



## Montagem para testes experimentais de um coletor solar de alta pressão assistido por termossifões

### *Assembly for experimental tests of a high pressure solar collector assisted by thermosyphons*

Rogério de Oliveira Souza (orientado)\*, Thiago Antonini Alves (orientador)†,  
Kaciane Aparecida Basilio‡, Victor Vaurek Dimbarre§, Pedro Leineker Ochoski Machado¶

#### RESUMO

Os coletores solares de alta pressão são equipamentos que utilizam a irradiação solar para transferir calor através de termossifões e/ou tubos de calor, sendo esses dispositivos passivos de troca de calor operando em um ciclo bifásico fechado, para o fluido de trabalho. Em aplicações de sistema de aquecimento de água, a utilização de coletores solares torna-se uma opção rentável além de ser uma alternativa sustentável, tendo em vista a utilização das fontes de energia, sendo que ao invés de utilizar a energia elétrica para o aquecimento de água é utilizada a energia solar. Os coletores solares assistidos por termossifões possuem eficiência relativamente mais elevada e com temperatura maior se comparados aos outros sistemas de coletores solares. O objetivo desse trabalho foi executar uma montagem de um aparato experimental para ser utilizado em testes experimentais visando a determinação do desempenho térmico de coletores solares de tubos à vácuo de alta pressão assistidos por termossifões.

**Palavras-chave:** energia solar, tubo de calor, montagem experimental, coletor solar, alta pressão.

#### ABSTRACT

High pressure solar collectors are equipment that use solar irradiation to transfer heat through thermosyphons and/or heat pipes, these being passive heat exchange devices operating in a two-phase cycle to the working fluid. In water heating system applications, the use of solar collectors becomes a profitable option in addition to being a sustainable alternative, considering the use of energy sources, and instead of using electrical energy for heating the water uses solar energy. Solar collectors assisted by thermosyphons have relatively higher efficiency and higher temperature compared to other solar collector systems. The objective of this work was to carry out an assembly of an experimental apparatus to be used in experimental tests aimed at determining the thermal performance of high pressure vacuum tube solar collectors assisted by thermosyphons.

**Keywords:** solar energy, heat pipe, experimental assembly, solar collector, high pressure.

\* Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; [rogerio.2016@alunos.utfpr.edu.br](mailto:rogerio.2016@alunos.utfpr.edu.br)

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

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; [ka\\_basilio@hotmail.com](mailto:ka_basilio@hotmail.com)

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

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



## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento industrial e da população e devido à escassez hídrica atual, cada vez mais são necessárias fontes de energia, pensando na sustentabilidade, a utilização de energia de fontes renováveis provoca redução da concentração de gases poluentes na atmosfera em longo prazo. A utilização de energia solar auxilia na preservação dos recursos naturais, pois não há a exploração do meio ambiente, nem riscos de poluição ou contaminação.

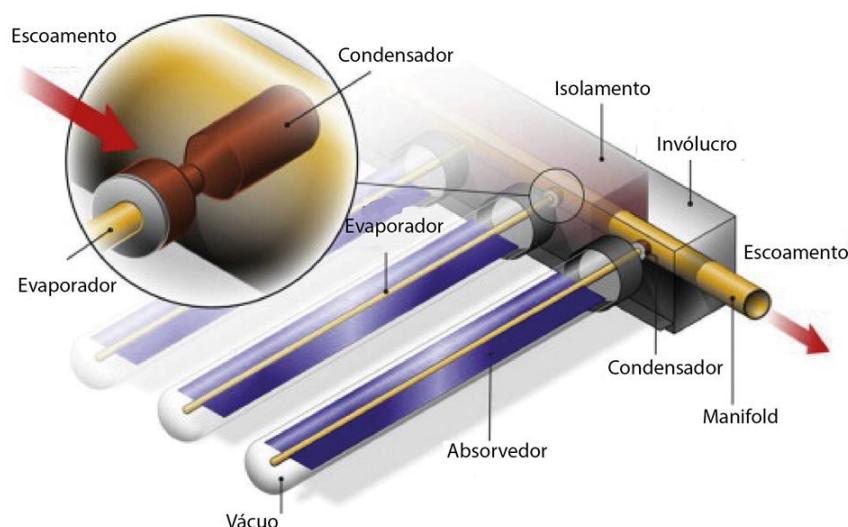
O aproveitamento da energia solar pode ser realizado na forma de energia térmica, através do aquecimento de fluidos, ou através da energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos para a conversão, podendo essas formas de energia ser aplicadas nas mais diversas áreas, como arquitetura, engenharias civil e mecânica. Uma outra forma de se aproveitar essa energia renovável é através do uso de coletores solares (FONTANA, 2019).

