

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO PASSIVO PARA PAINEL FOTOVOLTAICO COMERCIAL

Vinicius Marson, vinicius.marson@unesp.br¹

Alex Pereira da Cunha, alex.cunha@unesp.br¹

João Batista Campos Silva, campos.silva@unesp.br¹

Elaine Maria Cardoso, elaine.cardoso@unesp.br^{1,2}

¹ UNESP - Universidade Estadual Paulista/Faculdade de Engenharia - Câmpus de Ilha Solteira, Av. Brasil Sul, 56 - Centro, Ilha Solteira.

² UNESP - Universidade Estadual Paulista/Câmpus de São João da Boa Vista, Av. Profa. Isette Correa Fontão, 505 - Jardim das Flores, São João da Boa Vista - SP, 13876-750

Resumo. A capacidade instalada de energia solar cresceu no Brasil em 2019 devido à expressiva participação das micro e minigerações distribuídas de energia solar, com um aumento de 169% de 2018 para 2019. Embora, os sistemas fotovoltaicos não requeiram profunda manutenção, a eficiência de painéis fotovoltaicos é diminuída de 0,40 a 0,50% a cada °C ganho na temperatura de operação. Assim, dependendo das condições ambientais, um sistema de resfriamento faz-se necessário para aumento da durabilidade, eficiência e viabilidade do projeto. O presente trabalho analisa a geração do painel fotovoltaico instalado, a fim de determinar os principais fatores que afetam na redução do desempenho do mesmo; e realiza um estudo analítico para descrever o comportamento térmico do painel, em função das condições experimentais; incluindo o impacto da adição de superfícies estendidas (aletas) sobre a temperatura média do painel. O modelo teórico para predição da temperatura do painel fotovoltaico proposto mostra-se satisfatório quando comparado com os valores obtidos experimentalmente; e observa-se uma redução significativa da temperatura média do painel com o uso de aletas como sistema de resfriamento passivo - redução média de temperatura de 8 °C.

Palavras chave: Energia solar fotovoltaica, sistema de resfriamento, eficiência energética.

Abstract. The installed capacity of solar energy in Brazil grew in 2019 due to the expressive participation of distributed micro and mini-generators of solar energy, with an increase of 169% from 2018 to 2019. Although photovoltaic systems do not require deep maintenance, the efficiency of photovoltaic panels decreases by 0.40 to 0.50% for each °C gained in the operating temperature. Thus, depending on the environmental conditions, a cooling system is necessary to increase the durability, efficiency, and viability of the project. The present work analyzes the production of an installed photovoltaic panel, in order to determine the main factors that affect its performance; and performs an analytical study to describe the thermal behavior of the panel, depending on the experimental conditions; including the impact of adding extended surfaces (fins) on the average temperature. The theoretical model for predicting the temperature of the proposed photovoltaic panel is satisfactory when compared with the values obtained experimentally; and a significant reduction in the average temperature of the panel is observed with the use of fins as a passive cooling system - average temperature reduction of 8 °C.

Keywords: Photovoltaic solar energy, passive cooling system, efficiency.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Balanço Energético Nacional – BEN (2020) ano base 2019 - o Brasil tem à sua disposição uma matriz energética de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que, no ano de 2019, respondeu por 64,9% da oferta interna.

Dentre as vantagens do uso da energia solar fotovoltaica tem-se que: é livre de emissão de poluentes durante a operação auxiliando na diminuição de problemas relacionados ao aquecimento global, apresenta reduzido custo operacional e baixo valor de manutenção oferecendo maiores possibilidades de geração de energia (em pequena e larga escalas) em comparação com as outras fontes renováveis de energia (Parida e Iniyan, 2011; Wang.; Zhou E Huo, 2014).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, BEN2020), a capacidade instalada de energia solar cresceu 37,6%, sendo 1798 MW em 2018 e 2473 MW no ano de 2019. Este aumento da capacidade instalada se deve à

expressiva participação das micro e minigerações distribuídas, com um aumento de 169% de 2018 para 2019, com total destaque para a energia solar que representa 75% do total de mini e microgerações distribuídas.

A parcela de energia solar, dentre todas as opções disponíveis, representa apenas 1% da matriz energética, tendo um potencial de crescimento capaz de causar grande impacto na matriz energética brasileira, visto que no período de janeiro a junho deste ano de 2020, o setor adicionou 1,381 gigawatts (GW) em capacidade instalada, o que representa um crescimento de 30,6% frente ao histórico consolidado até o final de 2019 (Portal Solar S.A, 2020; Meyer, Sauaia, Kolozzuk, 2020), gerando impactos positivos sociais e econômicos o que torna-se oportunidade em meio à crise sanitária e econômica que o país tem passado devido à pandemia de Covid-19 (Saadia, Sauaia, Kolozzuk, 2020)

Embora seja bem sabido que os sistemas fotovoltaicos não requerem profunda manutenção, o aumento da temperatura de célula diminui consideravelmente sua tensão e provoca um aumento em sua corrente (Cotfas et al., 2018; Amelia et al 2016); causando aquecimento do painel pela energia solar remanescente que é convertida em calor; e, em consequência, sua potência diminui, assim como sua eficiência. Assim, dependendo das condições ambientais, um sistema de resfriamento faz-se necessário para aumento da durabilidade, eficiência e viabilidade do projeto (Jakhar; Soni; Gakkhar, 2016; Siecker; Kusakana; Numbi, 2017).

