

DESEMPENHO TÉRMICO DE UM COLETOR ARMAZENADOR SOLAR HORIZONTAL

Data de submissão: 01/07/2023

Data de aceite: 01/09/2023

Ânoar Abbas El Aouar

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/1621124045380683>

Maria Cecília Soares Correia

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/7086989241593559>

Pierre Correa Martins

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/1815784268131348>

Joselma Araújo De Amorim

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/5009831008235769>

Geraldo Dantas Silvestre Filho

Universidade Federal da Paraíba,
Departamento de Engenharia de Alimentos
João Pessoa – PB
<http://lattes.cnpq.br/2010792824442012>

RESUMO: A energia solar é uma modalidade de energia limpa que pode ser utilizada como fonte de energia térmica em secadores convectivos. Seu aproveitamento pode ser realizado através do uso de coletores solares, responsáveis por transformar a energia da radiação solar em energia térmica, visando o aquecimento do ar ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho térmico de um coletor armazenador solar. O coletor construído foi do tipo placa plana horizontal e para maximizar a absorção da radiação solar foram utilizados, separadamente uma, chapa metálica de zinco e uma palha de aço comercial. Medidas das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido e das velocidades do ar na entrada e saída do coletor, em intervalos de uma hora no período de 9 às 17 horas, foram realizadas. Para a avaliação da eficiência instantânea do equipamento, foram determinados inicialmente o ganho de energia útil, a área útil do coletor e a irradiação global. Os resultados demonstraram que a maior temperatura obtida na saída coletor foi 48 °C, utilizando a configuração com a palha de aço. A irradiação global média obtida foi na faixa de 124 a 636 W/m². Foi observado que não houve uma grande variação entre

as velocidades do ar na entrada e saída do coletor, como também entre as vazões mássicas. A configuração com a chapa metálica de zinco apresentou uma eficiência média de 52 %, pouco menor que a com palha de aço que foi 53 %, não havendo diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre elas. Assim, a utilização da palha de aço como material absorvente se demonstrou mais aplicável do que a chapa metálica de zinco, por ser mais acessível e possuir menor custo de aquisição.

PALAVRAS-CHAVE: Coletor armazenador solar horizontal, secagem solar, eficiência térmica.

THERMAL PERFORMANCE OF A HORIZONTAL SOLAR STORAGE COLLECTOR

ABSTRACT: Solar energy is a clean energy that can be used as a source of thermal energy in convective dryers. Its use can be carried out through solar collectors, converting solar energy into thermal energy, aiming at heating the ambient air. The objective of this work was to evaluate the thermal performance of a solar storage collector. The collector built was a horizontal flat plate type and to maximize the absorption of solar radiation, a zinc metal sheet and a commercial steel wool were used separately. Measurements of dry bulb and wet bulb temperatures and air velocities at the collector inlet and outlet, at one-hour intervals from 9 am to 5 pm, were performed. To evaluate the instantaneous efficiency of the equipment, the useful energy gain, the useful area of the collector and the global irradiation were initially determined. The results showed that the highest temperature obtained at the collector outlet was 48 °C, using the steel wool configuration. The average global irradiation obtained was in the range of 124 to 636 W/m². It was observed that there was not a great variation between the air velocities at the collector inlet and outlet, as well as between the mass flows. The configuration with zinc metal sheet showed an average efficiency of 52%, slightly lower than that with steel wool, which was 53%, with no significant difference ($p \leq 0.05$) between them. Thus, the use of steel wool as an absorbent material proved to be more applicable than zinc metal sheet, as it is more accessible and has a lower acquisition cost.

KEYWORDS: Horizontal solar collector, solar drying, thermal efficiency.

