



## Investigação experimental de um coletor solar assistidos por termossifões

### *Experimental investigation of a solar collector assisted by thermosyphons*

Victor Vaurek Dimbarre (orientado)\*, Thiago Antonini Alves (orientador)<sup>†</sup>,  
Samuel Heusi Moreira<sup>‡</sup>, Giovane Nogueira Rossi<sup>§</sup>, Gabriel Nunes Maia Junior<sup>¶</sup>,  
Pedro Leineker Ochoski Machado<sup>‡</sup>

### RESUMO

Os coletores solares assistidos por termossifões são equipamentos que utilizam a radiação solar para realizar o aquecimento de água. Os termossifões são dispositivos passivos de transferência de calor, que através do calor de latente de vaporização, transferem energia na forma de calor com elevada eficiência térmica. Nesse trabalho foi realizada uma investigação experimental do desempenho térmico de um protótipo de coletor solar assistido por sete termossifões sob condições meteorológicas reais considerando diferentes vazões volumétricas. Os resultados experimentais mostraram que esse protótipo apresentou elevada eficiência térmica, podendo chegar até 89,9%, quando comparados aos valores de referência de coletores solares convencionais que operam com eficiência na faixa de 30%.

**Palavras-chave:** coletor solar, eficiência térmica, termossifões, experimental, energia renovável.

### ABSTRACT

Solar collectors assisted by thermosyphons are equipment that use solar radiation to heat water. Thermosyphons are passive heat transfer devices, which through the latent heat of vaporization, transfer energy in the form of heat with high thermal efficiency. In this work, an experimental investigation of the thermal performance of a solar collector prototype assisted by seven thermosyphons was carried out under real meteorological conditions considering different rate flows. The experimental results showed that this prototype presented high thermal efficiency, reaching up to 89.9%, when compared to the reference values of conventional solar collectors that operate with efficiency in the 30%.

**Keywords:** solar collector, thermal efficiency, thermosyphons, experimental, renewable energy.

## 1 INTRODUÇÃO

Dado o crescente aumento da utilização da energia elétrica para as mais diversas finalidades, busca-se a utilização de fontes renováveis e novas tecnologias que apresentem um menor potencial de degradação ambiental quando comparada à utilização de combustíveis fósseis. De acordo com os dados da Empresa de Pesquisa Energética no Balanço Energético Nacional (EPE, 2020), apresenta-se um crescente aumento da demanda energética nacional, no mínimo de 63% ao final do ano de 2030 em comparação ao ano de 2016, e frente a isso há um incremento na busca por maior produção da energia, tanto proveniente de fontes não renováveis, como carvão e gás, bem como fontes alternativas, como as energias eólica, solar, entre outras.

\* Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; [victordimbarre@alunos.utfpr.edu.br](mailto:victordimbarre@alunos.utfpr.edu.br)

<sup>†</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Ponta Grossa; [antonini@utfpr.edu.br](mailto:antonini@utfpr.edu.br)

<sup>‡</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; [samuelmoreira@alunos.utfpr.edu.br](mailto:samuelmoreira@alunos.utfpr.edu.br)

<sup>§</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; [giovanerossi@alunos.utfpr.edu.br](mailto:giovanerossi@alunos.utfpr.edu.br)

<sup>¶</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Ponta Grossa; [gabrielnmjunior@hotmail.com](mailto:gabrielnmjunior@hotmail.com)

<sup>‡</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; [pedmac@alunos.utfpr.edu.br](mailto:pedmac@alunos.utfpr.edu.br)

