



Desempenho térmico experimental de um termossifão com nanofluido de óxido de grafeno para aplicação em coletor solar

Experimental thermal performance of a thermosyphon with graphene oxide nanofluid for application in solar collector

Gustavo Vinícius Vieira Mello¹, Victor Dimbarre Vaurek², Guilherme Antonio Bartmeyer³, Rozane de Fátima Turchiello⁴, Paulo Henrique Dias dos Santos⁵, Thiago Antonini Alves⁶

RESUMO

Os termossifões são tubos de calor assistidos pela gravidade que utilizam o calor latente de vaporização de seu fluido de trabalho em um ciclo termodinâmico bifásico. Eles são comumente usados em coletores solares a vácuo de alta pressão, com o objetivo de melhorar a eficiência térmica desses trocadores de calor. Os termossifões que utilizam nanofluidos, como por exemplo, o óxido de grafeno, apresentam melhor eficiência térmica em relação à água como fluido de trabalho. O presente trabalho tem por objetivo avaliar experimentalmente a eficiência térmica de um termossifão utilizando nanofluido de óxido de grafeno, na concentração volumétrica de 5%, sob diferentes inclinações de trabalho e aplicando diferentes cargas térmicas. Os termossifões em cobre foram construídos com comprimento do evaporador de 1600mm, 40mm de seção adiabática e 35mm de condensador, usando um tubo de 1/4" de diâmetro externo. Pode ser concluído que para as diferentes cargas térmicas aplicadas a inclinação de trabalho de 35° apresentou a menor resistência térmica, tornando-se a mais eficiente nas condições testadas.

PALAVRAS-CHAVE: coletor solar; experimental; grafeno; nanofluido; tubo de calor.

ABSTRACT

Thermosyphons are gravity-assisted heat pipes that utilize the latent heat of vaporization of their working fluid in a two-phase thermodynamic cycle. They are commonly used in high-pressure vacuum solar collectors, with the aim of improving the thermal efficiency of these heat exchangers. Thermosyphons that use nanofluids, such as graphene oxide, have better thermal efficiency compared to water as the working fluid. The present work aims to experimentally evaluate the thermal efficiency of a thermosyphon using graphene oxide nanofluid, at a volumetric concentration of 5%, under different working slopes and applying different thermal loads. The copper thermosyphons were built with an evaporator length of 1600mm, 40mm adiabatic section, and 35mm condenser, using a 1/4" outer diameter tube. It can be concluded that for the different thermal loads applied, the working slope of 35 ° presented the lowest thermal resistance, becoming the most efficient under the tested conditions.

KEYWORDS: solar collector; experimental; graphene; nanofluid; heat pipe.

¹ Bolsista Voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: gustavoviniusp@ gmail.com. ID Lattes: 0244625181474277.

² Aluno de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: victordimbarre@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 2241512766412403.

³ Aluno de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: gabartmeyer@hotmail.com. ID Lattes: 6333442206247464.

⁴ Docente do Departamento Acadêmico de Física. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: turchiel@utfpr.edu.br. ID Lattes: 3884155143293507.

⁵ Docente do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil. E-mail: psantos@utfpr.edu.br. ID Lattes: 5701155189630566.

⁶ Docente do Departamento Acadêmico de Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: antonini@utfpr.edu.br. ID Lattes: 0763708094190677.



INTRODUÇÃO

Os termossifões são tubos de calor assistidos pela gravidade que possuem elevada eficiência térmica e operam em um ciclo termodinâmico bifásico. Eles podem ser divididos em três regiões: evaporador, seção adiabática e condensador (REAY *et al.*, 2014). O evaporador se localiza na parte inferior do termossifão e é caracterizado pela absorção de calor de uma fonte externa, calor esse que é responsável pela evaporação do fluido de trabalho e faz com que o vapor gerado se mova para a região mais fria, devido a diferença de pressão, localizada na parte superior (condensador). Nessa região ocorre a condensação do fluido de trabalho devido a dissipação do calor absorvido e, com o auxílio da gravidade, o fluido de trabalho na fase líquida retorna ao evaporador. A seção adiabática se localiza entre o condensador e o evaporador, e se caracteriza por não haver trocas térmicas entre o termossifão e o ambiente externo (MANTELLI, 20211).