1 | INTRODUÇÃO

A secagem é uma alternativa amplamente utilizada para a redução de perdas e preservação da qualidade de produtos agrícolas, pois remove a sua umidade através da transferência de calor e massa (OLIVEIRA, 2018). Na operação de secagem, utilizam-se, normalmente, secadores convencionais (convectivos), tendo como fonte de aquecimento do ar o uso de resistências elétricas e de outros dispositivos resultantes da queima de diversos tipos de combustíveis, tais como: lenha, resíduos agrícolas e combustíveis fósseis (gás) (PRECCI et al., 2001). Esses dispositivos exigem elevado investimento e altos custos de funcionamento e manutenção, além de trazerem problemas ao meio ambiente. Como a radiação solar no Brasil é abundante, em quase todo o ano, a secagem solar se torna uma alternativa adequada, reduzindo custos de processamento e possíveis impactos ambientais

(SILVEIRA, 2016).

A energia solar é uma modalidade de energia limpa que pode ser utilizada como fonte de energia térmica, para aquecimento de ambientes e de fluidos (SILVA, 2015). No Brasil, esta possui alto potencial de exploração, pois a irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro varia de 4.200 a 6.700 kWh/m²/ano, superior às verificadas em outros países que utilizam bastante a energia solar (PEREIRA et al., 2006).

A Região Nordeste possui o maior potencial de energia solar disponível no Brasil, com uma radiação global média estimada em 5,9 kWh/m², de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (SILVA, 2015). Essa região também apresenta elevados valores anuais de temperatura do ar (20 a 28 °C), decorrentes, exatamente, da sua alta incidência de radiação solar (PEREIRA et al., 2006).

Na região semiárida do estado da Paraíba, os pequenos produtores rurais sofrem com a escassez dos recursos, e por esse motivo se afiliam às cooperativas, que compram antecipadamente a sua produção para posterior distribuição nos mercados da circunvizinhança (SCHMIDT, 2008). Para que a agricultura familiar não seja prejudicada pelas altas temperaturas da região, seus produtores devem encontrar novos meios para comercializar seus produtos e de melhorar sua renda. Uma possível alternativa é a secagem de uma parte da produção, através da radiação solar, pois o semiárido paraibano possui elevada incidência solar, quando comparada a outros estados.

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica para aquecimento de fluidos. Seu aproveitamento pode ser realizado através do uso de coletores ou concentradores solares (COSTA, 2010; FALCÃO FILHO, 2011). O coletor solar pode ser definido como um tipo de trocador de calor, responsável por transformar a energia da radiação solar em energia térmica, visando o aquecimento do ar ambiente (CARVALHO & SIONEK, 2015). Um modelo simples de coletor é aquele constituído por uma câmara plana ou suporte (geralmente de madeira), um tampo de vidro, intercalados por uma chapa metálica (coletora). A radiação atravessa o vidro, incide na placa coletora e passa a aquecer o ar que atravessa o sistema, no qual ocorre uma diferença de temperatura e de taxa mássica entre as suas correntes de entrada e saída do coletor, resultando em uma descarga de ar aquecido desse equipamento (BECKER, 2014).

O presente trabalho teve como objetivo principal a construção de um coletor armazenador solar plano horizontal de custo mais acessível a pequenos produtores rurais das áreas mais secas do Brasil, que poderão realizar a secagem de sua produção agrícola facilitando a comercialização de seus produtos e aumentando sua renda familiar.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Realização dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA/CT/UFPB), João Pessoa - PB. O clima da região onde foram realizados os ensaios apresenta temperatura média anual de 25 °C e precipitação média anual de 1.900 mm (INMET, 2018).

Desenvolvimento do projeto do coletor armazenador solar

O coletor solar construído foi do tipo placa plana horizontal. Esta escolha se deve ao fato de se optar por uma convecção forçada do ar. Estudos comprovam que a velocidade do ar possui uma maior influência no início do processo de secagem sobre a menor temperatura, não exercendo influência significativa na maior temperatura de secagem (ARAÚJO, 2005; EL AOUAR, 2002; AZOUBEL, et al., 2009), o que justifica a utilização de uma convecção forçada do ar. O referido coletor foi constituído de uma caixa em aglomerado de madeira, com dimensões de 1,00 x 0,50 x 0,15 m; 4 separadores internos (290,0 x 10,0 x 150,0 mm), também em aglomerado de madeira com a finalidade de aumentar o percurso do ar para aproveitar melhor a área de transferência de calor; um soprador para a movimentação forçada do ar; e um tampo de vidro.