Dentro desse contexto, tem-se como objetivo validar, para as condições climáticas do Brasil, se sistemas de resfriamento passivos aplicados a módulos fotovoltaicos comerciais são capazes de manter a temperatura de operação em níveis recomendados para boa eficiência de conversão energética e prolongamento da vida útil do sistema. Além disso, outros objetivos do presente trabalho são:

- Analisar a geração do painel fotovoltaico instalado, a fim de determinar e quantificar os principais fatores que afetam na redução do desempenho do mesmo;
- Fazer um estudo analítico, que descreve matematicamente o comportamento térmico do painel, em função das condições experimentais; analisando o impacto da adição de superfícies estendidas (aletas) sobre a temperatura média do painel;

2. METODOLOGIA

2.1. Aparato experimental

O módulo fotovoltaico usado neste projeto (Fig. 1) é um modelo comercial Risen RSM60-6270P composto de 60 células de silício policristalino com capacidade total de 270 Wp e eficiência de conversão de energia de 16,5%, segundo informações do fabricante.



Figura 1. Suporte metálico, módulo e espelhos planos. (a) vista geral e (b) vista frontal.

Além do módulo, o aparato experimental possui:

- Sistema de rastreamento de eixo-único que segue o movimento solar diário de Leste a Oeste. A estrutura metálica permite um ajuste azimutal de -140° (posição Sol nascente) a 140° (posição Sol poente). A referência para o azimute é a mesma adotada por Duffie e Beckman (2013), na qual 180° corresponde ao Norte geográfico. O movimento de rastreamento - de 5° a cada 20 minutos, sendo o primeiro movimento às 11h00min e o último às 15h00min - é realizado por um atuador linear de 70 W controlado por um microprocessador Arduino Mega 2560.

- Controlador de carga, uma bateria e carga puramente resistiva;
- Circuito de aquisição dos dados desenvolvidos em plataforma livre (Arduino) com 60 sensores digitais de temperatura (DS18B20, com incerteza de medição de $\pm 0,5^\circ\text{C}$), sensor de tensão e de corrente;
- Um radiômetro modelo NR-LITE2;
- Um anemômetro modelo WindSonic-Option 1.

Os dados de temperatura são coletados por 60 sensores digitais DS18B20 instalados no centro geométrico de cada célula do módulo, com uma fina camada de pasta térmica entre cada sensor e a parte posterior do módulo para garantir

o contato térmico entre ambos. Os sensores são conectados a um sistema de aquisição composto por um Arduino Mega 2560; o microprocessador faz a leitura das medidas em intervalos de 30 segundos armazenando-as num cartão Micro SD em forma de tabela.

A temperatura ambiente é medida por uma sonda modelo T_109 (com incerteza de medição de $\pm 0,2$ °C) instalada próximo à bancada experimental. Um anemômetro modelo Windsonic Option 1 está instalado no telhado, próximo ao módulo fotovoltaico, sendo responsável por medir a velocidade e direção do vento (incerteza de $\pm 2\%$, segundo o fabricante). Um radiômetro NR-LITE 2 (segundo o fabricante, incerteza de medição de $\pm 5\%$) mede a radiação líquida (radiação global descontada do albedo) no local de testes. Estes três instrumentos estão conectados a um *datalogger* modelo CR1000 da empresa Campbell Cientific®. Assim, as medidas das variáveis climáticas são realizadas a cada 30 segundos.

2.2 - Metodologia para análise térmica sem a presença de sistema de resfriamento passivo

Tendo como base os conceitos de transferência de calor e massa foi realizada uma análise teórica para o painel fotovoltaico, com a intenção de prever sua temperatura em função da irradiação solar (G), temperatura ambiente e velocidade do vento. Para isso foram consideradas as seguintes hipóteses:

- Regime permanente;
- Propriedades termofísicas constantes;
- Distribuição de temperatura uniforme sobre o painel.

A Figura 2 é uma representação para a formulação das equações e a Fig. 3 mostra o diagrama de resistências térmicas para determinação da temperatura do painel.

