



# Aplicação de termossifões para controle térmico de painéis solares fotovoltaicos

## *Application of thermosyphons for photovoltaic solar panels thermal control*

Thomas Siqueira Pereira (orientado) \*, Thiago Antonini Alves (orientador)<sup>†</sup>,  
Romeu Miqueas Szmoski<sup>‡</sup>, Johnson Ruo Ting Hung<sup>§</sup>, Pedro Leineker Ochoski Machado<sup>¶</sup>

### RESUMO

A implementação de painéis solares fotovoltaicos para a geração de energia elétrica está cada vez mais presente no nosso dia a dia, tanto para uso residencial quanto industrial. Mesmo com todas as qualidades apresentadas por essa tecnologia ainda existem problemas que impedem um maior crescimento desse mercado. Um problema conhecido da utilização de geração solar é sua baixa eficiência, que pode ser ainda menor em casos onde há sobreaquecimento do painel. O estudo experimental realizado neste trabalho visa avaliar a utilização de termossifões no controle térmico de um painel solar fotovoltaico. Para tal, foram desenvolvidos termossifões com as dimensões necessárias para que fosse possível o acoplamento em um painel escolhido. Os resultados para os termossifões foram positivos mostrando a necessidade da utilização de aletas para facilitar a transferência de calor com o ar ambiente. O sistema com o painel solar fotovoltaico mostra estar funcionando corretamente.

**Palavras-chave:** tubo de calor, energia solar, painel fotovoltaico, gerenciamento térmico.

### ABSTRACT

The implementation of photovoltaic solar panels for electricity generation is increasingly present in our daily lives, both for residential and industrial use. Even with all the qualities presented by this technology, there are still problems that prevent further growth in this market. A known problem with the use of solar generation is its low efficiency, which can be even lower in cases where there is overheating of the panel. The experimental study carried out in this work aims to evaluate the use of thermosyphons in the thermal control of a photovoltaic solar panel. For this purpose, thermosyphons with the necessary dimensions were developed so that coupling in a chosen panel was possible. The results for the thermosyphons were positive, showing the need to use fins to facilitate heat transfer with ambient air. The system with the photovoltaic solar panel is shown to be working correctly.

**Keywords:** heat pipe, solar energy, photovoltaic panel, thermal management.

## 1 INTRODUÇÃO

Assunto que se torna cada vez mais abordado no meio científico, a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, é uma das maiores apostas atuais para um desenvolvimento sustentável. Entre os candidatos se destaca a conversão direta de energia solar em potência elétrica a partir de painéis solares fotovoltaicos, esses, que apesar de serem uma tecnologia promissora e de relativa fácil implementação ainda sofrem com suas baixas eficiências (KABIR *et al.*, 2018).

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

<sup>§</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; [johnsonhung21@gmail.com](mailto:johnsonhung21@gmail.com)

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



“Dentre os fatores técnicos de perda para a produção de energia solar fotovoltaica destaca-se a redução da eficiência elétrica das células e módulos fotovoltaicos, principais componentes desses sistemas, com o aumento da temperatura de operação” (SIMIONI). Almeida (2012) e Tinoco *et al.* (2018) indicam que a potência do gerador fotovoltaico cai entre 0,3% e 0,4 % a cada aumento de 1°C. Com esses dados é esperado que um painel solar fotovoltaico com temperatura controlada deva manter uma eficiência acima daquela mostrada por outro em condições normais de operação.

Termossifões são tubos evacuados e preenchidos com um fluido de trabalho que utilizam da gravidade e do calor latente de vaporização para transferir altas quantidades de calor entre pequenos gradientes de temperatura sem a utilização de bombeamento externo (MANTELLI, 2021). As vantagens da implementação desses dispositivos passivos de transferência de calor são sua flexibilidade de implementação nos mais distintos projetos, sua construção simples e materiais baratos, e a falta de necessidade de uma fonte de potência externa (REAY *et al.*, 2014).

Os termossifões são excelentes candidatos para a aplicação no controle térmico de painéis solares fotovoltaicos uma vez que podem melhorar a troca de calor com o ambiente passivamente, sem gerar novos custos energéticos que poderiam ir contra o objetivo de aumentar a eficiência do sistema (KRAMBECK *et al.*, 2018). Neste contexto, a proposta desse trabalho é responder à pergunta: “É possível aplicar um termossifão para o controle térmico de um painel solar fotovoltaico?”