Toda a estrutura foi fixada por meio de parafusos e devidamente vedada com silicone. Este dimensionamento foi determinado de acordo com recomendações de Bezerra (2001), onde para cada metro cúbico da câmara de secagem é necessária uma área de 8 m² de coletor solar, formando uma proporção de 1 m³:8 m².

O desenho esquemático do coletor solar está apresentado nas Figuras 1 e 2 a seguir.

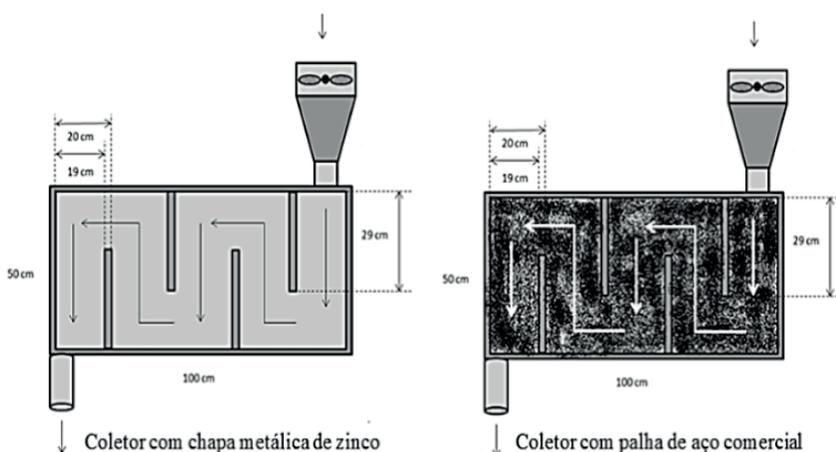


Figura 1 – Vista superior do coletor solar com (a) chapa metálica de zinco e com (b) palha de aço comercial.

Fonte: Autor (2023).



Figura 2 – Vista lateral do coletor solar.

Fonte: Autor (2023).

Para maximizar a absorção da radiação solar foram utilizados separadamente dois elementos absorvedores distintos: uma chapa metálica de zinco (CM) e uma palha de aço comercial (PA). Esses elementos foram cobertos por tinta de cor preta, para promover uma maior absorção. As dimensões dessas duas últimas partes constituintes do coletor foram acertadas no momento de sua construção. A espessura de PA utilizada foi de 2,5 cm. A convecção forçada de ar foi obtida a partir de um ventilador axial de baixo custo, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2.

Análise térmica do coletor

Foram realizados testes na área externa do Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), com o intuito de obter dados suficientes para o cálculo da eficiência instantânea, bem como caracterizar as condições psicrométricas do ar ambiente e do ar que percorreu o coletor. Foi utilizado um termômetro de mercúrio, para obter temperaturas de bulbo seco e úmido, e um anemômetro de fio quente da marca AKSO modelo AK833 para verificar as velocidades na entrada e saída do coletor.

Em todos os testes, o coletor ficou na posição horizontal e os dados de temperatura e radiação solar foram registrados com intervalos de uma hora. Os valores de temperaturas de bulbo seco e úmido coletadas na entrada e saída do coletor foram suficientes para obter as propriedades termodinâmicas do ar, com o auxílio do Software Grapsi® desenvolvido por Melo et al. (2004).