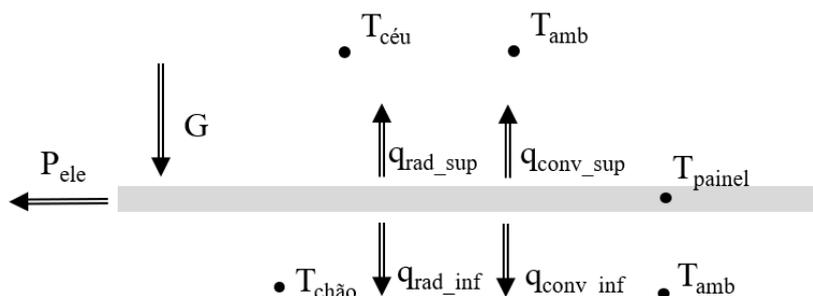


Figura 2. Representação da análise teórica (Reis, 2020).

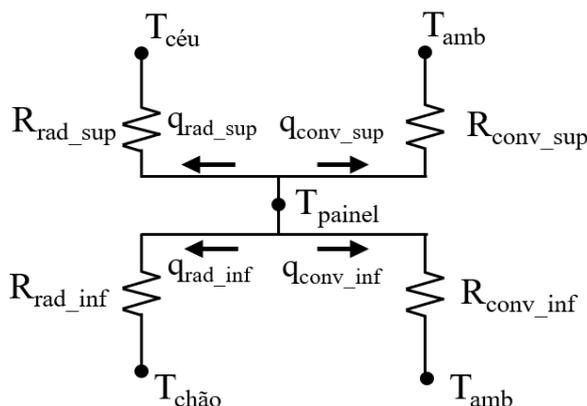


Figura 3. Diagrama de resistências térmicas (Reis, 2020).

As variáveis apresentadas nas Figs. 2 e 3 correspondem à: temperatura do céu ($T_{\text{céu}}$); temperatura do chão ($T_{\text{chão}}$); temperatura ambiente (T_{amb}); transferência de calor por convecção a partir da face superior do painel ($q_{\text{conv_sup}}$); transferência de calor por radiação a partir da face superior do painel ($q_{\text{rad_sup}}$); transferência de calor por convecção a partir da face inferior do painel ($q_{\text{conv_inf}}$); transferência de calor por radiação a partir da face inferior do painel ($q_{\text{rad_inf}}$); radiação solar incidente (G); $R_{\text{conv_sup}}$ e $R_{\text{rad_sup}}$ correspondem às resistências térmicas relacionadas à convecção e à radiação na face superior do painel; e, $R_{\text{conv_inf}}$ e $R_{\text{rad_inf}}$ correspondem às resistências térmicas relacionadas à convecção e à radiação na face posterior do painel

A temperatura do painel foi, então, determinada, analiticamente, pela Eq. (1):

$$T_{painel} = \frac{R_{conv}R_{rad_inf}T_{céu} + R_{conv}R_{rad_sup}T_{chão} + 2R_{rad_inf}R_{rad_sup}T_{amb} + q_tR_{rad_inf}R_{rad_sup}R_{conv}}{R_{conv}(R_{rad_sup} + R_{rad_inf}) + 2R_{rad_inf}R_{rad_sup}} \quad (1)$$

As resistências térmicas estão relacionadas aos coeficientes de transferência de calor (h_{rad} e h_{conv}) conforme mostrado nas Eq. (2) e (3):

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad}} \quad (2)$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_{conv}} \quad (3)$$

O coeficiente de transferência por convecção é calculado por (Armstrong; Hurley, 2010; Cole; Sturrock, 1977):

$$h_{conv_sup} = 5,7 U_{vento} + 11,4 \quad (4)$$

na qual U_{vento} é a velocidade do vento. O coeficiente de transferência de calor por radiação superior e inferior são determinados por (Kuehn; Ramsey; Threlkeld, 1998):

$$h_{rad_sup} = 4\sigma \left(\frac{T_{amb} + T_{céu}}{2} \right)^3 \quad (5)$$

$$h_{rad_inf} = \varepsilon\sigma (T_{painel} + T_{chão}) (T_{painel}^2 + T_{chão}^2) \quad (6)$$

na qual σ é a constante de Stefan-Boltzmann. Para um dia sem nuvens $T_{céu}$ é determinada por (Whillier, 1967):

$$T_{céu} = T_{amb} - 6 \quad (7)$$

De modo análogo, a temperatura do chão é determinada por:

$$T_{chão} = T_{amb} + 6 \quad (8)$$

Estas equações foram escolhidas por sua simplicidade e por não depender de propriedades como umidade relativa já que não havia equipamentos para medi-las.

A potência elétrica (P_{ele}) gerada pelo painel é determinada por:

$$P_{ele} = \eta(1 - \beta(T_{painel} - T_{ref}))GA_{pv} \quad (9)$$

onde η é a eficiência máxima do painel 16,5 %, β representa a perda a cada °C ou K acima da temperatura ideal de trabalho do painel ($T_{ref} = 25$ °C), cujo valor é $\beta = 0.44 \frac{\%}{^\circ C}$.

