

SELEÇÃO DA RAZÃO DE PREENCHIMENTO PARA TERMOSSIFÕES APLICADOS EM UM SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO/TÉRMICO

Pedro Leineker Ochoski Machado, pedmac@alunos.utfpr.edu.br¹

Victor Vaurek Dimbarre, victordimbarre@alunos.utfpr.edu.br²

Romeu Miqueias Szmoski, rmszmoski@utfpr.edu.br³

Paulo Henrique Dias dos Santos, psantos@utfpr.edu.br¹

Thiago Antonini Alves, antonini@utfpr.edu.br²

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC-CT), Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 5000, Ecoville, CEP 81.280-340, Curitiba, PR, Brasil

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC-PG), Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330, Jardim Carvalho, CEP 84.017-220, Ponta Grossa, PR, Brasil

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento Acadêmico de Física (DAFIS-PG), Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330, Jardim Carvalho, CEP 84.017-220, Ponta Grossa, PR, Brasil

Resumo. *Uma alternativa para a produção de energia limpa são os painéis fotovoltaicos, porém estes têm baixa eficiência, especialmente quando estão funcionando acima da sua temperatura ótima de operação. Dessa forma, a utilização de termossifões e tubos de calor em painéis fotovoltaicos está sendo cada vez mais estudada, tanto para o resfriamento do painel fotovoltaico, como para compor um sistema híbrido fotovoltaico/térmico (PV/T). Neste estudo foi realizada uma investigação experimental sobre o desempenho térmico de termossifões com diferentes razões de preenchimento (30%, 40%, 50% e 60%) para aplicação em um sistema híbrido PV/T. Essa análise experimental consistiu na simulação do funcionamento dos termossifões baseados no aquecimento do evaporador pelo efeito Joule resultante da dissipação da energia elétrica sobre uma fita resistiva (10W, 20W, 30W, 40W e 50W), e o arrefecimento do condensador pela água que flui na sua superfície (18°C e 1L/min). A análise térmica dos termossifões foi baseada na distribuição de temperaturas das regiões dos dispositivos ao longo do tempo, bem como sua resistência térmica em função da carga térmica aplicada. Os resultados mostraram que o comportamento dos termossifões com razões de preenchimento de 30% e 60% destoou do comportamento dos outros dois, indicando que essas razões de preenchimento não proporcionaram a correta operação. Na análise da resistência térmica foi verificado, de uma forma em geral, que a razão de preenchimento resultou em menores valores de resistência térmica para as cargas térmicas aplicadas, concluindo-se assim que o termossifão com o melhor desempenho térmico entre os testados foi o com razão de preenchimento de 50% em relação ao volume do evaporador.*

Palavras-chave: *Termossifão, Tubo de Calor, Energia Solar, Sistema Híbrido PV/T, Experimental.*

Abstract. *One alternative for clean energy production are photovoltaic panels, but these have low efficiency, especially when they are performing above their optimum operating temperature. Thus, the use of thermosyphons and heat pipes in PV panels is being increasingly studied, both for panel cooling and to compose a hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) system. In this study, an experimental investigation was conducted on the thermal performance of thermosyphons with different filling ratios (30, 40, 50, and 60%) for application in a hybrid PV/thermal system. The investigation consisted in simulating the operation of the devices based on the heating of the evaporator by the Joule effect resulting from the dissipation of electrical energy on a resistive tape (10, 20, 30, 40, and 50W), and the cooling of the condenser by the water flow on its surface (18°C and 1L/min). The thermal analysis of the devices was based on the temperature distribution of the device regions over time, as well as their thermal resistance as a function of the applied thermal load. The results showed that the behavior of the thermosyphons with 30 and 60% filling ratios differed from the behavior of the other two devices, indicating that these filling ratios did not provide the correct operation of these devices. As for the thermal resistance analysis, it was verified that, in general, the 50% filling ratio resulted in lower thermal resistance values for the applied thermal loads, thus concluding that the device with the best thermal performance among those tested was the thermosyphon with a 50% filling ratio.*

Keywords: *thermosyphon, heat pipe, solar energy, PV/T hybrid, experimental.*

1. INTRODUÇÃO

O conceito de energia solar está baseado no aproveitamento da luz e do calor fornecido pela radiação solar. A energia solar pode ser aproveitada por tecnologias passivas ou ativas. As tecnologias passivas não realizam a conversão da luz ou energia térmica em outra forma de energia, sendo utilizada majoritariamente para aquecimento de residências, por exemplo, enquanto as tecnologias ativas utilizam algum meio mecânico ou elétrico para realizar a transformação da radiação solar em outra forma de energia, como por exemplo o uso de tecnologias fotovoltaicas e também tecnologias térmicas, como coletores solares (Kabir *et al.*, 2018).