Em aplicações residenciais, os coletores solares geralmente são utilizados em conjunto com um sistema secundário de aquecimento. O coletor solar funciona como fonte principal de energia no aquecimento da água e um sistema auxiliar que pode funcionar com energia elétrica ou com queimadores a gás supre a demanda energética, caso necessário (ESPIRITO SANTO, 2017).

Os coletores solares são dispositivos que recebem irradiação solar e transferem energia para o fluido de trabalho. Eles devem ser construídos de acordo com as especificações das normas da ABNT, levando-se em consideração as especificações do projeto, como faixa de temperatura, pressão e resistência de exposição à irradiação solar (KALOGIROU, 2003).

Os coletores solares de tubos evacuados assistidos por termossifões, ou também chamados de coletores solares à vácuo de alta pressão, ilustrado esquematicamente na Figura 1, têm maior eficiência, operam em temperaturas mais altas e podem ser menores do que os coletores solares, convencionais. Esses coletores são amplamente utilizados na Europa, nos Estados Unidos da América, no Canadá e em alguns países da Ásia. No Brasil e na América Latina, estão começando a serem utilizados, porém sua tecnologia de construção é estrangeira (BATALHA *et al.*, 2017).

**Figura 1 – Diagrama esquemático de um coletor solar de alta pressão assistido por termossifões.**



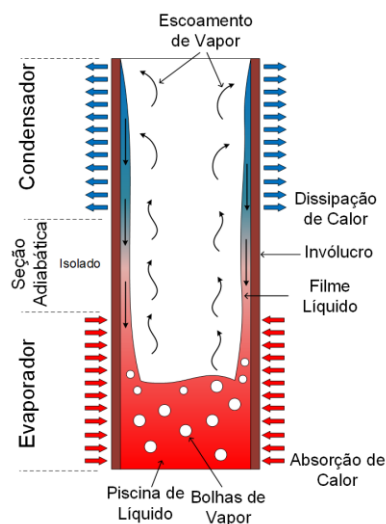
**Fonte: Dimbarre (2021).**



Os termossifões e os tubos de calor são dispositivos de elevada eficiência térmica, pois operam em um ciclo bifásico fechado utilizando calor latente de vaporização para transferir calor em pequenos gradientes de temperatura. Os termossifões são constituídos por tubos metálicos evacuados e hermeticamente fechados, preenchidos por um fluido de trabalho (REAY *et al.*, 2014).

Um termossifão é um formado por três seções diferentes, com características próprias, chamadas de evaporador, seção adiabática e condensador. O evaporador é a seção que recebe calor de uma fonte externa e se situa na parte inferior do termossifão, o calor recebido faz com que o fluido de trabalho se transforme em vapor que, devido à diferença de pressão, irá subir para a região superior do tubo. A região superior do tubo é conhecida como condensador, onde o vapor perde calor para o meio externo e se condensa nas paredes internas do tubo. O líquido condensado flui novamente para a região do evaporador com o auxílio da gravidade, completando o ciclo de mudança de fase do fluido de trabalho. A seção adiabática se encontra entre o evaporador e o condensador e se caracteriza por não haver troca de calor entre o fluido de trabalho e o ambiente externo. Em alguns casos não há seção adiabática no termossifão (MANTELLI, 2021). A Figura 2 mostra um diagrama esquemático do funcionamento de um termossifão.

**Figura 2 – Diagrama esquemático de um termossifão.**



**Fonte: Dimbarre (2021).**

Nesse contexto, a realização deste projeto de iniciação científica tem como objetivo responder a seguinte pergunta: é possível realizar uma montagem de um aparato experimental para execução de testes experimentais visando a determinação do desempenho térmico de um coletor solar de alta pressão assistido por termossifões? Esses testes experimentais serão executados no Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR) vinculado ao Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Engenharia Mecânica (PPGEM) do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Ponta Grossa.

## 2 MATERIAIS & MÉTODOS

O aparato experimental desenvolvido para execução dessa pesquisa de iniciação científica será composto por um sistema fechado de circulação de água a alta pressão, por instrumentação de medição de grandezas físicas de interesse e por um coletor solar de tubos à vácuo de alta pressão assistido por termossifões.



## 2.1 Sistema Fechado de Circulação de Água

O sistema fechado de circulação de água a alta pressão, mostrado na Figura 3, é composto por uma caixa d'água *Fortlev*<sup>TM</sup> com capacidade de 310 litros, um reservatório térmico (boiler) *Ribersol*<sup>TM</sup> com capacidade de 100 litros, um conjunto bomba *Hioda*<sup>TM</sup> HP500AH 1/2HP e pressostato *Laspa*<sup>TM</sup> LS-8, um vaso de expansão *Hioda*<sup>TM</sup> com capacidade de 24 litros, válvula de segurança com manômetro, tubos, conexões e acessórios, painel de comando elétrico com controlador *Tholz*<sup>TM</sup> TLZ, válvula de retenção, medidor de vazão eletromagnético *Krohne*<sup>TM</sup> e circulador *Hioda*<sup>TM</sup> HBS/100. Este sistema está instalado em mezanino interno existente no Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR).