A Eq. (10) mostra o balanço energético do painel por unidade de área do módulo, em regime permanente:

$$q_t = \frac{G A_{pv} - P_{ele}}{L_{painel} C_{painel}} \quad (10)$$

na qual, A_{pv} é a área do painel fotovoltaico.

2.3 - Metodologia para análise térmica com uso de superfícies estendidas como sistema de resfriamento passivo

Uma análise similar foi realizada para o módulo fotovoltaico considerando um conjunto de aletas acopladas em sua face posterior. Na Fig. 4 tem-se o desenho esquemático do sistema analisado; considerou-se, para uma primeira análise, 36 aletas, em formato de L, com 150 mm de comprimento, 2 mm de espessura, 100 mm de altura e 25 mm de base. As aletas foram dispostas na região central, mais distante das molduras vertical e horizontal; esta escolha deve-se a resultados anteriores (Silva et al., 2020), os quais evidenciam que para monitoramento da temperatura de operação de módulos fotovoltaicos faz-se necessário somente a determinação da temperatura média de operação da região central do módulo, composta por 12 células, representando grande economia de recursos e instrumentação.

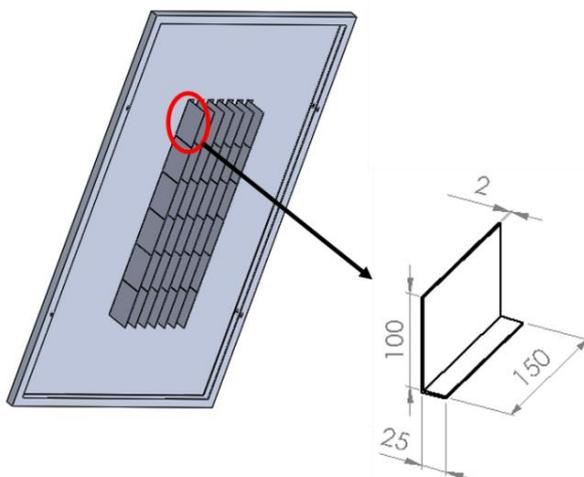


Figura 4. Desenho esquemático do painel com sistema de resfriamento passivo (vista da face posterior incluindo as dimensões das aletas).

A Fig. 5 é uma representação para a formulação das equações para determinação da temperatura do painel com o sistema de resfriamento passivo acoplado, tendo a indicação das trocas de calor efetuada pelas aletas (q_{aleta}).

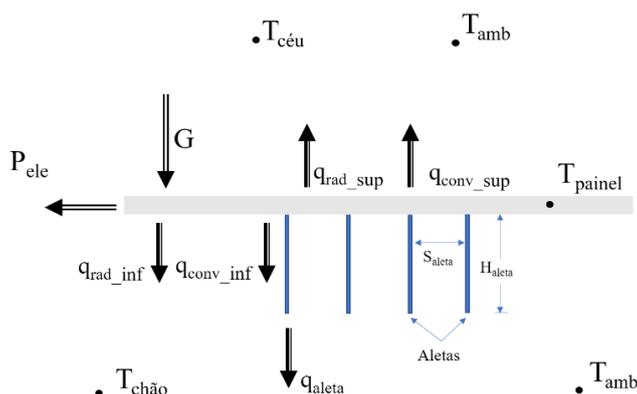


Figura 5. Representação da análise teórica, com resfriamento passivo.

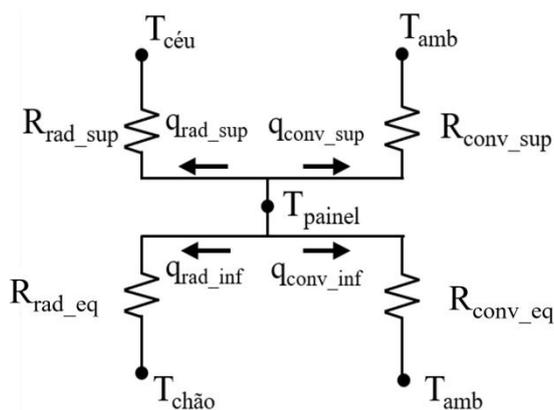


Figura 6. Diagrama de resistências térmicas equivalentes com adição de aletas na face posterior do painel.