Nas tecnologias fotovoltaicas, mais especificamente nas células fotovoltaicas, a radiação solar incide em uma junção de dois materiais semicondutores dopados de forma a haver a presença de excesso de elétrons e lacunas, ocasionando a movimentação de cargas positivas e negativas a partir da quebra de ligações entre os elétrons livres e as lacunas (Machado, 2022).

A eficiência de conversão em células de silício policristalino é próxima de 22% (Diniz *et al.*, 2021). A parcela de energia que não é convertida por ser refletida ou então absorvida, contribuindo para o aquecimento das células e redução de sua eficiência, ou seja, a eficiência de um painel fotovoltaico diminui com o aumento de sua temperatura e vice-versa. Cada painel fotovoltaico apresenta um coeficiente de temperatura, que indica o quanto de eficiência será perdida com o acréscimo de 1°C em sua temperatura, coeficiente esse que varia de acordo com as características do painel fotovoltaico. Para um painel fotovoltaico de silício monocristalino de 20W de potência nominal, por exemplo, Hallal *et al.* (2020) encontraram um coeficiente de temperatura de 0,9% por °C em suas análises experimentais.

Uma das formas de realizar o controle da temperatura do painel fotovoltaico e elevar o aproveitamento da energia solar que incide no painel fotovoltaico é chamado de sistema híbrido fotovoltaico/térmico, que consiste na integração entre um painel fotovoltaico e um coletor solar. Esse sistema apresenta as vantagens de elevar a eficiência de conversão de energia do painel fotovoltaico pelo decréscimo em sua temperatura, acréscimo em sua eficiência energética global pelo acréscimo da parcela térmica, aumento da vida útil do painel fotovoltaico devido à redução do estresse térmico e redução do espaço físico necessário para geração dessas duas formas de energia (Moradgholi *et al.*, 2018).

Essa integração entre os dois sistemas pode ser realizada por termossifões ou tubos de calor, como investigado em Gang *et al.* (2012), Moradgholi *et al.* (2018), Zhang *et al.* (2019) e Brahim e Jemni (2021). Os termossifões ou tubos de calor são colocados em contato com o parte traseira do painel fotovoltaico de forma a absorver sua energia e transferi-la para um fluido em escoamento aquecendo-o.

Termossifões, também denominados tubos de calor assistidos por gravidade, são dispositivos passivos que utilizam como princípio de transferência de calor o calor latente de vaporização de um fluido de trabalho. São compostos por um invólucro, normalmente um tubo metálico oco, que é evacuado e preenchido com uma certa quantidade de fluido de trabalho. Pelo fato do dispositivo ser evacuado, o fluido de trabalho passa por um processo de mudança de fase em temperaturas inferiores às que ocorreria à pressão ambiente, favorecendo assim a transferência de calor entre suas extremidades (Reay *et al.*, 2014).

Esses dispositivos passivos de transferência de calor possuem três regiões com distintas funções em seu funcionamento, como pode ser observado na Fig. 1. A região inferior, denominada de evaporador, tem como função absorver energia do meio externo e realizar o processo de evaporação do fluido de trabalho. Por diferença de pressão, o vapor do fluido ascende para a região do condensador, que tem como função dissipar a energia carregada pelo vapor do fluido para um meio frio externo, ocasionando a condensação do vapor do fluido. Ao condensar, o fluido em estado líquido retorna para a região do evaporador escoando pelas paredes do termossifão devido à ação da gravidade, fechando o ciclo termodinâmico. A seção adiabática é uma região de transição entre o evaporador e condensador, não havendo troca térmica com o ambiente externo nessa região (Mantelli, 2021).