Desempenho do coletor solar

Após a coleta dos dados experimentais, foi realizada a avaliação do desempenho do coletor solar, seguindo a metodologia proposta por Silveira (2016). O desempenho do coletor foi determinado pela eficiência (η_i), obtida pela equação 1 (DUFFIE & BECKMAN, 2013).

$$\eta_i = \frac{\dot{Q}_u}{A_C \times G_T} \quad \text{eq.1}$$

O cálculo da eficiência foi realizado para ambas as configurações, contudo, para melhor comparação entre elas optou-se por usar uma média das eficiências obtidas nos ensaios com a chapa metálica de zinco para comparar com as eficiências adquiridas no ensaio com a palha de aço. Para poder calcular a eficiência, precisou-se saber inicialmente

o ganho de energia útil (\dot{Q}_u) (vide equação 2) (KALOGIROU, 2014), a área útil do coletor (A_c), encontrada a partir da medição do comprimento e largura úteis do coletor, por onde o ar circula, e também o valor da irradiação global (IG).

$$\dot{Q}_u = \dot{m} \times c_p \times (T_{BS_s} - T_{BS_e}) \quad \text{eq.2}$$

Para a obtenção dos dados da irradiação global nos horários da medição (de hora em hora), foi necessário um levantamento no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O site disponibiliza dados de temperatura máxima e mínima, ponto de orvalho, umidade relativa, como também a radiação e a quantidade de chuva em um determinado local a cada hora. Como o valor disponível era de radiação (R) em unidade de energia (kJ/m^2), e para o cálculo da eficiência instantânea é necessária a irradiação (IG) em unidade de potência (W/m^2), foi feita a conversão utilizando a equação 3.

$$IG = \frac{R \times 1000}{3600} \quad \text{eq.3}$$

Multiplicou-se por mil para transformar de kJ para J , e dividiu-se por 3600 para converter horas em segundos, e passar a ser J/s que é o mesmo que W . Foi feita essa conversão para cada valor coletado. No site o horário era dado em UTC, por isso foi preciso fazer um ajuste para o estado da Paraíba, adicionando três horas ao horário informado no site.

O ganho de energia útil foi determinado a partir da equação 2, que relaciona as temperaturas de entrada (T_{BS_e}) e saída (T_{BS_s}) do coletor, o calor específico do ar (c_p), obtido segundo Singh (2009), e a vazão mássica de ar (\dot{m}), calculada pela equação 4. Essa última grandeza, relaciona a média entre as velocidades de saída e entrada (v_a), a área da seção transversal (A_s), obtida a partir do diâmetro da tubulação onde é coletada a velocidade de saída.

$$\dot{m} = A_s \times \rho_a \times v_a \quad \text{eq.4}$$

A massa específica do ar (ρ_a) foi encontrada pela equação 5, desenvolvida por Monteiro et al. (2010), que depende da temperatura média de entrada e saída do coletor (T_m).

$$\rho_a = \frac{353,44}{T_m + 273,15} \quad \text{eq.5}$$

Tratamento estatístico dos dados experimentais

Os dados obtidos experimentalmente foram analisados por meio do pacote estatístico STATISTICA 7.0, mediante Análise de Variância (ANOVA) sobre a eficiência instantânea do coletor, para ambas as configurações mencionadas anteriormente.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desenvolvimento do projeto do coletor

O coletor construído foi baseado na metodologia desenvolvida por Silva (2013), que tinha como intuito construir um coletor solar de baixo custo, para aplica-lo na secagem de produtos alimentícios. Outra metodologia que inspirou esse trabalho foi a de Oliveira (2018), que desenvolveu um coletor solar acoplado a um secador híbrido.

Na Figura 3 é possível ver ambas as configurações testadas.



Figura 3 – Coletor solar com as configurações (a) CM e (b) PA.

Fonte: Autor (2023).

Análise térmica do coletor

A análise térmica do coletor foi realizada a partir das medidas de temperatura de bulbo seco na entrada e saída do mesmo, assumindo duas configurações distintas: o coletor com a chapa metálica de zinco (CM) e com a palha de aço comercial (PA).