Neste caso, a resistência térmica correspondente à adição das aletas deve ser incluída nas resistências da face posterior do painel. Na Fig. 6 os subscritos “eq” simbolizam resistências equivalentes na face posterior sendo, $R_{rad_{aleta}}$ a resistência de radiação das aletas e $R_{conv_{aleta}}$ a resistência de convecção das aletas;

Para o cálculo da resistência equivalente de radiação tem-se:

$$\frac{1}{R_{rad_{eq}}} = \frac{1}{R_{rad_{inf}}} + \frac{1}{R_{rad_{aleta}}} \quad (11)$$

Analogamente, para o cálculo da resistência de convecção equivalente:

$$\frac{1}{R_{conv_{eq}}} = \frac{1}{R_{conv_{inf}}} + \frac{1}{R_{conv_{aleta}}} \quad (12)$$

Assim, a temperatura do painel no caso de adição de sistema de resfriamento passivo foi determinada, analiticamente, pela Eq. (13):

$$T_{painel} = \frac{A+B + \left(h_{rad_{inf,ch\tilde{a}o}} + h_{rad_{inf,ch\tilde{a}o}} \frac{A_{livre}}{A_{painel}} \right) T_{ch\tilde{a}o} + h_{aleta} \eta_{aleta} n_f A_{sf} \frac{T_{amb}}{A_{painel}} + \left(h_{conv_{sup}} + h_{conv_{inf}} \frac{A_{livre}}{A_{painel}} \right) T_{amb}}{h_{conv_{sup}} + h_{rad_{sup,c\tilde{e}u}} + h_{rad_{sup,ch\tilde{a}o}} + \left(h_{conv_{inf}} + h_{rad_{inf,c\tilde{e}u}} + h_{rad_{inf,ch\tilde{a}o}} \right) \frac{A_{livre}}{A_{painel}} + h_{aleta} \eta_{aleta} n_f \frac{A_{livre}}{A_{painel}} - G \alpha \tau \eta_{ref} \beta_{ref}} \quad (13)$$

na qual,

$$A = G \alpha \tau \left(1 - \eta_{ref} (1 + \beta_{ref} T_{ref}) \right)$$

$$B = \left(h_{rad_{sup,c\tilde{e}u}} + h_{rad_{inf,c\tilde{e}u}} \right) T_{c\tilde{e}u}$$

A eficiência da aleta é dada pela expressão:

$$\eta_{fin} = \frac{\tanh \left(m \left(H_{aleta} + \frac{t_{aleta}}{2} \right) \right)}{m \left(H_{aleta} + \frac{t_{aleta}}{2} \right)} \quad (14)$$

$$m = \sqrt{\frac{h_{aleta} P}{k_{aleta} A_b}} \quad (15)$$

na qual A_b é a área da seção transversal da aleta dada pela multiplicação do comprimento pela espessura e k_{aleta} é a condutividade térmica do material do qual a aleta é feita, neste caso alumínio, cujo $k = 205 \frac{W}{mK}$.

A área exposta das aletas é dada por:

$$A_{sf} = 2 H_{aleta} (L_{aleta} + t_{aleta}) + A_b \quad (16)$$

A área do painel livre de aletas é dada por:

$$A_{livre} = A_{painel} - n_f A_b \quad (17)$$

sendo n_f a quantidade de aletas.

Os coeficientes de transferência de calor relativos à aleta são definidos a seguir:

$$h_{aleta} = \left(h_{livre}^n + (h_{forçada} + h_{rad,aleta})^n \right)^{\frac{1}{n}} \quad (18)$$

sendo,

$$h_{livre} = k \frac{Nu}{S_{aleta}} \quad (19)$$

$$h_{forçada} = \frac{k 0.664 \sqrt{Re} Pr^{1/3}}{L_{aleta}} \quad (20)$$

O coeficiente de transferência de calor por radiação nas aletas foi definido como:

$$h_{rad,aleta} = \varepsilon_{aleta} \sigma \left(T_{painel} + T_{amb} \right) \left(\left(T_{painel} \right)^2 + T_{amb}^2 \right) \quad (21)$$

Já os coeficientes de transferência de calor por radiação são definidos como:

$$h_{rad\ sup,céu} = \varepsilon F_{sup,céu} \sigma (T_{painel} + T_{sky})(T_{painel}^2 + T_{céu}^2) \quad (22)$$

$$h_{rad\ sup,chão} = \varepsilon F_{sup,chão} \sigma (T_{painel} + T_g)(T_{painel}^2 + T_{chão}^2) \quad (23)$$

$$h_{rad\ inf,céu} = \varepsilon F_{inf,céu} \sigma (T_{painel} + T_{sky})(T_{painel}^2 + T_{céu}^2) \quad (24)$$

$$h_{rad\ inf,chão} = \varepsilon F_{inf,chão} \sigma (T_{painel} + T_{chão})(T_{painel}^2 + T_{chão}^2) \quad (25)$$

cujos fatores de forma são dados pelas expressões:

$$F_{sup,céu} = \frac{1 + \cos(\Sigma)}{2} \quad (26)$$

$$F_{sup,chão} = \frac{1 - \cos(\Sigma)}{2} \quad (27)$$

$$F_{inf,céu} = \frac{1 + \cos(\pi - \Sigma)}{2} \quad (28)$$

$$F_{inf,chão} = \frac{1 - \cos(\pi - \Sigma)}{2} \quad (29)$$

3. RESULTADOS

Como mencionado anteriormente, alguns dados de entrada foram coletados experimentalmente, sendo este o caso da radiação solar incidente, da temperatura ambiente, da potência elétrica e da velocidade do vento. Aplicadas as condições experimentais ao modelo teórico apresentado - sem adição de sistema de resfriamento passivo - é possível verificar se o modelo teórico proposto prediz satisfatoriamente a temperatura média do painel fotovoltaico.