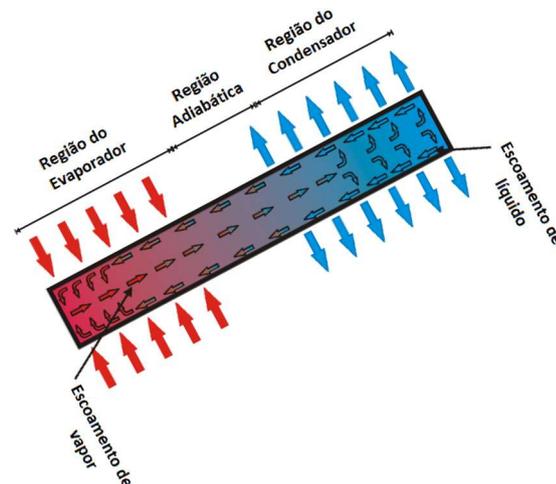


A energia solar vem se destacando pois possui algumas características de relevância, como ser uma fonte de alto potencial de produção no Brasil, baixo potencial de degradação ambiental, energia renovável de fácil acesso, abundante, versátil e que pode ser utilizada por painéis fotovoltaicos para a geração de energia elétrica ou por meio dos coletores solares para aquecimento (JAYANTHY *et al.*, 2019).

Tendo em vista os coletores solares, eles podem ser divididos como coletores solares de placa plana e coletores solares assistidos por termossifões. Os coletores solares de placa plana são construídos a partir de uma placa absorvedora acoplada a uma rede de tubos, que por convecção forçada, são responsáveis pela troca de calor com fluido de trabalho, geralmente sendo a água. Tendo como desvantagens a capacidade limitada de transferência de calor, corrosão nos tubos e a elevada perda de calor pelo dispositivo (DEHAJ & MPHIABADI, 2019; DUFFIE *et al.*, 2020). Os coletores solares assistidos por termossifão se caracterizam por terem um tubo de calor/termossifão que pode estar dentro de um tubo de vidro com um espaço anular interno evacuado possuindo superfície otimizada para a absorção de irradiação solar e uma redução dos efeitos das trocas de calor através da convecção e da condução (KALAGIROU, 2003).

Os tubos de calor e termossifões são dispositivos passivos de troca de calor, que operam em um ciclo bifásico, exemplificado na Figura 1, onde utiliza-se o calor latente para se obter elevada eficiência térmica (ZOHURI, 2016). Eles possuem três regiões principais, o *evaporador* que se localiza na parte inferior do termossifão, que tem por função a absorção do calor e por consequência a evaporação do fluido de trabalho que por diferença de pressão move-se para a região mais fria, onde se localiza o *condensador*, que tem por função dissipar calor fazendo com que o fluido de trabalho condense e retorne ao condensador. Por fim a *seção adiabática* que se localiza na região intermediária, entre o condensador e o evaporador e tem por característica não haver trocas térmicas (MANTELLI, 2013).

Figura 1 – Princípio de funcionamento do termossifão.



Fonte: Aguiar *et al.* (2018).

Nesse contexto, dada a baixa eficiência térmica relativa dos coletores solares de placa plana, questionou-se, ao utilizar termossifões em tais coletores, seria possível obter eficiência térmica satisfatória? Com esta indagação o presente projeto de iniciação científica tem por objetivo executar uma investigação experimental do desempenho térmico de um protótipo de coletor solar assistido por sete termossifões sob condições meteorológicas reais, considerando diferentes vazões volumétricas de água e uma inclinação de operação de 25° (latitude da cidade de Ponta Grossa/PR/Brasil).

## 2 MATERIAIS E MÉTODO

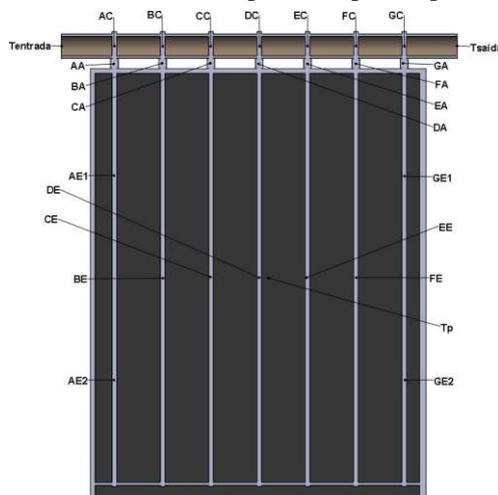
A execução dos testes experimentais foi realizada no Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR) que é vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Ponta Grossa.

### 2.1 Protótipo do Coletor Solar Assistido por Termossifões

Os termossifões foram construídos utilizando tubos de cobre ASTM B75 sem costura, com comprimento total de 950 mm, sendo dividido da seguinte forma: 800 mm de evaporador; 40 mm de região adiabática; 110 mm de condensador, e preenchidos com água destilada com razão de preenchimento de 50% do volume do evaporador, correspondendo a um volume de fluido de trabalho de 18,86 mL.