Tanto as propriedades do invólucro quanto as do fluido de trabalho impactam diretamente no desempenho térmico de um termossifão. O invólucro deve possuir elevada condutividade térmica e resistência mecânica suficiente para suportar as variações de pressão do fluido de trabalho. O fluido de trabalho, além de ser compatível quimicamente com o material do invólucro, deve apresentar estabilidade, baixa toxicidade, elevada condutividade e faixa de operação adequada ao gradiente de temperatura em que o termossifão é submetido. Outros fatores que influenciam o desempenho desses dispositivos passivos de transferência de calor são a sua inclinação e a quantidade de fluido de trabalho, denominada de razão de preenchimento (Peterson, 1994).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a seleção de termossifões para aplicação em um sistema híbrido fotovoltaico/térmico (PV/T) a partir de uma investigação experimental da influência da razão de preenchimento em seu desempenho térmico.

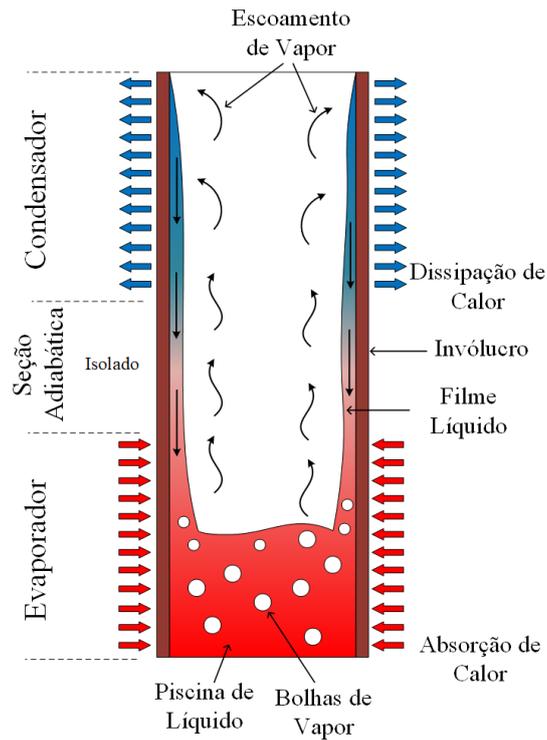


Figura 1. Princípio de funcionamento de um termossifão (Autoria Própria).

2. METODOLOGIA

Essa seção descreve as características dos termossifões, assim como o aparato e procedimentos experimentais utilizados para execução desse trabalho. O processo de fabricação dos termossifões (limpeza, montagem, teste de estanqueidade, processo de evacuação e preenchimento com o fluido de trabalho), testes experimentais e análise térmica foram baseados em informações contidas em Antonini Alves *et al.* (2018).

2.1. Termossifões

Os termossifões testados foram fabricados em tubos de cobre ASTM B75 sem costura. A região do evaporador e a seção adiabática possuem diâmetro externo de 9,52mm (3/8") e diâmetro interno de 7,94mm (5/16"), enquanto que a região do condensador possui diâmetros interno e externo de 11,11mm (7/16") e 12,70mm (1/2"), respectivamente. A união entre as regiões com diferentes diâmetros foi realizada por uma bucha interna usinada em cobre, apresentada na Fig. 2. A seleção dos diâmetros do termossifão pode ser encontrada em Machado *et al.* (2021).



Figura 2. Bucha interna de cobre (Autoria Própria).

O evaporador foi construído com um comprimento de 610mm, correspondente ao comprimento do painel fotovoltaico, enquanto que a seção adiabática e o condensador possuem comprimentos de 160mm e 60mm, respectivamente. Para esta investigação experimental foram construídos quatro termossifões distintos com razões de preenchimento (RP) de 30%, 40%, 50% e 60% em relação ao volume do evaporador. O fluido de trabalho utilizado foi água destilada. A Tabela 1 apresenta um resumo das principais características dos termossifões testados.

Tabela 1. Características dos termossifões (Autoria Própria).

