bandeja também foi fabricado com chapas de aço inoxidável 316 2B, para minimizar as perdas de calor para o ambiente, com as seguintes dimensões: 530 mm de comprimento, 300 mm de largura e 50 mm de altura. Há duas calhas no perfil, em que ambas as bandejas servem para o escoamento do condensado (Figura 1) e todo o sistema é vedado com silicone para evitar a perda de vapor.

Figura 1 - Protótipo de dessalinização térmico construído de aço inox com revestimento de lã de vidro em um caixote de madeira.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os testes foram realizados na cidade de Salvador-BA, em um laboratório na Universidade Federal da Bahia (UFBA), com ambiente controlado com água salgada, no intuito de testar a capacidade térmica do sistema e sua produção de água. Foram utilizadas provetas graduadas para medir a produção de água dessalinizada do protótipo, sendo datados todos os tempos decorridos do processo.

As análises das propriedades físico-químicas da água salgada foram realizadas em todas as etapas do processo, assim como as medições da água dessalinizada, com o objetivo de verificar a conformidade com os parâmetros de potabilidade. Para a obtenção de dados mais precisos e confiáveis, minimizando erros experimentais e avaliando a variabilidade dos resultados, todas as medições foram conduzidas em triplicata. Foi utilizado um medidor de salinidade de bolso da marca AKSO, capaz de aferir os seguintes parâmetros: pH na faixa de 2,00 a 16,00; condutividade elétrica variando de 0,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 100,0 mS/cm ; salinidade entre 0,0 ppm e 66,0 ppt; e temperatura de 0°C a 120°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros e padrões de qualidade da água para consumo humano no Brasil são regulamentados pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), com o objetivo de preservar a saúde pública e garantir que a água seja segura e adequada para consumo. De acordo com os critérios avaliados pelo medidor AKSO, a água deve apresentar um pH na faixa de 6,0 a 9,5. A condutividade elétrica não pode exceder o limite máximo de 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Embora não haja um limite específico para a salinidade na Portaria vigente, esse parâmetro é avaliado indiretamente por meio da condutividade elétrica e dos sólidos totais dissolvidos (STD), cujo valor máximo permitido é de 1.000 ppm. Quanto à temperatura, não há um limite determinado, mas recomenda-se que a água destinada ao consumo humano esteja entre 15°C e 25°C, para manter sua potabilidade (Tabela 1) (BRASIL, 2021).

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas das águas destinadas ao consumo humano de acordo com o Ministério da Saúde do Brasil.

MEDIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL					
Tipo de água	pH	Condutividade	Salinidade	STD	Temperatura
Água para consumo humano	6,0 - 9,5	> 1.500 µS/cm	-	> 1.000 ppm	15° C - 25° C

Fonte: Elaborado pelo autor.

A modelagem do sistema do protótipo de dessalinização térmica foi realizada com base nas equações previamente apresentadas. O sistema utiliza uma resistência elétrica submersa do tipo banho-maria, com potência nominal de 1.500 W, tensão de operação de 220 V e capacidade para aquecer até 10 litros de água. O tempo de operação foi definido em 120 minutos, partindo de uma temperatura inicial da água de 25 °C e visando atingir uma temperatura final de 100 °C. Para os cálculos, considerou-se o ponto de ebulição da água, o calor específico da água igual a 4.184 J/kg·K e o calor latente de vaporização de 2.259.000 J/kg a 100 °C, conforme dados de Hessel et al. (2004). Foi possível determinar uma produção estimada em cerca de 3,39 litros de água potável, contudo esse valor considera um sistema com 100% de eficiência, quando foi estabelecido 40%, tendo um valor de produção de água potável de 0,52 litros de água dessalinizada, devido às perdas de calor do sistema.

Para confrontação dos resultados da modelagem realizada, foram realizados três testes com água salgada no protótipo de dessalinização, com o objetivo de testar a capacidade térmica do sistema e a produção de água real. No primeiro teste, o caixote de dessalinização de aço inox não teve revestimento térmico, de forma a obter dados sobre a perda de calor e sua eficiência. Foram introduzidos 10 litros de água salgada no tanque de dessalinização, antes da operação do sistema, sendo realizada a análise físico-química da água salgada para conhecer suas propriedades e características com o medidor de bolso da AKSO. Após duas horas de experimento, foi possível coletar 170 ml de água dessalinizada. Essa água também passou por análise físico-química, com o medidor de bolso da AKSO, para se conhecer suas propriedades (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise das propriedades físico-químicas das águas salgadas e dessalinizadas do primeiro teste.

Tipo de água	pH	Condutividade	Salinidade	STD	Temperatura
Água salgada antes do processo de dessalinização	7,77	59,7 mS/cm	3,66 %	29,6 ppt	26,2° C
Água salgada após o processo de dessalinização	7,53	81,3 mS/cm	4,90 %	40,2 ppt	25,5° C
Água dessalinizada do protótipo	5,93	1.041 µS/cm	0,05 %	556 ppm	25,0° C

Fonte: Elaborado pelo autor.