As Figs. 7 e 8 apresentam, respectivamente, a potência instantânea produzida e a variação de temperatura do módulo fotovoltaico, para os dias 22/08/2019 e 24/08/2019. Além disso, na Fig. 8, tem-se a temperatura obtida pelo modelo teórico apresentado na Seção 2.2, para o caso sem sistema de resfriamento passivo acoplado. O desvio médio calculado, entre os dados experimentais e aqueles obtidos por meio do modelo teórico, compreende o horário das 10h00 às 16h00, devido a este intervalo ser o de maior produção de energia e, portanto, de interesse em manter a temperatura do módulo dentro da faixa de segurança operacional.

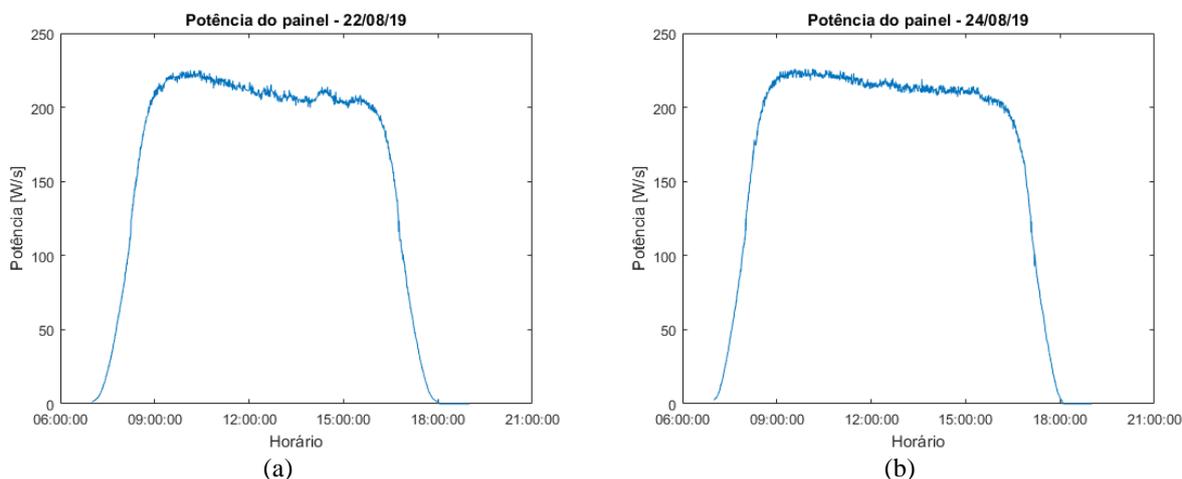


Figura 7. Potência instantânea produzida pelo módulo para dois dias distintos. (a) 22/08/2019; (b) 24/08/2019.

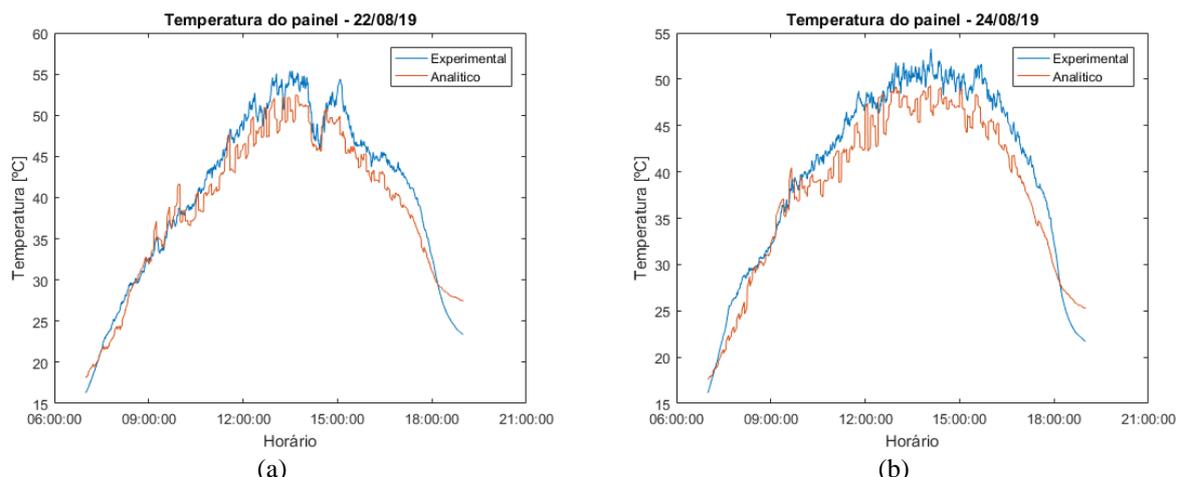


Figura 8. Comparação entre a temperatura média do módulo obtida experimentalmente e a temperatura prevista pela análise teórica. (a) 22/08/2019; (b) 24/08/2019.