Para a aferição das temperaturas foram utilizados termopares da *Omega Engineering*<sup>TM</sup> do Tipo K e posicionados conforme a Figura 2. Os sete termossifões foram denominados A, B, C, D, E, F e G. As denominações dos termopares foram compostas da seguinte maneira, a primeira letra referente ao termossifão e a segunda letra referente ao posicionamento do termopar, podendo ele estar no condensador, representado pela letra 'C', na seção adiabática, sendo representada pela letra 'A', ou no evaporador, representado pela letra 'E', se necessário, adicionado um número caso se utilizado mais de um termopar para um mesmo termossifão em uma mesma seção. Para os termopares referentes às temperaturas de entrada e de saída da água no *manifold* de PVC e temperatura da placa, foram denominados  $T_{entrada}$ ,  $T_{saida}$  e  $T_p$ , respectivamente. As incertezas experimentais de temperatura são estimadas em  $\pm 1,27$  °C.

Figura 2 – Posicionamento dos termopares no protótipo de coletor solar.



Fonte: autoria própria.

### 2.2 Montagem Do Aparato Experimental

O aparato experimental utilizado durante os testes, representado na Figura 3, foi composto pelo protótipo de um coletor solar assistido por sete termossifões, por um por um sistema de aquisição de dados *Agilent*<sup>TM</sup> 34970A contendo dois multiplexadores *Agilent*<sup>TM</sup> 34901A de 20 canais cada, painel de conectores de termopares do tipo K *Omega Engineering*<sup>TM</sup>, um computador portátil *Dell*<sup>TM</sup>, um banho ultratermostaticado *SOLAB*<sup>TM</sup> SL130, um rotâmetro com válvula reguladora de área variável *Omega Engineering*<sup>TM</sup> FL-2051 e um piranômetro *Kipp & Zonen*<sup>TM</sup> CMP3.



Figura 3 – Aparato experimental.



Fonte: autoria própria.

A água de entrada tendo sua temperatura controlada pelo banho ultratermostatizado, sendo selecionada a temperatura de 21 °C e a vazão volumétrica pelo rotâmetro de área variável, sendo selecionadas as vazões de 0,5 l/min e 1,0 l/min. A inclinação de trabalho do coletor solar foi de 25° devido a latitude da cidade de Ponta Grossa/PR: 25° 05' 42" Sul. Os condensadores dos termossifão foram resfriados por convecção forçada de água em escoamento cruzado. E a carga térmica do teste experimental em cada termossifão variou, dependendo da irradiação solar em cada momento do dia. Com o auxílio do piranômetro, foi medida a irradiação solar durante os testes experimentais. Para o armazenamento dos dados experimentais foi utilizado o *software Agilent™ Benchlink Data Logger 3*. Estes dados foram coletados e registrados a cada 10 segundos e, posteriormente, tratados visando a avaliação do desempenho térmico de cada termossifão, assim como a eficiência do protótipo.

### 3 RESULTADOS

O teste experimental considerando a vazão volumétrica de 0,5 l/min teve a duração de 75 minutos, enquanto que para a vazão volumétrica de 1,0 l/min, o período de duração do teste experimental foi mais curto, 30 minutos, em decorrência do aparecimento repentino de vazamentos no *manifold* do protótipo do coletor solar assistido por termossifões.

A partir dos dados experimentais obtidos, apresentados na Tabela 1, foi possível calcular a eficiência de Primeira Lei da Termodinâmica ( $\eta$ ) de acordo com a Eq. (1), para as duas vazões volumétricas analisadas em função da irradiação solar.

$$\eta = \frac{q_{sai}}{q_{entra}} \quad (1)$$

sendo que,  $q_{sai}$  representa a taxa de transferência de calor absorvida pela água em escoamento cruzado no coletor solar e  $q_{entra}$  representa a potência total dissipada pelos sete termossifões. A potência dissipada foi calculada multiplicando-se a irradiação solar pela área do evaporador do termossifão. Posteriormente, para a obtenção da potência total, foi multiplicada a potência dissipada em cada termossifão pelo número de termossifões, neste caso, sete. Para o cálculo da taxa de transferência de calor total, foi realizado o produto entre a vazão mássica do escoamento no *manifold* do coletor solar, o calor específico a pressão constante da água e a diferença entre as temperaturas de entrada e saída da água no coletor solar assistido por termossifões.