No tocante à eficiência térmica do primeiro teste do sistema com a água salgada, com o caixote de dessalinização de aço inox sem o revestimento térmico, foi possível determinar uma eficiência de, aproximadamente, 28,1%. (Schwarzer et al., 2001). Foi obtida uma produção de 420 ml de água dessalinizada, pelo protótipo de dessalinização térmico com revestimento de poliuretano e com resistência elétrica de 2.000 W de potência.

No segundo teste realizado, o protótipo de aço inox foi revestido com um isolante térmico de lã de vidro em um caixote de madeira. Foram, novamente, inseridos 10 litros de água salgada e realizado as medições físico-químicas antes do funcionamento com o medidor de bolso da AKSO. Ao final de duas horas de operação, foi possível coletar, no total, 232 ml de água dessalinizada e, posteriormente, foram realizados novamente os testes físico-químicos da água dessalinizada para obtenção dos dados com o medidor de bolso da AKSO (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise das propriedades físico-químicas das águas salgada e dessalinizada do segundo teste.

Tipo de água	pH	Condutividade	Salinidade	STD	Temperatura
Água salgada antes do processo de dessalinização	7,76	58,7 mS/cm	3,62 %	29,5 ppt	25,3° C
Água salgada após o processo de dessalinização	7,52	83,4 mS/cm	5,40 %	56,1 ppt	24,8° C
Água dessalinizada do protótipo	4,60	352 µS/cm	0,01 %	178 ppm	24,7° C

Fonte: Elaborado pelo autor

A eficiência térmica do segundo teste realizado do sistema com a água salgada e com o revestimento de lã de vidro no caixote de madeira, foi de aproximadamente 36%.

Para o terceiro teste no sistema de dessalinização, o protótipo continuou com o revestimento isolante térmico de lã de vidro em um caixote de madeira. Novamente, com 10 litros de água salgada, os resultados físico-químicas antes da operação com o medidor de bolso da AKSO foram obtidos. Nesse teste, foi realizado um sistema de coleta de dados, de quantidade de água dessalinizada produzida a cada dez minutos de operação (Tabela 4). Após duas horas, foram obtidos 302 ml de água dessalinizada e, novamente, foram realizados os testes físico-químicos da água dessalinizada que foi misturada com essa água doce, pelo medidor de bolso da AKSO, obtendo-se os seguintes resultados (Tabela 5).

Tabela 4 - Medição da produção de água ao longo de 2 horas de experimento.

Medição da produção de água ao longo do tempo (2 horas)		
Tempo	Produção de água em cada medida de tempo	Volume acumulativo ao longo do tempo
10 min	0 ml	0 ml
20 min	0 ml	0 ml
30 min	0 ml	0 ml
40 min	7 ml	7 ml
50 min	10 ml	17 ml
60 min	15 ml	32 ml
70 min	21 ml	53 ml
80 min	29 ml	82 ml
90 min	37 ml	119 ml
100 min	48 ml	167 ml
110 min	59 ml	226 ml
120 min	76 ml	302 ml
Total	302 ml	302 ml

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Análise das propriedades físico-químicas das águas salgada e dessalinizada do terceiro teste.

Tipo de água	pH	Condutividade	Salinidade	STD	Temperatura
Água salgada antes do processo de dessalinização	7,07	73,2 mS/cm	4,50 %	36,7 ppt	25,7 ° C
Água salgada após o processo de dessalinização	5,36	111,3 mS/cm	7,30 %	55,1 ppt	24,5° C
Água dessalinizada do protótipo	4,71	504 µS/cm	0,02 %	251 ppm	25,2° C

Fonte: Elaborado pelo autor.

No último teste, foi possível encontrar na água salgada uma eficiência de, aproximadamente, 39,2%. Estudo feitos por Schwarzer *et al.* (2009) de um protótipo de dessalinização térmica de pequena escala acoplado com coletores solares de placas planas obteve uma produção média de 650 ml/m²/hora. Silva *et al.* (2013) desenvolveram um protótipo de torre de dessalinização térmica com seis estágios alimentados por queimadores e um cilindro de gás natural, tendo uma produção de 1,39 litros em 2 horas de aquecimento e 1, de desligamento.

Nessa perspectiva, com a comparação dos dados obtidos da água dessalinizada pelo protótipo de dessalinização térmica de água salgada construído e os parâmetros de potabilidade da água estabelecidos pelo Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2021), pode-se verificar que todos os resultados obtidos das águas dessalinizadas estão dentro dos parâmetros de qualidade da água e de potabilidade da água aferidos pelo medidor de bolso da AKSO.

4 CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos, conclui-se que o protótipo de dessalinização térmica desenvolvido, constituído de aço inoxidável, revestimento em lã de vidro e resistência elétrica de banho-maria demonstrou capacidade de dessalinizar a água salgada, removendo a maior parte dos sais dissolvidos e coletando o vapor condensado como água dessalinizada, tornando-a adequada para consumo doméstico. As análises realizadas confirmaram que a água destilada obtida atende aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde do Brasil, possibilitando sua utilização no semiárido brasileiro.