A Tabela 1 apresenta os dados de temperaturas na entrada e saída do coletor e irradiação global, para ambas as condições mencionadas anteriormente, ao longo do dia.

Horário (h)	CM			PA		
	T_{Bse} (°C)	T_{BSs} (°C)	IG (W/m ²)	T_{Bse} (°C)	T_{BSs} (°C)	IG (W/m ²)
9	33	37	458	30	33	487
10	34	39	606	33	36	463
11	34	39	639	34	39	589
12	33	38	591	38	48	595
13	35	39	434	35	41	838
14	35	40	555	32	35	432
15	34	36	455	33	35	335

16	30	31	301	32	35	284
17	30	30	98	31	31	150

Tabela 1 – Análise térmica do coletor solar, comparando as duas configurações utilizadas (CM e PA) em relação às temperaturas de bulbo seco de entrada e saída e irradiação global.

Fonte: Autor (2023).

Observando os dados da Tabela 1, percebe-se que, na primeira hora do experimento, já houve uma variação de 4°C na temperatura da configuração CM, enquanto na PA aumentou 3 °C na temperatura de entrada do coletor. No horário de 12 horas, a temperatura de bulbo seco na saída da configuração CM teve uma queda com relação a medição anterior, ficando 38 °C, diferente da configuração PA, que já iniciou a medição com essa temperatura na entrada, chegando a alcançar, na saída, a maior temperatura de todas as medições (48 °C). No fim da tarde, as temperaturas das duas configurações foram iguais na entrada e na saída, pois a posição do coletor nesse momento era na sombra. Além disso, foi observado que coletor apresentou características de armazenador para a configuração PA, quando às 16 horas, mantendo praticamente a mesma variação de temperatura em relação às 15h.

A irradiação global média variou de 124 a 636 W/m², aproximadamente, em uma medição que se iniciou de 9 horas e foi até às 17 horas, conforme ilustrado na Figura 4.

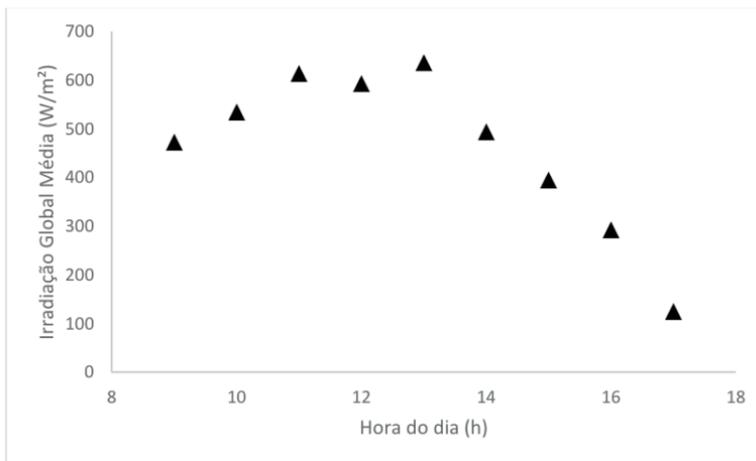


Figura 4 – Irradiação global média em função da hora do dia.

Fonte: Autor (2023).

A curva apresentada na Figura 4 mostra que no período de 9 a 11 horas houve um crescimento no valor da irradiação, reduzindo um pouco ao meio dia. O período do dia com maior irradiação média global foi de 13 horas, com um valor de 636,22 W/m². Oliveira (2018) obteve, em junho na cidade de Seropédica-RJ, uma irradiação máxima de 593,67

W/m², no período de meio dia, valor bastante semelhante ao encontrado nesse trabalho (593,01 W/m²). Já Silva (2013), obteve um valor médio de 611,60 W/m², na cidade de Coimbra em Portugal, em um dia nublado do mês de setembro. Após alcançar o pico, o valor cai bruscamente, e mantém esse comportamento até o fim do dia.

Desempenho do coletor solar

A Figura 5 mostra a relação entre a temperatura de bulbo seco de saída e a irradiação solar global, comparando as duas configurações utilizadas.