Para a construção de um termossifão, o seu invólucro e fluido de trabalho devem ser avaliados. O invólucro é responsável por isolar o fluido de trabalho das condições externas, sendo assim ele deve ser a prova de vazamentos, permitindo que haja transferência de calor entre o fluido de trabalho e o meio externo. Para a escolha do invólucro devem ser observadas propriedades como condutividade térmica, porosidade, molhabilidade, ductibilidade, entre outras. Enquanto que o fluido de trabalho requer atenção por influenciar diretamente na funcionalidade do termossifão, sendo que se deve observar: a faixa de temperatura de operação, pressão de vapor, estabilidade, toxicidade, condutividade térmica e a compatibilidade química entre o fluido de trabalho e o material do invólucro do termossifão (ZOHURI, 2016).

Dentre os diferentes fluidos de trabalho, os que vêm ganhando maior destaque são os nanofluidos, por apresentar maior eficiência térmica e melhora nas características termofísicas quando comparados à seus fluidos-base. Esse aumento é relacionado à fatores como, um menor tamanho e quantidade de bolhas produzidas no evaporador, e a melhora na condutividade térmica do fluido de trabalho, como por exemplo, o nanofluido de óxido de grafeno (HERRERA *et al.*, 2021).

Os coletores solares são exemplos de sistemas térmicos, que tem o seu funcionamento a partir da conversão da irradiação solar em energia térmica, e são utilizados para aquecimento de fluidos, como por exemplo, aquecimento de água de piscinas e para uso residencial. Os coletores solares são basicamente classificados em três grupos principais: coletor solar de placa plana, coletor solar de tubos evacuados e coletor solar de tubos evacuados assistido por termossifões (SHAFIEIAN *et al.*, 2018).

Os coletores solares de tubos evacuados assistidos por termossifões, também conhecidos como coletores solares a vácuo de alta pressão, foram introduzidos para superar as limitações dos outros dois grupos de coletores solares, aproveitando as vantagens da tecnologia dos termossifões e dos coletores solares de tubos evacuados. Suas principais vantagens são: baixa resistência térmica, alta remoção de calor da superfície absorvente, baixas resistências hidráulicas, baixa possibilidade de congelamento e corrosão, alta vida operacional, instalação simples em edifícios, projeto e fabricação relativamente simples e peso leve (SHAFIEIAN *et al.*, 2021).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como proposta a utilização de nanofluido de óxido de grafeno na concentração volumétrica de 5% em termossifões aplicados em coletores solares de tubos evacuados visando avaliar seu desempenho térmico sob diferentes inclinações de trabalho.