Termossifã o	Diâmetro Externo [mm]		Diâmetro Interno [mm]		Comprimento [mm]			Fluido de Trabalho	RP [%]
	Evap e Adiab	Cond	Evap e Adiab	Cond	Evap	Adiab	Cond		
#1	9,52	12,70	7,94	11,11	610	160	60	Água Destilada	30
#2									40
#3									50
#4									60

O condensador foi inserido em um *manifold* feito a partir de um tê de PVC de 60mm de diâmetro. Nas duas extremidades do tê de PVC foram acopladas reduções internas de PVC de 60mm para 25mm. Nas reduções foram acoplados tubos de PVC de 25mm de diâmetro, contendo adaptações de 25mm para 3/4", permitindo o acoplamento de um espigão para que se possa realizar a conexão do *manifold* com mangueiras de silicone, permitindo a circulação de água. A montagem completa do sistema de circulação de água para o teste dos termossifões com diferentes razões de preenchimento para aplicação em um sistema híbrido fotovoltaico/térmico pode ser observada na Fig. 3.



Figura 3. Sistema de circulação de água no condensador (Autoria Própria).

2.2. Aparato Experimental

O aparato experimental, mostrado na Fig. 4 foi composto por uma fonte de alimentação *Agilent*TM U8002A (A), um sistema de aquisição de dados *Agilent*TM 34970A com multiplexador de 20 canais (B), um microcomputador portátil *Dell*TM (C), um banho ultratermostatizado *LimaTec*TM LT204 (D) e um medidor de vazão com área variável *Omega Engineering*TM FL-2051 (E).

Todo o comprimento das regiões do evaporador e da seção adiabática foi coberto com uma fita termosensível *Kapton*TM. Para simular o aquecimento do evaporador, uma fita resistiva de liga de crômio-níquel *Omega Engineering*TM foi enrolada sobre todo o evaporador e ligada à fonte de alimentação utilizando cabos de teste com cliques. Para simular um *manifold*, o tê de PVC foi conectado, a partir de mangueiras flexíveis de silicone e conexões, ao banho ultratermostatizado, permitindo o arrefecimento do condensador a partir da água que escoava sobre sua superfície.

Um total de 9 termopares *Omega Engineering*TM do tipo K foram responsáveis pela aquisição de dados de temperatura durante os testes experimentais, cinco igualmente espaçados no evaporador ($T_{evap,1}$, $T_{evap,2}$, $T_{evap,3}$, $T_{evap,4}$ e $T_{evap,5}$), um na seção adiabática (T_{adiab}), um no condensador (T_{cond}), um na entrada do *manifold* (T_{ent}) e outro termopar na saída do *manifold* (T_{sai}). Para evitar perdas térmicas para o ambiente, as regiões do evaporador e seção adiabática foram isoladas utilizando uma camada de lã de vidro em contato direto com as regiões e cobertas com um tubo de esponja blindado.

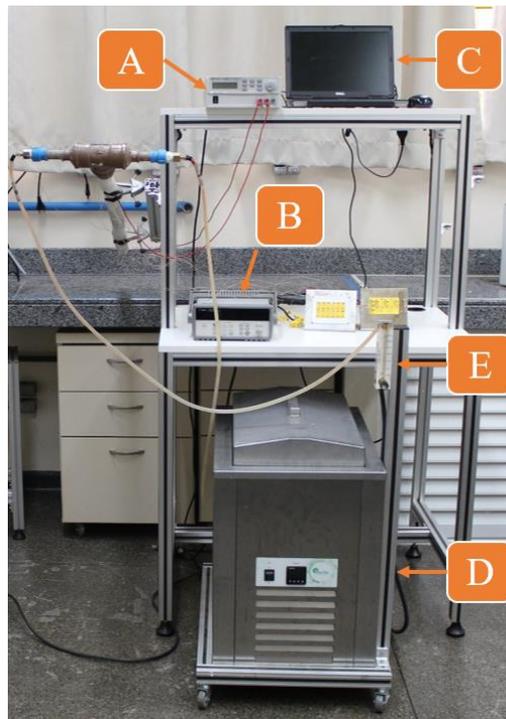


Figura 4. Aparato experimental (Autoria Própria).

2.3. Procedimento Experimental

O aquecimento do evaporador foi realizado a partir do efeito Joule resultante da dissipação da energia elétrica sobre a fita resistiva enrolada em volta do evaporador. Foram aplicadas cargas térmicas de 10W a 50W com um passo de 10W, enquanto que o arrefecimento do condensador foi realizado através de um escoamento de água com vazão volumétrica de 1L/min a uma temperatura de $18,0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. As cargas térmicas foram aplicadas durante um tempo de aproximadamente 30 minutos e o termossifão foi mantido a uma inclinação de 25° para a horizontal (evaporador abaixo do condensador) correspondente à latitude da cidade de Ponta Grossa/PR: $25^{\circ}05'42''$ Sul.