Observa-se na Figura 5 que a relação entre a variação da irradiação global e a variação de temperatura de bulbo seco de saída apresentou comportamento próximo à função linear.

O coeficiente de determinação R² indica o quão explicativo é o modelo linear; para a configuração CM, seu valor foi de 0,84 e para a configuração PA foi de 0,69. Portanto, o melhor modelo linear é o da configuração CM, que explica 84 % da variância dos dados. Valores condizentes com um comportamento linear da relação acima mostrada foram encontrados por Oliveira (2018) (0,82) e por Silveira (2016) (0,98).

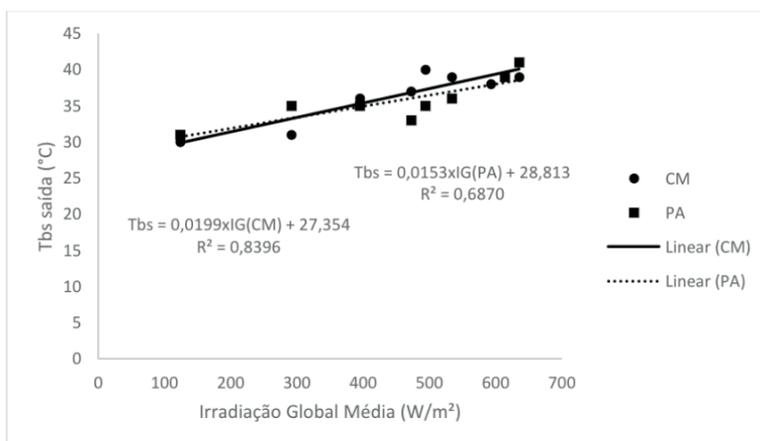


Figura 5 – Temperatura de bulbo seco de saída (°C) para cada configuração por irradiação global média (W/m²).

Fonte: Autor (2023).

Ainda pela Figura 5, percebe-se que as equações das retas para ambas as configurações são, praticamente, iguais, o que confirma o observado na prática.

De acordo com a metodologia proposta por Silveira (2016), foi possível obter os valores médios de velocidade, massa específica e vazão mássica do ar, os quais foram, respectivamente, de 3,67 m/s, 1,15 kg/m³ e 0,0331 kg/s. A área da seção transversal foi de 0,00785 m², obtida a partir do diâmetro da tubulação de saída (0,1 m) (MONTEIRO et al., 2010).

A partir dos valores mencionados, foram calculadas as eficiências do coletor, para

ambas as configurações, a cada hora do dia, conforme a Figura 6.

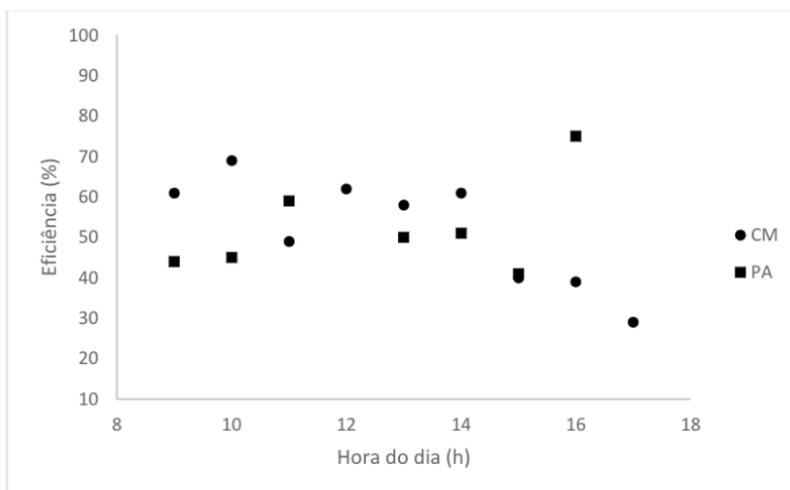


Figura 6 – Eficiência instantânea de cada configuração por hora do dia.