Observa-se da Fig. 8 uma boa concordância entre os valores de temperatura coletados experimentalmente e os valores preditos analiticamente. O desvio médio ao longo do dia foi de 13% entre 10h00 e 16h00 (período mais quente do dia e mais importante para a análise de temperaturas). Assim, pode-se afirmar que o modelo teórico prediz satisfatoriamente a temperatura do módulo fotovoltaico.

A Figura 9 apresenta a curva experimental (para os dias 22/08/2019 e 24/08/2019) juntamente com a curva teórica da temperatura média do painel para o caso apresentado na Seção 2.3, com a presença de sistema de resfriamento passivo (conjunto de 36 aletas acopladas à face posterior do painel).

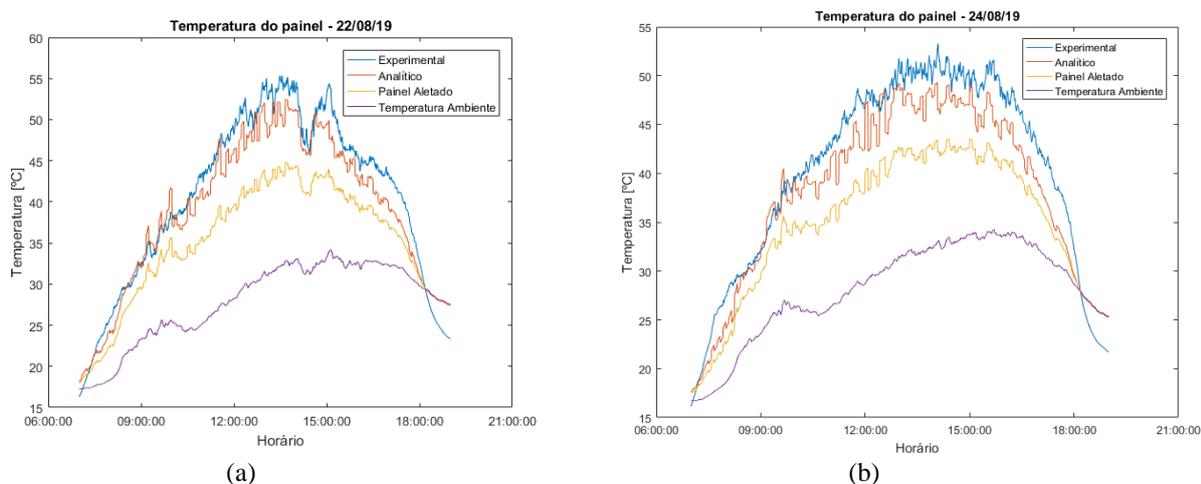


Figura 9. Comparação entre a temperatura média do módulo obtida experimentalmente e a temperatura prevista pela análise teórica, considerando o sistema de resfriamento passivo acoplado. (a) dia 22/08/2019; (b)24/08/2019

Observa-se uma redução significativa da temperatura média do painel com o uso de um conjunto de 36 aletas como sistema de resfriamento passivo - redução média de temperatura de 8,2 °C para o dia 22/08/2019 (com diferenças mínimas e máximas de 3,9°C a 12,4°C, respectivamente); e, redução média de 7,7 °C para o dia 24/08/2019 (com as diferenças mínimas e máximas de 4,8 °C e 11,1 °C, respectivamente). Logo, o uso de um sistema de resfriamento passivo composto por aletas distribuídas na face posterior do painel permite uma diminuição da temperatura de operação do módulo fotovoltaico, melhorando assim sua eficiência energética.

4. CONCLUSÕES

O modelo teórico para predição da temperatura do painel fotovoltaico para o caso sem a presença de sistema de resfriamento passivo mostrou-se satisfatório quando comparado aos valores experimentais de temperatura para dias distintos. A análise teórica considerando um conjunto de aletas como sistema de resfriamento acoplado à face posterior do módulo fotovoltaico é um ponto de partida para aplicações práticas visando o aumento da eficiência de painéis fotovoltaicos, assim como os conduzidos por El Mays et al. (2017). Estes autores utilizaram um dissipador de calor

composto de uma placa de alumínio com aletas paralelas e observaram uma diminuição média da temperatura do painel de 6,1 °C, aumentando, conseqüentemente, a eficiência de conversão e a potência de saída em 1,7% e 1,8 W, respectivamente, em comparação com o painel sem as estruturas acopladas.