## 2 MATERIAIS & MÉTODOS

### 2.1 Fabricação e Procedimento Experimental dos Termossifões

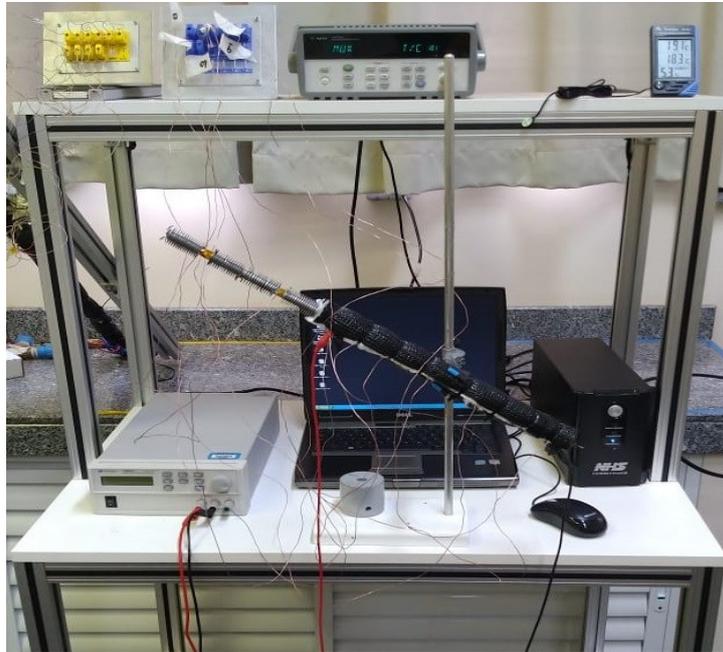
Para a fabricação dos termossifões aletados foram usados tubos de cobre ASTM B75 com diâmetro externo de 9,45 mm, diâmetro interno de 7,35 mm e comprimento de 500mm. Estes dispositivos passivos têm evaporador de 310mm de comprimento, região adiabática de 20mm de comprimento e condensador de 170mm de comprimento. As aletas de alumínio em espiral foram instaladas na região do condensador. O fluido de trabalho usado foi água destilada com uma taxa de preenchimento de 50% do volume do evaporador. A metodologia utilizada foi baseada em Antonini Alves *et al.* (2018).

O aparato utilizado para os testes experimentais nos termossifões, mostrado na Figura 1, foi composto por uma fonte de alimentação *Agilent*<sup>TM</sup> U8002A, um sistema de aquisição de dados *Agilent*<sup>TM</sup> 34970A com um multiplexador de 20 canais *Agilent*<sup>TM</sup> 34901A, um *laptop Dell*<sup>TM</sup>. Destaca-se que todos esses materiais estão disponíveis nos Laboratórios de Controle Térmico (LabCT) e de Energia Solar (LabSOLAR) do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR/Ponta Grossa).

Para a avaliação do desempenho térmico dos termossifões, foram utilizados termopares do tipo K *Omega Engineering*<sup>TM</sup>. Foram utilizados cinco termopares no evaporador, um termopar na seção adiabática e três termopares no condensador. O sistema de aquecimento do evaporador foi conduzido por dissipação de energia em um resistor elétrico. O sistema de resfriamento consistiu em convecção natural de ar atmosférico sobre a região do condensador. A carga inicial foi de 5W e, após aproximadamente 30 (trinta) minutos, os termopares apresentaram valores próximos a regime permanente. A carga foi incrementada em 5W e o processo repetido até um máximo de 15W. A temperatura ambiente durante todos os experimentos foi mantida em 17,0°C ± 1,0°C por um sistema de condicionamento térmico de ambiente *Rhemm*<sup>TM</sup>. Os termossifões aletados foram testados na orientação de 25° em relação à horizontal, que corresponde à inclinação utilizada para um painel solar fotovoltaico na região de Ponta Grossa/PR. Os dados foram coletados a cada 10 segundos, gravados no *laptop* através do *software Agilent*<sup>TM</sup> *Benchlink Data Logger 3* e, posteriormente, tratados e analisados.



**Figura 1 – Aparato experimental.**



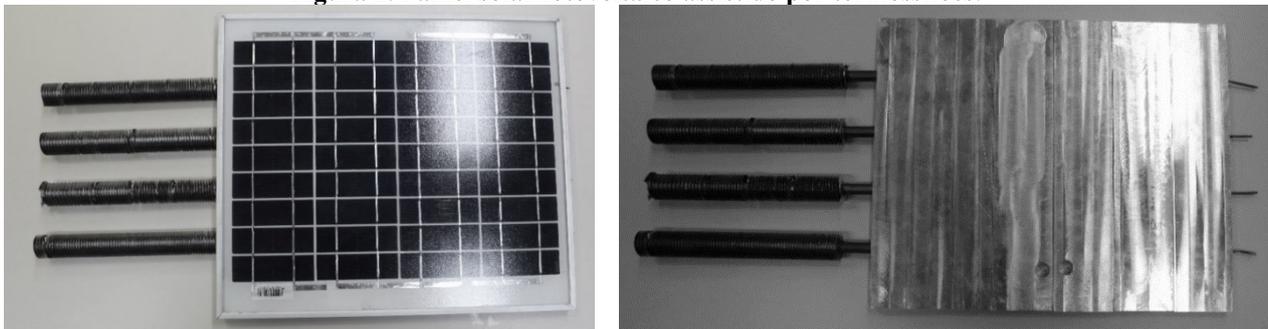
Fonte: Autoria própria (2021).