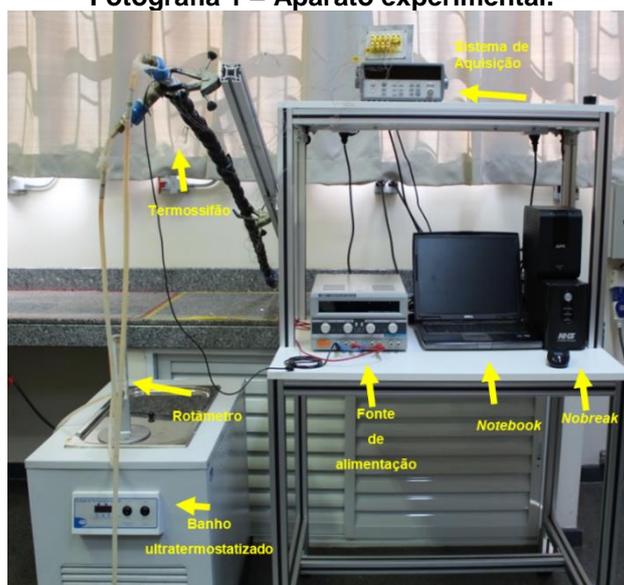


MATERIAIS E MÉTODOS

A construção do termossifão foi executada em duas etapas, a primeira foi a fabricação do condensador, utilizando uma barra de cobre com dimensões finais de 35mm de comprimento e 13mm de diâmetro interno, juntamente com uma peça de adaptação entre os diâmetros de 13mm e 6,15mm e tampas para fazer o fechamento do termossifão. A segunda etapa foi a união entre as peças usinadas e um tubo de cobre de diâmetro 1/4" com um comprimento total de 1640mm, onde 1600mm correspondem ao evaporador e 40mm à seção adiabática. A metodologia presente em Antonini Alves *et al.* (2018) foi utilizada referente à preparação, limpeza, brasagem, teste de estanqueidade, procedimento de evacuação e preenchimento com o fluido de trabalho.

O aparato experimental utilizado, mostrado na Fotografia 1, é composto por uma fonte de alimentação *Politem™16E*, um sistema de aquisição de dados *Agilent™ 34970A* com um multiplexador de 20 canais, um banho ultratermostatizado *Solab™ SL-130*, um *notebook Dell™*, um *nobreak NHS™* e um medidor de vazão de área variável *Omega Engineering™ FL-2051* com válvula reguladora.

Fotografia 1 – Aparato experimental.



Fonte: Autoria própria.

As regiões do evaporador e da seção adiabática foram cobertas com fita *Kapton™*. Uma fita resistiva metálica foi enrolada sobre o evaporador e conectada à fonte de potência. Um total de 10 termopares do tipo K *Omega Engineering™* foram responsáveis pela aquisição de dados de temperatura durante os testes experimentais, sendo que 6 termopares foram distribuídos equidistantes ao longo do comprimento do evaporador, 1 localizado na região do evaporador, outro na região do condensador e, por fim, um avaliando a temperatura de entrada do fluido de arrefecimento na região do condensador e outro a temperatura de saída.

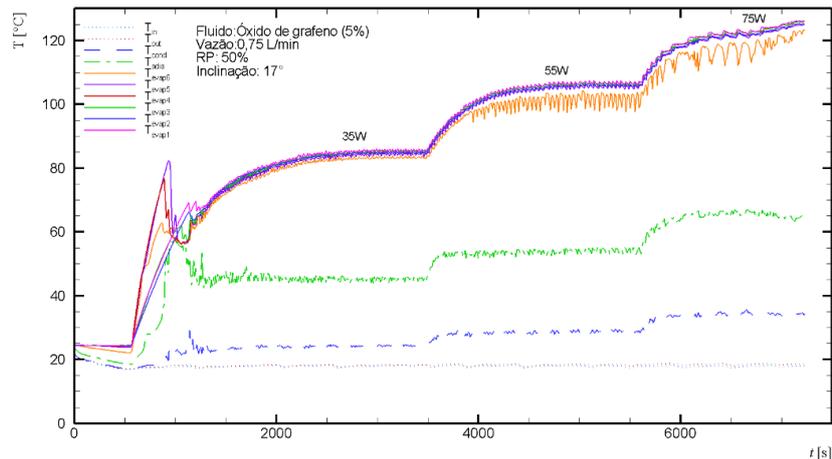
Para o resfriamento do condensador, uma vazão volumétrica de água de 0,75L/min a $18,0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ fornecido por um banho ultratermostatizado, com o objetivo de dissipar o calor absorvido pelo termossifão. A referência para a inclinação foi a latitude da cidade de Ponta Grossa/PR que é de $25^{\circ}05'42''$ Sul e por isso as inclinações de teste estabelecidas foram as de 17° , 25° e 35° .