A aquisição de dados foi realizada pelo sistema de aquisição de dados e através do *software Keysight™ Benchlink Data Logger 3* com um intervalo de 10 segundos entre cada registro.

Para avaliar o desempenho térmico do termossifão foi realizada uma análise térmica baseada na distribuição de temperatura ao longo do tempo nas diferentes regiões dos termossifões e a resistência térmica (R_{th} – Eq. (1)). A resistência térmica foi definida como a razão entre a diferença de temperatura média no evaporador (T_{evap}) e no condensador (T_{cond}) e a carga térmica aplicada ao evaporador (q_{th}):

$$R_t = \frac{T_{evap} - T_{cond}}{q} \quad (1)$$

As principais incertezas experimentais relacionadas aos instrumentos de medição utilizados nesse trabalho estão relacionadas com os termopares ($\pm 0,25^{\circ}\text{C}$), medidor de vazão ($\pm 0,00005\text{m}^3/\text{s}$) e fonte de alimentação ($\pm 1\% \text{W}$). Foi utilizado o procedimento de propagação da incerteza fornecido no *EES™ (Engineering Equation Solver)* para determinar a propagação da incerteza.

3. RESULTADOS

Na Figura 5 é apresentado o comportamento das distribuições de temperaturas ao longo do tempo nos termossifões com razões de preenchimento de 30%, 40%, 50% e 60%. Pode ser observado que os termossifões com razões de preenchimento de 30% e 60% se comportaram de uma forma muito diferente em relação aos dispositivos passivos com razões de preenchimento de 40% e 50%. Esses termossifões, Termossifão #2 e Termossifão #3, se comportaram como o esperado: inicialmente as temperaturas estavam em equilíbrio, aumentando com a aplicação da carga térmica até que se atinja um regime quase permanente, o que também foi verificado para as demais cargas térmicas aplicadas. Além disso, todas as temperaturas na região do evaporador foram superiores às temperaturas na seção adiabática, que também foram superiores à temperatura no condensador. Ao comparar a temperatura das regiões dos termossifões, pode ser notado que esses apresentaram valores muito próximos para todas as cargas térmicas aplicadas, indicando que esses termossifões apresentaram um desempenho térmico semelhante.

As instabilidades de temperatura verificadas para esses dispositivos passivos de transferência de calor estão relacionadas com o efeito de ebulição em gêiser, comum em termossifões, em que, inicialmente, pequenas bolhas de vapor são formadas na piscina de líquido, coalescendo posteriormente em uma bolha de maior dimensão que ascende para o condensador em elevada velocidade, transferindo uma grande quantidade de energia entre as regiões do condensador e evaporador, justificando os picos e quedas de temperatura nessas duas regiões. Para as cargas térmicas mais baixas o processo de evaporação leva um maior tempo para ocorrer, ocasionando com que as bolhas ascendam para o condensador em uma velocidade mais alta em comparação às cargas térmicas mais altas, em que a evaporação ocorre de forma mais rápida, tornando assim mais visíveis essas grandes variações de temperatura para cargas térmicas mais baixas (Souza *et al.*, 2022).