A modelagem do sistema do protótipo de dessalinização térmica com eficiência de 40% obteve um valor de produção de água potável de 0,52 litros. A eficiência térmica do protótipo alcançou um valor superior a 35%, possibilitando a dessalinização de, aproximadamente, 0,302 litros de água em um período de duas horas, menor que os dados estabelecidos na modelagem, porém significativos, pois algumas limitações foram identificadas, como o acúmulo de sais na área de contato com a resistência elétrica, o que reduziu a eficiência do sistema e exigiu manutenção e limpeza frequentes. Além disso, devido às suas dimensões reduzidas e à dependência de uma resistência elétrica, o protótipo apresenta restrições para atender grandes demandas de água dessalinizada sem modificações estruturais.

Diante dessas observações, sugere-se a continuidade das investigações para o desenvolvimento de protótipos em maior escala, incluindo aprimoramentos em sistemas de isolamento térmico, para minimizar as perdas de calor e a implementação de trocadores de calor para recuperar parte da energia dissipada. Recomenda-se, ainda, a integração de sensores e sistemas de controle automatizados, para ajustar dinamicamente a potência da resistência elétrica com base na demanda de água dessalinizada e nas condições operacionais do sistema.

REFERÊNCIAS

- Aly, N. H.; El-Figi, A. K. Thermal performance of seawater desalination systems. **Desalination**, v. 158, n. 1-3, p. 127-142, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916403004430>. Acesso em: 11/10/2024
- Brasil. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**, Brasília, 2021. Disponível em: https://bvmsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html#:~:text=A%20%C3%A1gua%20pot%C3%A1vel%20deve%20estar,e%20demais%20disposi%C3%A7%C3%B5es%20deste%20Anexo.&text=II%20%2D%20as%20concentra%C3%A7%C3%B5es%20de%20ferro,4%20mg/L%2C%20respectivamente. Acesso em: 11/10/2024.
- Brasil. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 11/10/2024.
- Cavalcante Júnior, R. G. et al. Sustainable groundwater exploitation aiming at the reduction of water vulnerability in the Brazilian semi-arid region. **Energies**, v. 12, n. 5, p. 904, 2019. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/25bc0591-388e-3667-b730-4924f6fb65db/>. Acesso em: 11/10/2024
- 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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621041123>. Acesso em: 11/10/2024
- Curto, D. et al. A review of the water desalination technologies. **Applied Sciences**, v. 11, n. 2, p. 670, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/2/670>. Acesso em: 11/10/2024
- Gorjian, S. et al. Performance evaluation and economics of a locally-made stand-alone hybrid photovoltaic-thermal brackish water reverse osmosis unit. **Clean. Eng. Technol.**, 2, 100078, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821000380>. Acesso em: 11/10/2024
- Hessel, V. et al. Chemical micro process engineering: fundamentals, modelling and reactions. **John Wiley & Sons**, 2004. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/3527603042>. Acesso em: 11/10/2024
- Hosseini, et al. Development and performance evaluation of an active solar distillation system integrated with a vacuum-type heat exchanger. **Desalination**, v. 435, p. 45-59, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916417313541>. Acesso em: 11/10/2024
- 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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916413005468>. Acesso em: 11/10/2024
- Ketabchi, F. et al. Experimental performance evaluation of a modified solar still integrated with a cooling system and external flat-plate reflectors. **Sol. Energy**, 187, p. 137–146, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X19304955>. Acesso em: 11/10/2024

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: 11/10/2024

Pessoa, L. G. M. et al. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 141, p. 109139, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X22006112>. Acesso em: 11/10/2024

Qiblawey, H. M.; Banat, F. Solar thermal desalination technologies. **Desalination**, v. 220, n. 1-3, p. 633-644, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916407006650>. Acesso em: 11/10/2024

Silva, M. E. V. et al. Mass transfer correlation for evaporation–condensation thermal process in the range of 70° C-95° C. **Renewable energy**, v. 53, p. 174-179, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271638106_Mass_transfer_correlation_for_evaporation-condensation_thermal_process_in_the_range_of_70_C-95_C. Acesso em: 11/10/2024

Silva, G. D. P.; Sharqawy, M. H. Techno-economic analysis of low impact solar brackish water desalination system in the Brazilian Semiarid region. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119255, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619341253>. Acesso em: 11/10/2024

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916415300217>. Acesso em: 11/10/2024

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://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916409005864>. Acesso em: 11/10/2024

Schwarzer, K. et al. Solar thermal desalination system with heat recovery. **Desalination**, v. 137, n. 1-3, p. 23-29, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916401002004>. Acesso em: 11/10/2024

Srithar, K. et al. Stand alone triple basin solar desalination system with cover cooling and parabolic dish concentrator. **Renewable Energy**, v. 90, p. 157-165, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014811530567X>. Acesso em: 11/10/2024