Tabela 1- Eficiência de Primeira Lei Termodinâmica.

Vazão Volumétrica [l/min]	Irradiação Solar [W/m <sup>2</sup> ]	Potência Total [W]	Taxa de Transferência de Calor [W]	$\Delta T$ [°C]	$\eta$ [%]
0,5	933,67	155,2	138,7	4,0	89,4
	956,12	159,0	129,9	3,7	81,7
	1.008,15	167,6	150,7	4,3	89,9
	1.034,06	171,9	148,3	4,3	86,3
	1.115,99	185,5	127,0	3,7	68,4
1,0	1.141,44	189,8	165,7	2,4	87,3
	1.208,29	171,0	143,4	2,1	83,9

Fonte: Autoria Própria.

#### 4 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi executada uma investigação experimental do desempenho térmico em um protótipo de um coletor solar assistido por sete termossifões. Os condensadores dos termossifões foram posicionados em um *manifold* feito a partir de tês de PVC. A região do evaporador tinha 800 mm de comprimento, enquanto que o condensador apresentou 110 mm de comprimento. Os testes experimentais foram realizados com diferentes vazões volumétricas de água (0,5 l/min e 1,0 l/min) no interior do *manifold*, sendo adquiridos dados de temperatura da água na entrada e saída do coletor, assim como irradiação solar a cada 15 min, permitindo-se o cálculo da Eficiência Energética de Primeira Lei da Termodinâmica. Como resultados, o coletor solar apresentou gradientes de temperatura de em média 4 °C, apresentando eficiência energética mínima de 68,4% e máxima de 89,9% para vazão volumétrica de 0,5 l/min e eficiência mínima de 83,9% e máxima de 87,3% para vazão volumétrica de 1,0 l/min. Dessa forma, pode ser considerado que o protótipo de coletor solar assistido por termossifões operou de forma satisfatória, uma vez que apresentou em geral eficiências de primeira lei acima de 80%, mostrando que sua eficiência térmica pode ser aumentada caso sejam utilizados termossifões em tais dispositivos.

#### AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao Programa Institucional de Bolsas em Iniciação Científica e Tecnológica pelo apoio financeiro, durante as suas atividades como bolsista, bem como a Universidade Tecnológica Federal do Paraná e a todos os servidores e colegas que cooperaram durante o desenvolvimento desse trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- Aguiar, V.M. et al. **Thermal analysis of a finned thermosyphon for heat exchanger applications.** International Journal of Advanced Engineering Research and Science, v. 5, p. 1–14, 2018.
- Dehaj, M. S., Mohiabadi, M. Z. **Experimental investigation of heat pipe solar collector using MgO nanofluids.** Solar Energy Materials and Solar Cells, v. 191, n. April 2018, p. 91–99, 2019.



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

Duffie, J. A., Beckman, W.A., Blair, N. **Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind**. 2020.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Relatório Síntese ano base 2019**. Balanço Energético Nacional 2020. Rio de Janeiro, maio, 2020.

Jayanthi, N., Suresh Kumar, R., Karunakaran, G., Venkatesh, M. **Experimental investigation on the thermal performance of heat pipe solar collector (HPSC)**. *Materials Today: Proceedings*, v. 26, p. 3569–3575, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.607>>.

Kalogirou, S., 2003. “**The potential of solar industrial process heat applications**”. *Applied Energy*, Vol. 76, p. 337-361.

Mantelli, M.B.H. **Thermosyphon Technology for Industrial Applications**. Chapter 11, In: Vasiliev L.L. and Kakaç S. (Eds.), *Heat pipes and solid sorption transformations: fundamentals and practical applications*. CRC Press, Boca Raton, USA, 54 p., 2013

Zohuri, B., 2016. **Heat pipe design and technology - modern applications for practical thermal management**. Springer Nature Switzerland, Cham.