Fonte: Autor (2023).

Verifica-se, na Figura 6, que nos primeiros horários de medição, o coletor com a configuração CM se mostrou mais eficiente que o com a configuração PA. Já das 11 até às 12 horas o mais eficiente foi o coletor com a PA. A menor eficiência instantânea foi no fim da tarde, graças à sombra formada no local onde estava localizado o coletor.

Hedge et al. (2015) avaliaram a eficiência para um sistema de secagem solar de banana, comparando os resultados para passagem do fluxo de ar entre a placa absorvedora e a cobertura do coletor e para a passagem do fluxo entre a placa absorvedora e uma camada de isolamento. Esses autores iniciaram a medição também às 9 horas e atingiram a eficiência máxima de 50% às 16 horas.

Fudholi et al. (2015) obteve 28 % de eficiência do coletor solar para a secagem de pimenta vermelha com fluxo de massa de ar de 0,07 kg/s. Já Lingayat et al. (2017) ao avaliar um secador solar indireto para a secagem de banana estimaram a eficiência média do coletor em 31,50 %, em condições de irradiação solar média de 724 W/m².

Oliveira (2018) obteve um valor de 25,9 % de eficiência média global em um coletor solar plano acoplado em secador híbrido para secagem de produtos agrícolas. Enquanto isso Potdukhe e Thombre (2008) obtiveram 34 % de eficiência em um coletor na secagem solar de pimentões e folhas de feno-grego. Em todos esses estudos os autores encontraram valores de eficiência inferiores às duas configurações apresentadas nesse trabalho.

A configuração com a chapa metálica de zinco apresentou uma eficiência média de 52 %, pouco menor que a com palha de aço que foi 53 %, não havendo diferença significativa a $p \leq 0,05$. Com isso, a utilização da palha de aço como material absorvente mostrou-se, aparentemente, mais eficiente que a chapa metálica de zinco, além de ser mais vantajosa

com relação aos custos, pois uma folha de zinco de dimensões 100 x 100 x 0,5 mm custa em média R\$ 10,18 no site do AliExpress, e para cobrir a área do coletor são necessárias 10 folhas, totalizando um custo de R\$ 101,80. Já a palha de aço pode ser encontrada em qualquer supermercado com o preço variando de R\$1,50 a R\$3,00, sendo Bombril a marca mais conhecida. Para a utilização no coletor, seriam necessários 4 pacotes do produto, o que não ultrapassaria R\$12,00, tendo uma economia de aproximadamente 88 %.

4 | CONCLUSÕES

O coletor construído apresentou algumas perdas resultantes do tipo de ventilador escolhido e da estrutura onde este se encontrava acoplado. A maior temperatura de bulbo seco na saída do coletor e a maior irradiação média global foram obtidas utilizando a configuração com a palha de aço, no período de 12 às 13 horas, mesmo em dias nublados.

Foi observado durante os experimentos que não houve uma grande variação tanto entre as velocidades de entrada e saída do coletor quanto entre as vazões mássicas do ar. A configuração com a chapa metálica de zinco apresentou uma eficiência média pouco menor que a com palha de aço. A análise estatística mostrou que não houve diferença significativa entre as duas configurações estudadas, à 5% de significância. Portanto a palha de aço comercial pode ser utilizada como meio absorvedor ao invés da chapa metálica de zinco, pois é bem mais acessível tanto do ponto de vista de disponibilidade quanto de preço.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Eder Augusto Furtado. Estudo do processo combinado de desidratação osmótica e secagem de nectarina (*Prunus persica*). Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas-SP, 2005.

AZOUBEL, P.M.; EL AOUAR, A.A; TONON, R.V.; KUROZAWA, L.E.; ANTONIO, G.C.; MURR, F.E.X.; PARK, K.J. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. *International Journal of Food Science and Technology*, v.44, p.980-986, 2009.