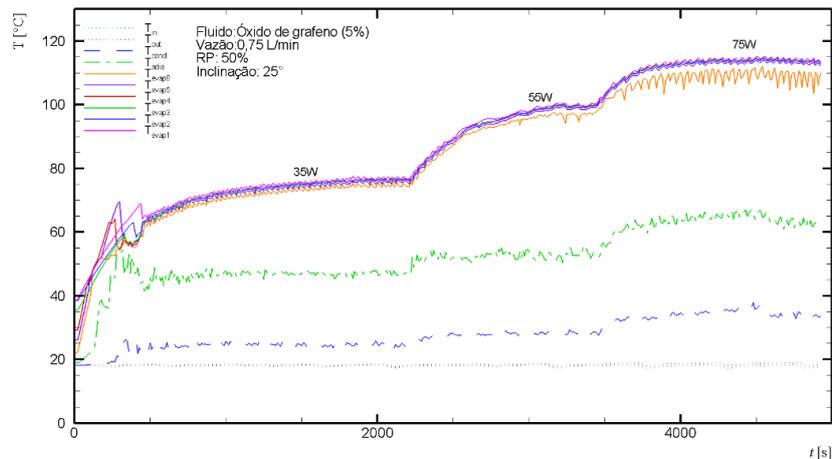
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os Gráficos 1(a), 1(b) e 1(c) mostram as distribuições de temperaturas em função do tempo para as inclinações de trabalho de 17°, 25° e 35°, respectivamente.

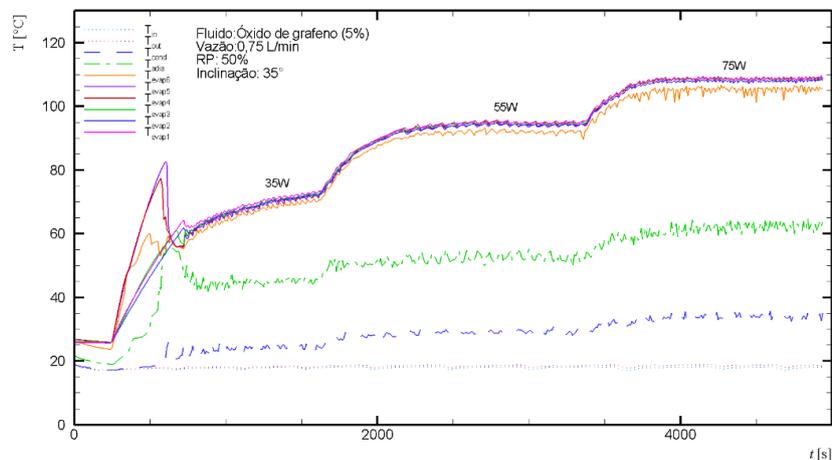
Gráfico 1 – Distribuição de temperaturas em função do tempo.
(a) 17°



(b) 25°



(c) 35°



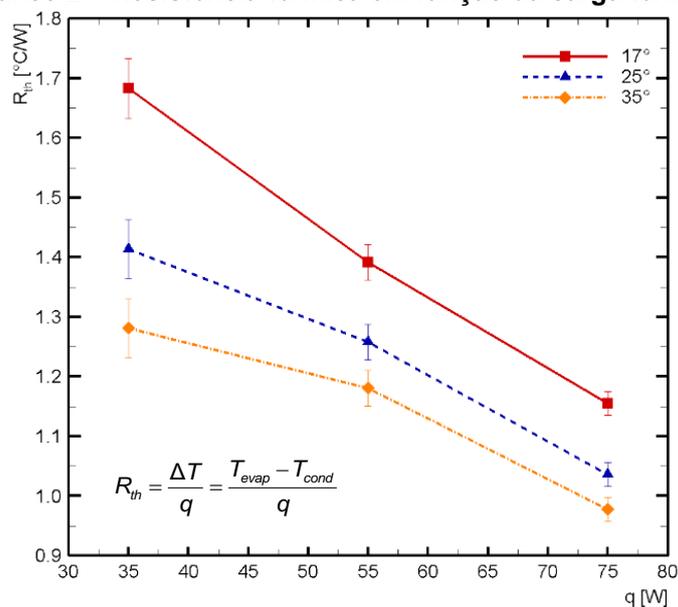
Fonte: Autoria própria.