Quanto à geometria do dissipador de calor (aletas), diferentes seções e arranjos de aletas foram avaliados chegando-se aos valores ótimos apresentados neste trabalho. Também foi considerado o acoplamento dissipador-módulo, considerando a área de contato para maior transferência de calor e o isolamento para minimizar as perdas térmicas. Para tanto, um estudo analítico-numérico como os realizados por Bayrak e Fabri. (2019), os quais avaliaram o desempenho de células fotovoltaicas com estrutura celular policristalina aplicando 10 diferentes configurações de aletas (comprimento, tamanho, número e matriz), foram realizados antes da aplicação do sistema de resfriamento passivo aqui considerado.

Vale mencionar que a próxima etapa do projeto, em andamento, é verificar experimentalmente se esta redução de temperatura, observada da análise teórica, ocorrerá e será de mesma magnitude.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNESP, ao Instituto de Pesquisa em Bioenergia (IPBEN), ao apoio financeiro fornecido pelo PPGEM – UNESP/FEIS, ao CNPq (Processo 458702/2014-5) e a FAPESP (Processos 2013/15431-7 e 2019/02566-8).

6. REFERÊNCIAS

- AMELIA, A. R.; IRWAN, Y. M.; LEOW, W. Z.; IRWANTO, M.; SAFWATI, I.; ZHAFARINA, M. Investigation of the effect temperature on photovoltaic (PV) panel output performance. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, v. 6, n. 5, p. 682-688, 2016
- ARMSTRONG, S.; HURLEY, W. G. A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions. *Applied Thermal Engineering*, v. 30, n. 11-12, p. 1488-1495, 2010.
- BAYRAK, F., FABBRI, F. (2019). Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. *Solar Energy*, 188(June), 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.036>
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons, 2013.
- COLE, R. J.; STURROCK, N. S. The convective heat exchange at the external surface of buildings. *Building and Environment*, v. 12, n. 4, p. 207-214, 1977.
- COTFAS, D. T.; COTFAS, P. A.; MACHIDON, O. M. Study of temperature coefficients for parameters of photovoltaic cells. *International Journal of Photoenergy*, 2018.
- EL MAYS, A.; AMMAR, R.; HAWA, M.; AKROUSH, M. A.; HACHEM, F.; KHALED, M.; RAMADAN, M. Improving Photovoltaic Panel Using Finned Plate of Aluminum. *Energy Procedia*, [s. l.], v. 119, p. 812–817, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.103>>
- JAKHAR, S.; SONI, M.S.; GAKKHAR, N. Historical and recent development of concentrating photovoltaic cool-ing technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60, p. 41–59, 2016.
- KUEHN, T. H.; RAMSEY, J. W.; THRELKELD, J. L. *Thermal environmental engineering*. Prentice-Hall, 1998.
- MEYER, R. D.; SAUAIA, R.; KOLOSZUK, R. A FORÇA DA ENERGIA SOLAR EM TEMPOS DE PANDEMIA disponível em:<<http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar/a-forca-da-energia-solar-em-tempos-de-pandemia.html>>. Acesso em 25 outubro de 2020.
- PARIDA, B.; INIYAN, S.; GOIC, R. A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 1625–1636, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>>
- PORTAL SOLAR S.A. Dados do Mercado de Energia Solar no Brasil. 2020. São Paulo. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/mercado-solar-brasileiro-ja-cresceu-1-gw-em-2020-diz-absolar.html>>. Acesso em 25 outubro 2020.
- REIS, R. C. Análise do efeito da convecção forçada para resfriamento de sistema térmico fotovoltaico. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. 2020.
- Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2020, disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf
- SAADIA, D; SAUAIA, R; KOLOSZUK, R. Energia Solar: Novas tecnologias e Modelos de Negócio para a Recuperação Econômica do Brasil. *Revista O Setor Elétrico*. Julho.2020.
- SIECKER, J.; KUSAKANA, K.; NUMBI, B. P. A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 79, p. 192-203, 2017.
- SILVA, D. D.; SILVA, J. B. C.; REIS, R. C.; CARDOSO, E. M. Análise experimental da temperatura de células fotovoltaicas para diferentes condições de operação. In: *Proceedings of VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Fortaleza*, 26 a 30 de outubro de 2020.

WANG, Y.; ZHOU, S.; HUO, H. Cost and CO₂ reductions of solar photovoltaic power generation in China: Perspectives for 2020. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 39, n. 2014, p. 370–380, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.027>>

WHILLIER, A. Design factors influencing solar collectors. *Low temperature engineering applications of solar energy*, p. 254-262, 1967.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.