BECKER, M.I.W.; MACHADO, N. Construção e ensaio de um coletor solar térmico para aquecimento do ar. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, Porto Alegre, 2014.

BEZERRA, A. M. Aplicações térmicas da energia solar, Editora Universitária da UFPB, João Pessoa, 2001.

CARVALHO, F.R.; SIONEK, M.C. Análise da eficiência de um coletor solar plano, Trabalho de Conclusão de Curso, DAMEC, UTFPR, Curitiba, 2015.

COSTA, J.B.S. Obtenção e caracterização de farinha de caju através do uso de um sistema de secagem solar de baixo custo, Tese de Mestrado, UFRN, Natal, 2010.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Solar engineering of thermal processes. 4 ed. New York etc.: JOHN WILEY & SONS, Inc., p. 936, 2013.

EL AOUAR, A.A.; AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, v.59, p.85-91, 2003.

FALCÃO FILHO, R.S. Produção de passas de talo de abacaxi pérola por processo osmo-solar, Tese de Mestrado, UFPB, João Pessoa, 2011.

FUDHOLI, A., SOPIAN, K., BAKHTYAR, B., GABBASA, M., OTHMAN, M. Y., RUSLAN, M. H. Review of solar drying systems with air based solar collectors in Malasia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 51, pp. 1191-1204, 2015.

HEDGE, V. N., HOSUR, V. S., RATHOD, S. K., HARSOOR, P. A., NARAYANA, K. B. Design, fabrication and performance evaluation of solar dryer for banana, *Energy, Sustainability and Society*, pp. 5-23, 2015.

KALOGIROU, S.A. *Solar energy engineering: process and systems*. 2nd ed. Oxford: Academic Press, p. 819, 2014.

LINGAYAT, A., CHANDRAMOHAN V.P., RAJU, V.R.K. Design, Development and Performance of Indirect Type Solar Dryer for Banana Drying, *Energy Procedia*, v. 109, pp. 409-416, 2017.

MELO, C.E.; LOPES, D.C.; CORRÊA, P.C. Grapsi - Programa computacional para cálculo das propriedades psicrométricas do ar, 2004.

MONTEIRO, L.; BLANCO, J.; MIRANDA, T.; ROJAS, S.; CELMA, A. R. Design, construction and performance testing of a solar dryer for agroindustrial by-products. *Energy Conversion and Management*, v. 51, n.7, p. 1510-1521, 2010.

OLIVEIRA, L. C. T. G.; PAES, J. L.; GUIMARÃES, C.L. Avaliação da eficiência do coletor solar plano acoplado em secador híbrido. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar; Gramado-RS; abr 2018.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE. 2006.

POTDUKHE, P., THOMBRE, S. Development of a new type of solar dryer: its mathematical modelling and experimental evaluation, *International Journal of Energy Research*, v. 32, pp. 765–82, 2008.

PRECCI, R. L.; SOBRINHO, J.C.; SILVA, J. de Sousa e; SILVA, J.N. da. Fontes de energia para secagem. In: SILVA, J. de Sousa e (Ed.). *Secagem e armazenagem de café: tecnologias e custos*. Viçosa: Jard Editora Ltda, c. 4, p.111-132, 2001.

SCHMIDT FILHO, Ricardo; MOUTINHO, Lúcia Maria Góes. Recursos ambientais e dinâmica populacional no semiárido paraibano. *Revista de Economia, Universidade Federal do Paraná*, v.34, n.2, 2008.

SILVA, Rutelly Marques da. *Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios*. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, fevereiro/2015.

SILVA, Vítor Manuel Alves da. Coletor solar de baixo custo. Aplicação à secagem de produtos agroalimentares. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade de Coimbra. 2013.

SILVEIRA, L.R. Modelagem de um secador solar de produtos agrícolas com sistemas de armazenagem de energia térmica. Tese de Doutorado, ESALQ, USP, Piracicaba, 2016.