Ao analisar agora as Figuras 5(a) e 5(d) pode ser notado que esses termossifões com razões de preenchimento de 30% e 60% apresentaram temperaturas muito superiores do que os resultados observados para os termossifões com razões de preenchimento de 40% e 50%, não sendo verificado o comportamento esperado para tais dispositivos. Para o Termossifão #1, uma possível hipótese para esse comportamento é a falta de fluido de trabalho no evaporador, uma vez que esse dispositivo passivo de transferência de calor é o que apresenta a menor quantidade de fluido de trabalho entre todos os testados (30% do volume do evaporador). A falta de fluido de trabalho ocasiona um superaquecimento da região do evaporador, uma vez que essa região apresenta pouco fluido de trabalho para realizar o transporte de energia dessa região para as demais regiões do dispositivo. No momento em que ocorre o retorno do fluido de trabalho condensado do condensador, ocorre o resfriamento da região, ocasionando os diversos picos e vales de temperatura observados nessa Figura 5(a). Enquanto que para o Termossifão #4, termossifão com razão de preenchimento de 60%, uma possível justificativa para o comportamento da Figura 5(d) é que o dispositivo apresentava uma maior quantidade de fluido de trabalho no evaporador, levando mais tempo para que ocorresse o processo de evaporação devido à maior massa de fluido de trabalho, fazendo com que as bolhas ascendessem para o condensador com uma velocidade muito alta. Na transição entre região adiabática e condensador, a velocidade alta somada à constricção do fluxo de fluido de trabalho devido à conexão (bucha interna) entre as regiões do termossifão com diferentes diâmetros, pode ter impedido o retorno de fluido de trabalho para o evaporador (limite de arrasto), fazendo com que o evaporador operasse seco, fenômeno chamado de “dry out” (Mantelli, 2021).