## 2.2 Montagem do Painel Solar Fotovoltaico Assistido por Termossifões

Para essa montagem experimental foram utilizados quatro termossifões aletados, dois painéis solares fotovoltaicos 10W 12VCC *Kript*<sup>TM</sup> com dimensões de 350mm x 294mm x 19mm, termopares do tipo K *Omega Engineering*<sup>TM</sup> para avaliação de temperaturas dos painéis fotovoltaicos, um piranômetro *Kipp & Zonen*<sup>TM</sup> CMP3 para aquisição dos dados de irradiância solar, um suporte de alumínio para manter a posição e inclinação dos painéis solares fotovoltaicos, dois módulos medidores de tensão de corrente contínua (VDC) para *Arduino*<sup>TM</sup> além de um sistema de resistores com resistências variadas.

A Figura 2 mostra a montagem experimental do painel solar fotovoltaico assistido por termossifões. Barras retangulares de alumínio foram utilizadas para o acoplamento dos termossifões ao painel com o objetivo de facilitar a troca térmica entre a painel solar e o termossifão aletado. Uma camada de isolamento entre as placas de alumínio e o ambiente foi utilizada.

**Figura 2. Painel solar fotovoltaico assistido por termossifões.**

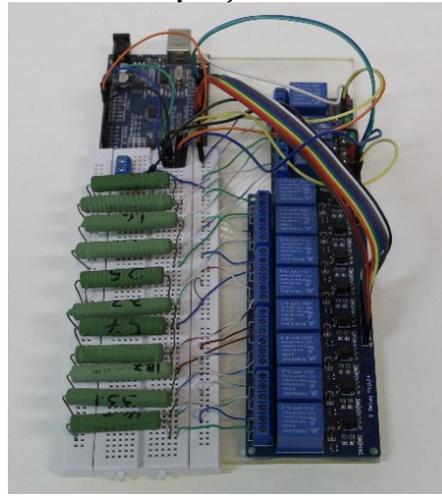


Fonte: autoria própria.

### 2.3 Sistema para Aquisição de Dados de Potência

O sistema de aquisição de dados potência, mostrado na Figura 3, é composto por diversos resistores de 10W com faixas de resistência variável. E também uma seção de relés conectados a um *Arduino*<sup>TM</sup> UNO. O funcionamento do sistema consiste na comutação das cargas resistivas de modo automatizado, controlado pelo *Arduino*<sup>TM</sup>, de modo a conseguir a curva característica dos painéis solares fotovoltaicos, tanto para o caso com controle de temperatura quanto para o caso convencional e assim analisar os seus diferentes comportamentos.

Figura 3 – Sistema de aquisição de dados com *Arduino*<sup>TM</sup>.



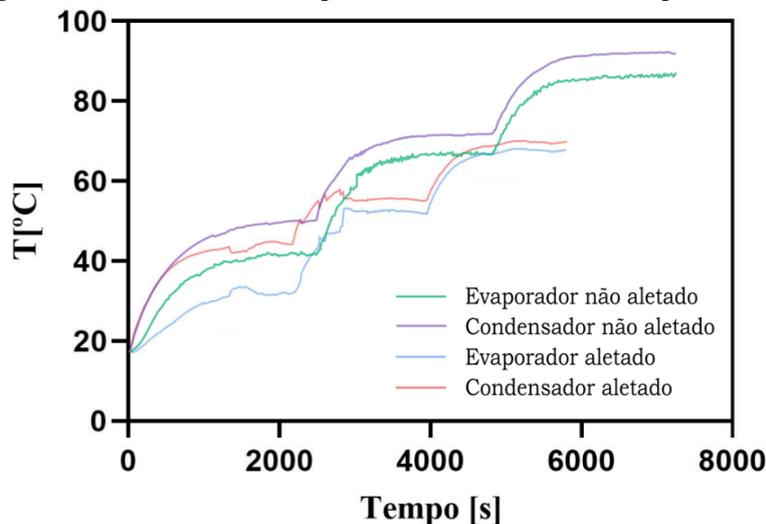
Fonte: Autoria própria (2021).

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Testes Experimentais dos Termossifões

Os resultados dos testes experimentais para avaliação de desempenho dos termossifões para utilização no controle térmico de painéis solares fotovoltaicos são apresentados na Figura 4. Pode ser observado que as temperaturas de regime *quasi*-estacionário do termossifão aletado foram menores do que as temperaturas do termossifão não aletado para as três potências dissipadas.