Pode ser notado que ao aplicar uma carga térmica inicial há uma instabilidade em todos os termossifões no início de sua operação devido ao Efeito *Geyser boiling* (SOUZA *et al.*, 2022). Pode ser observado também, que o termossifão com inclinação de trabalho em 17° apresenta maior temperatura média do evaporador para todas as cargas térmicas aplicadas.

O Gráfico 2 apresenta os resultados da resistência térmica do termossifão para as diferentes inclinações de trabalho testadas em função das cargas térmicas aplicadas. Pode ser observado que em todos os casos testados foi possível identificar o comportamento esperado, com o aumento da carga térmica aplicada há uma redução da resistência térmica em função do menor gradiente apresentado entre as regiões do condensador e do evaporador. Pode ser notado ainda que o termossifão que apresentou a menor resistência térmica foi àquele testado a uma inclinação de trabalho de 35° devido às características do fenômeno analisado.

Gráfico 2 – Resistência térmica em função da carga térmica.



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada uma análise experimental da influência da inclinação de operação sobre um termossifão contendo nanofluido de óxido de grafeno na concentração volumétrica de 5% que pode ser aplicado em coletores solares de tubos evacuados. O desempenho térmico do termossifão foi baseado na distribuição de temperaturas ao longo do tempo sob diferentes cargas térmicas e na resistência térmica correspondente. Os resultados experimentais mostraram que para a inclinação de trabalho de 35° foram obtidos os menores valores de resistência térmica.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são externados à CAPES, ao CNPq, ao PPGEM-CP/PG, ao DAMEC-PG, à DIRPPG-PG e à PROPPG.



CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

ANTONINI ALVES, Thiago; KRAMBECK, Larissa; SANTOS, Paulo Henrique Dias dos. Heat pipe and thermosyphon for thermal management of thermoelectric cooling. In: ARANGUREN, Patricia (Ed.). **Bringing Thermoelectricity into Reality**. London: InTech, 2018.

HERRERA, Bernardo; GALLEGRO, Anderson; CACUA, Karen. Experimental evaluation of a thermosyphon-based heat exchanger working with a graphene oxide (GO) nanofluid in a cogeneration system. **Thermal Science and Engineering Progress**, v. 24, p. 100949, 2021.

MANTELLI, Marcia Barbosa Henriques. **Thermosyphons and Heat Pipes: theory and applications**. Springer, 2021.

REAY, David A.; KEW, Peter A.; MCGLEN, Ryan J. **Heat Pipe: theory, design and applications**. Butterworth-Heinemann, 2014.

SHAFIEIAN, Abdellah; KHIADANI, Mehdi; NOSARTI, Ataollah. A review of latest developments, progress, and applications of heat pipe solar collectors. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 95, p. 273-304, 2018.

SHAFIEIAN, Abdellah; OSMAN, Junaid Jaffer; KHIADANI, Mehdi; NOSARTI, Ataollah. Enhancing heat pipe solar water heating systems performance using a novel variable mass flow rate technique and different solar working fluids. **Solar Energy**, v. 186, p. 191-203, 2019.

SOUZA, Diógenes Oliveira de; MACHADO, Pedro Leineker Ochoski; CHIARELLO, Conrado; SANTOS, Eduardo Nunes dos; SILVA, Marco José da; SANTOS, Paulo Henrique Dias dos; ANTONINI ALVES, Thiago. Experimental study of hydrodynamic parameters regarding on Geyser Boiling phenomenon in glass thermosyphon using wire-mesh sensor. **Thermal Science**, v. 26, p. 1391-1404, 2022.

ZOHURI, Bahman. **Heat Pipe Design and Technology**. Springer, 2016.