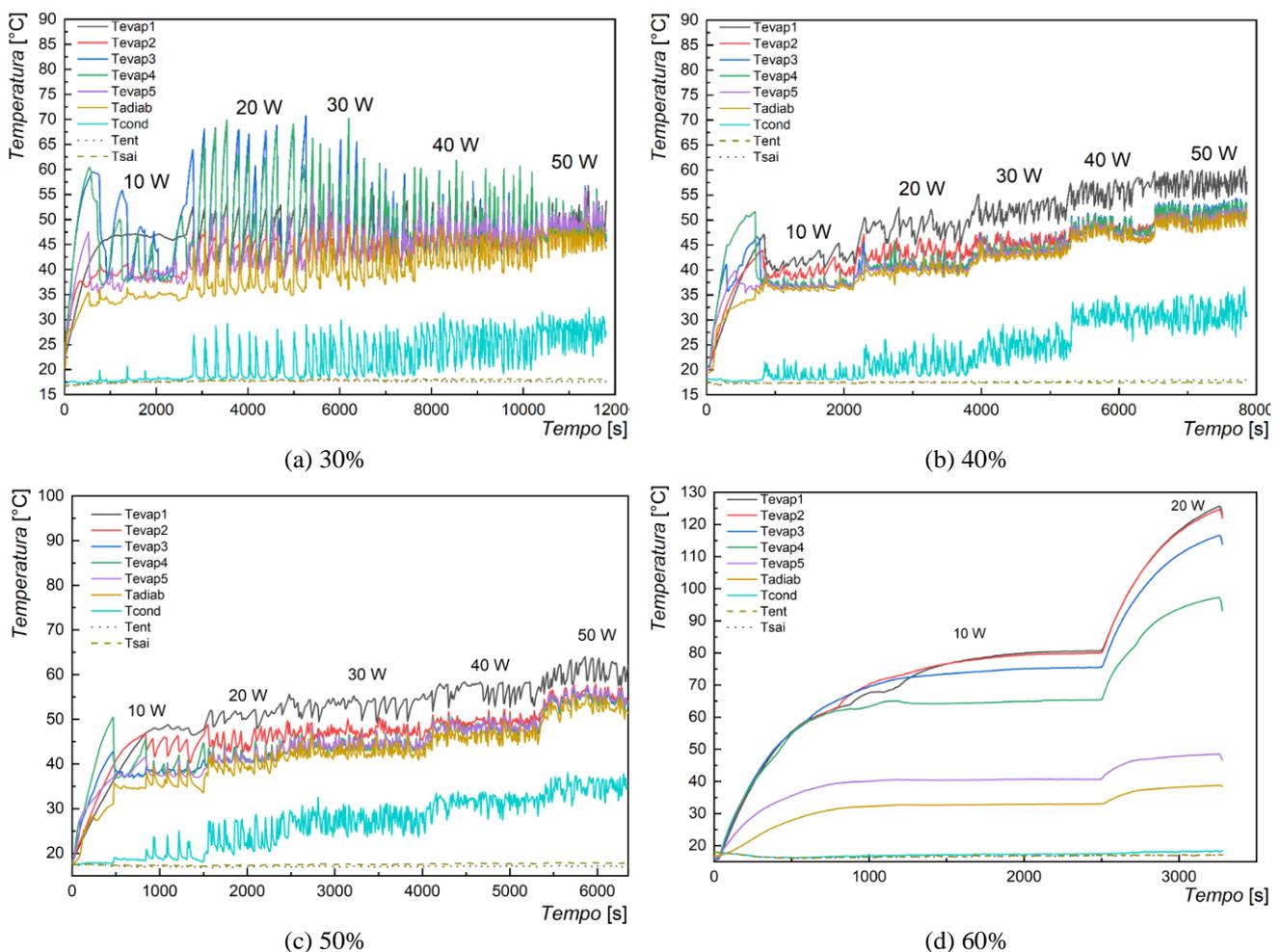


Figura 5. Distribuição de temperaturas ao longo do tempo para diferentes razões de preenchimento (Autoria Própria).

Dessa forma, verificando o comportamento destoante dos Termossifões #1 e #4, com razões de preenchimento de 30% e 60%, respectivamente, em relação aos outros dois termossifões, #2 (RP 40%) e #3 (RP 50%), descartaram-se as duas razões de preenchimento extremas e foram considerados na análise de resistência térmica apenas os resultados para os Termossifões #2 e #3. A Figura 6 apresenta os resultados de resistência térmica, R_{th} , para os dois termossifões em função da carga térmica aplicada.

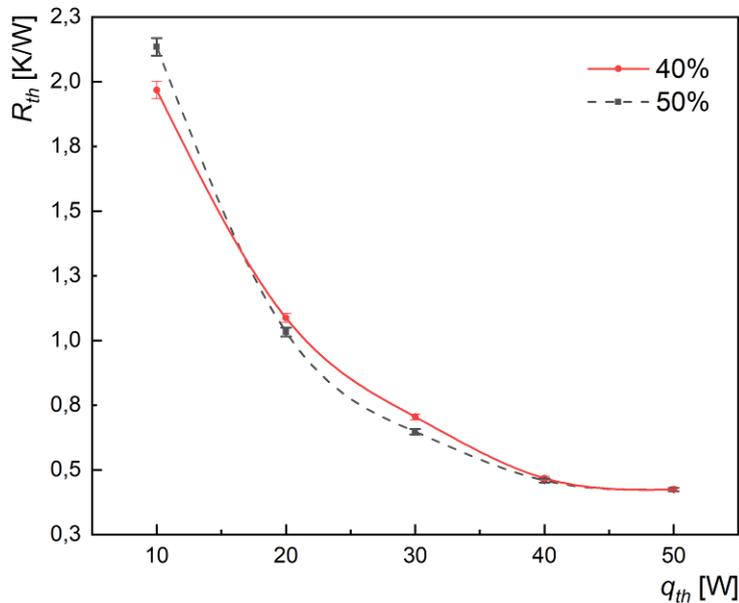


Figura 6. Resistência térmica em função da carga térmica aplicada (Autoria Própria).

Pela Figura 6 pode ser verificado que, primeiramente, os dispositivos passivos de transferência de calor se comportaram conforme esperado, uma vez que, pela Eq. (1), nota-se que a resistência térmica é inversamente proporcional à carga térmica aplicada, o que também foi verificado nos resultados experimentais. Ao se comparar os dois dispositivos é possível observar que, com exceção da primeira carga térmica aplicada, a razão de preenchimento de 50% resultou em valores menores de resistência térmica em relação ao termossifão com 40% do seu evaporador preenchido com fluido de trabalho.

Considerando que, quanto menor for a resistência térmica, mais eficiente será a transferência de calor, pode ser concluído então que, dentre as quatro razões de preenchimento analisadas, a razão de preenchimento que obteve o melhor desempenho térmico para o termossifão proposto foi a razão de preenchimento com 50% do volume do evaporador, sendo então escolhido o Termossifão #3 para compor o sistema híbrido fotovoltaico/térmico.

4. CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi realizada uma análise experimental da influência da razão de preenchimento em termossifões para aplicação em um sistema híbrido fotovoltaico/térmico. O funcionamento dos termossifões foi simulado a partir do aquecimento do evaporador pelo efeito Joule resultante da dissipação de potência elétrica sobre uma fita resistiva enrolada nessa região, enquanto o condensador foi arrefecido a partir de um escoamento de água a uma temperatura de aproximadamente 18°C em uma vazão de 1L/min. A análise térmica foi baseada na distribuição de temperatura ao longo do tempo para os dispositivos passivos de transferência de calor expostos a diferentes cargas térmicas e também em suas resistências térmicas. Os resultados da distribuição de temperatura mostraram que os termossifões com razão de preenchimento de 30% e 60%, Termossifões #1 e #4, respectivamente, não operaram como esperado, apresentando valores de temperatura muito superiores aos outros dois dispositivos, Termossifões #2 e #3. Na análise da resistência térmica foi verificado que, em geral, a razão de preenchimento de 50% do volume do evaporador, Termossifão #3, resultou em menores valores de resistência térmica, sendo assim selecionado para compor o sistema híbrido fotovoltaico/térmico.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são prestados à CAPES, à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UTFPR, à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e ao Departamento Acadêmico de Mecânica da UTFPR/Campus Ponta Grossa.

6. REFERÊNCIAS

- Antonini Alves, T., Krambeck, L. & Santos, P.H.D., 2018. "Heat pipe and thermosyphon for thermal management of thermoelectric cooling". In: Aranguren, P. (Org.). *Bringing thermoelectricity into reality*. InTech, London, UK.
- Brahim, T. & Jemni, A., 2021. "Parametric study of photovoltaic/thermal wickless heat pipe solar collector". *Energy Conversion and Management*, Vol. 239, p. 114236.
- Diniz, F.L.J., Vital, C.V.P. & Gómez-Malagón, L.A., 2022. "Parametric analysis of energy and exergy efficiencies of a hybrid PV/T system containing metallic nanofluids". *Renewable Energy*, Vol. 186, p. 51-65.
- Gang, P., Huide, F., Huijuan, Z. & Jie, J., 2012. "Performance study and parametric analysis of a novel heat pipe PV/T system". *Energy*, Vol. 37, n. 1, p. 384-395.
- Hallal, J., Hammoud, M., & Moussa, T., 2020. "Experimental optimization of the Si photovoltaic panels cooling system on maximum allowable temperature criteria". *Renewable Energy Focus*, Vol. 35, p. 178-181.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A.A. & Kim, K.-H., 2018. "Solar energy: Potential and future prospects". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, p. 894-900.
- Machado, P.L.O., 2022. *Sistema híbrido fotovoltaico/térmico para geração de energia elétrica e aquecimento de água utilizando termossifões*. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa/PR, Brasil.
- Machado, P.L.O., Bartmeyer, G.A., Dimbarre, V.V., Souza, R.O., Lenart, V.M., Turchiello, R.F., Santos, P.H.D. & Antonini Alves, T., 2021. "Thermal performance of thermosyphons intended for evacuated tube solar collector using graphene oxide nanofluids". *Journal of Nature, Science & Technology*, Vol. 1, p. 14-19.
- Mantelli, M.B.H., 2021. *Thermosyphons and Heat Pipes: Theory and Applications*. Springer International Publishing.
- Moradgholi, M., Nowee, S.M. & Farzaneh, A., 2018. "Experimental study of using Al₂O₃/methanol nanofluid in a two phase closed thermosyphon (TPCT) array as a novel photovoltaic/thermal system". *Solar Energy*, Vol. 164, p. 243-250.
- Peterson, G. P., 1994. *An Introduction to Heat Pipes: Modeling, Testing and Application*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Reay, D.A., Kew, P.A. & McGlen, R.J., 2014. *Heat Pipes: Theory, Design and Applications*. Elsevier, Waltham, MA, USA.
- Souza, D.O., Machado, P.L.O., Chiarello, C., Santos, E.N., Silva, M.J., Santos & P.H.D, Antonini Alves, T., 2022. "Experimental study of hydrodynamic parameters regarding on geyser boiling phenomenon in glass thermosyphon using wire-mesh sensor". *Thermal Science*, Vol. 26, n. 2, p. 1391-1404.
- Zhang, T., Yan, Z.W., Xiao, L., Fu, H.D., Pei, G. & Ji, J., 2019. "Experimental, study and design sensitivity analysis of a heat pipe photovoltaic/thermal system". *Applied Thermal Engineering*, Vol. 162, 114318.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.