Figura 4 – Distribuição de temperaturas durante os testes experimentais.



Fonte: adaptado de Pereira *et al.* (2020).

As temperaturas de operação dos termossifões, aletado e não aletado, trabalhando em uma mesma potência são apresentadas na Tabela 1. Pode ser notado que o termossifão aletado apresentou menores valores de temperatura de operação que o termossifão não aletado para todos os valores de potência dissipada, essa diferença começa pequena para a menor potência de 5W e aumenta consideravelmente para os valores de 10W e 15W. Como o objetivo da aplicação das aletas é facilitar a troca de calor, ou seja, reduzir a resistência térmica do componente ao qual foram aplicadas, é esperado que a temperatura de operação seja menor para esses casos, justificando assim a utilização de seu uso no sistema testado (AGUIAR *et al.*, 2018).

**Tabela 1 – Temperatura de operação para os termossifões aletado e não aletado.**

Termossifão	Potência Dissipada		
	5W	10W	15W
Aletado	38,6	55,0	69,4
Não Aletado	47,0	70,6	91,0

Fonte: Autoria própria (2021).

### 3.2 Montagem dos Painéis Solares Fotovoltaicos

Os painéis solares fotovoltaicos foram instalados em um mezanino metálico em área externa ao Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR/DAMEC/UTFPR/Ponta Grossa) onde há boa incidência solar. As placas solares foram mantidas sob a mesma inclinação de 25°, os termossifões foram acoplados à superfície traseira do painel fotovoltaico e o piranômetro está em uma posição na qual se tem uma incidência solar igual à inclinação dos painéis solares fotovoltaicos. Essa montagem visando a comparação entre um sistema sem termossifões e outro assistido por termossifões é ilustrada na Figura 5.

Como mencionado anteriormente, o controle térmico do painel solar fotovoltaico será feito utilizando termossifões aletados. Com os quatro termossifões devidamente instalados foram iniciados os testes experimentais em campo visando a comparação de eficiência das duas placas solares. Atualmente, esses testes experimentais estão em fase de avaliação de funcionamento. É possível perceber que o painel solar fotovoltaico assistido por termossifões apresenta bons resultados sempre que seja atingida a temperatura de ativação do termossifão.

**Figura 6 – Painéis solares fotovoltaicos posicionados para testes em campo.**



Fonte: Autoria própria (2021).



## 4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que os termossifões aletados desenvolvidos para o controle térmico dos painéis solares fotovoltaicos operam satisfatoriamente. Os testes experimentais em campo dos painéis solares fotovoltaicos começam no segundo semestre de 2021 e devem apresentar o ganho de eficiência real da placa solar fotovoltaica assistida por termossifões, tudo isso para a latitude e condições meteorológicas de Ponta Grossa/PR. Esses testes experimentais foram limitados pela condição de pandemia do SARS-CoV-2 (causador da COVID-19) enfrentada desde março de 2020.

## 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/Campus Ponta Grossa.

## 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, n. 1, 2018.
- ALMEIDA, M.P. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.** 173 p. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação Em Energia) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2012.
- ANTONINI ALVES, T. et al. **Heat Pipe and Thermosyphon for Thermal Management of Thermoelectric Cooling.** In: ARANGUREN, P. (Org.). **Bringing Thermoelectricity into Reality.** InTech, London, UK, 2018.
- KABIR, E. et al. **Solar energy: Potential and future prospects.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 82, p. 894-900, 2018.
- KRAMBECK, L. et al. **Thermal performance evaluation of different passive devices for electronics cooling,** Thermal Science, in press, 2018.
- MANTELLI, M.B.H. **Thermosyphon and Heat Pipes: Theory and Applications.** Springer Nature, Cham, SWI, 2021.
- PEREIRA, T.S. et al. **Aplicação de Termossifões para Controle Térmico de Painéis Solares Fotovoltaicos. X Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR – SICITE 2020.** Toledo/PR, 2020.
- REAY, D.A., KEW, P.A., MCGLEN, R.J. **Heat Pipe: Theory, Design and Applications.** Butterworth-Heinemann, Amsterdam, NED, 2014.
- SIMIONI, T. **O Impacto da Temperatura para o Aproveitamento do Potencial Solar Fotovoltaico do Brasil,** Rio de Janeiro, 2017.
- TINOCO, H. L. et al. **Uma Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável: Estudo Experimental da Influência da Temperatura de Operação sobre a Eficiência Energética de um Painel Solar Fotovoltaico.** Sustentabilidade e Responsabilidade Social em Foco, v. 5, p. 60-68, 2018.