Figura 3 – Sistema fechado de circulação de água a alta pressão.



Fonte: A autoria própria (2020).

## 2.2 Área Externa ao LabSOLAR/DAMEC

Na Figura 4 é mostrada uma fotografia da área externa do LabSOLAR/DAMEC destinada ao acoplamento do sistema fechado de circulação aos coletores solares de tubos à vácuo assistidos por termossifões visando a execução dos testes experimentais sob condições reais de operação.

Figura 4 – Área externa ao Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR).



Fonte: A autoria própria (2020).





### 2.3 Coletor Solar de Alta Pressão Assistido por Termossifões

O coletor solar de alta pressão assistido por termossifões que será utilizado para pesquisa de iniciação científica está mostrado em primeiro plano na Figura 4. Ele está posicionado em um suporte de perfil de alumínio estrutural de 40 mm por 40 mm que foi projetado especialmente para ele, inclinado a 25°, que é o ângulo correspondente a latitude da cidade de Ponta Grossa no estado do Paraná: 25°05'42" Sul. Esse coletor solar é composto por tubos evacuados contendo em seu interior termossifões de cobre e por um *manifold* de cobre para passagem de água sobre os condensadores dos termossifões. Além disso, serão utilizados termopares do tipo K *Omega Engineering*<sup>TM</sup> e transdutores de pressão *IFM*<sup>TM</sup> PN2024 para medição dos parâmetros termofluidodinâmicos de interesse.

## 3 RESULTADOS

O desempenho térmico do coletor solar de tubos à vácuo de alta pressão assistido por termossifões será obtido a partir da determinação das temperaturas de operação utilizando termopares *Omega Engineering*<sup>TM</sup> do tipo K posicionados estrategicamente no sistema experimental (Figura 5) e de um sistema de aquisição de dados *Agilent*<sup>TM</sup> 34970A com um multiplexador de 20 canais. Os valores de irradiância solar serão obtidos utilizando um piranômetro *Kipp & Zonen*<sup>TM</sup> CMP3. As condições climáticas serão encontradas a partir de uma estação meteorológica instalada próxima ao pátio externo do LabSOLAR/DAMEC – Figura 6. Os testes experimentais com esse coletor solar assistido por termossifões serão executados para três vazões distintas de água reguladas pelo circulador visando verificar a influência da vazão mássica no desempenho do coletor solar.

Figura 5 – Termopares do tipo K e transdutor de pressão.



Figura 6 – Estação meteorológica.



Fonte: Autoria própria (2020).



## 4 CONCLUSÃO

Durante a execução desse projeto de iniciação científica, foi realizada com sucesso a montagem de um aparato experimental para determinação do desempenho térmico de um coletor solar à vácuo de alta pressão assistido por termossifões. Infelizmente, as atividades experimentais do LabSOLAR/DAMEC foram suspensas devido à pandemia do novo coronavírus, SARS-CoV-2, causador da doença COVID-19. Nesse contexto, os testes experimentais serão realizados após o retorno da quarentena e serão relatados no PIBIC 2021/2022.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são prestados à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) da UTFPR, à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPG), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) e ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da UTFPR/Ponta Grossa.

## REFERÊNCIAS

- ANTONINI ALVES, T.; KRAMBECK, L.; SANTOS, P. H. D. **Heat pipe and thermosyphon for thermal management of thermoelectric cooling**. In: ARANGUREN, P. (org.). Bringing thermoelectricity into reality. London: InTech, 2018. p. 353-374.
- BATALHA, L. E. B.; AMARAL, M. C.; ARAÚJO, M. R. D. G. **Estudo teórico e experimental de um coletor solar assistido por termossifões**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- DIMBARRE, V. V. **Investigação experimental do comportamento térmico de termossifões aplicados a coletores solares utilizando nanofluido de óxido de grafeno**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.
- ESPIRITO SANTO, M. **Análise experimental de diferentes configurações de termossifões para aplicação em coletor solar**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.
- FONTANA, E. S. B. **Concepção de um sistema de circulação fechado para estudo experimental de coletores solares**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.
- KALOGIROU, S. **The potential of solar industrial process heat applications**. Applied Energy, v. 76, n. 4, p. 337-361, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261902001769>. Acesso em: 22 ago. 2020.
- MANTELLI, M. H. B. **Thermosyphons and heat pipes: theory and applications**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2021.
- REAY, D. A.; KEW, P. A.; MCGLEN, R. J. **Heat pipes: theory, design and applications**. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2014.