



Investigação experimental de termossifões com nanofluido como fluido de trabalho

Experimental investigation of thermosyphons with nanofluid as a working fluid

Samuel Heusi Moreira (orientado)*, Thiago Antonini Alves (orientador)[†],
Rozane de Fátima Turchiello[‡], Victor Vaurek Dimbarre[§], Pedro Leineker Ochoski Machado[¶]

RESUMO

Termossifões são tubos de calor assistidos por gravidade utilizados para melhorar a transferência de calor. Neste trabalho foi executada uma avaliação experimental do desempenho térmico de um termossifão contendo nanofluido de óxido de grafeno com 5% de concentração em volume como fluido de trabalho. O termossifão foi fabricado a partir de um tubo de cobre com o diâmetro externo de 7,55mm, o diâmetro interno de 6,15mm e um comprimento total de 1.675mm. O evaporador tem comprimento de 1.600mm, enquanto a seção adiabática e o condensador têm comprimentos de 40 mm e 35 mm, respectivamente. O termossifão foi testado experimentalmente na posição inclinada de 25° em relação à horizontal sob condições de cargas térmicas variando entre 35W e 75W ou até que a temperatura de 100°C fosse alcançada no nanofluido de trabalho. Os resultados encontrados foram comparados com os resultados obtidos por um termossifão preenchido com água destilada operando sob mesmas condições. Como resultado dessa pesquisa, pode ser constatado que os termossifões operaram de forma satisfatória e que o termossifão contendo nanofluido como fluido de trabalho apresentou melhor desempenho térmico, comprovando a potencialidade do nanofluido a base de óxido de grafeno como intensificador da transferência de calor nesses dispositivos.

Palavras-chave: tubos de calor, desempenho térmico, óxido de grafeno, nanofluido.

ABSTRACT

Thermosyphons are gravity-assisted heat pipes used to improve heat transfer. In this work, an experimental evaluation of the thermal performance of a thermosyphon containing graphene oxide nanofluid with 5% volume concentration as working fluid was performed. The thermosyphon was manufactured from a copper tube with an outer diameter of 7.55mm, an inner diameter of 6.15mm, and a total length of 1,675mm. The evaporator has a length of 1,600mm, while the adiabatic section and the condenser have lengths of 40mm and 35mm respectively. The thermosyphon was experimentally tested in the 25° inclined position in relation to the horizontal under conditions of thermal loads varying between 35 and 75W or until the temperature of 100°C was reached in the working nanofluid. The results found were compared with the results obtained by a thermosyphon filled with distilled water operating under the same conditions. As a result of this research, it can be seen that the thermosyphons operated satisfactorily and that the thermosyphon containing nanofluid as a working fluid showed better thermal performance, proving the potential of the graphene oxide-based nanofluid as a heat transfer enhancer in these devices.

Keywords: heat pipes, thermal performance, graphene oxide, nanofluid.

* Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; samuelpmoreira@alunos.utfpr.edu.br

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Ponta Grossa; antonini@utfpr.edu.br

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Ponta Grossa; turchiel@utfpr.edu.br

§ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; victordimbarre@alunos.utfpr.edu.br

¶ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil; pedmac@alunos.utfpr.edu.br

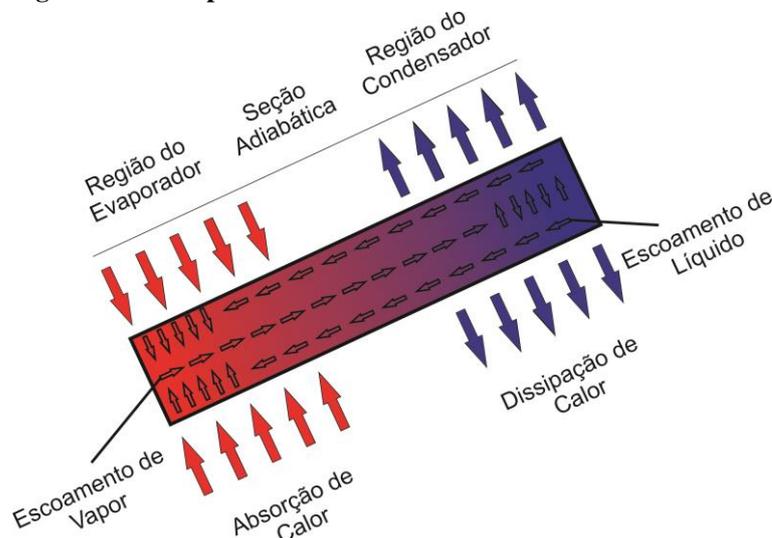


1 INTRODUÇÃO

Termossifões, ou tubos de calor assistido por gravidade, são dispositivos passivos de transferência de calor com condutividade térmica elevada. Eles são compostos por um tubo evacuado e preenchido por um fluido de trabalho, transportando energia na forma de calor entre suas extremidades a partir do calor latente de vaporização, relacionado com a evaporação e condensação do fluido de trabalho (REAY *et al.*, 2014).

Esses dispositivos são compostos por três regiões com diferentes funções em sua operação e seu funcionamento está ilustrado esquematicamente na Figura 1. A região inferior dos termossifões, denominada de evaporador, é a região que contém o fluido de trabalho. Essa região absorve calor de uma fonte quente, ocasionando a evaporação do fluido de trabalho. O interior dos dispositivos possui uma pressão muito inferior à pressão do ambiente externo, uma vez que são dispositivos evacuados. Devido a isso, o fluido de trabalho inicia o processo de evaporação em temperaturas de saturação inferiores à temperatura que ocorreria na condição da pressão do ambiente externo. Ao evaporar, o vapor do fluido de trabalho, devido à gradientes de pressão, desloca-se pelo centro dos termossifões até atingir a região superior, denominada de condensador. O condensador dissipa o calor absorvido no evaporador e transportado pelo vapor para uma fonte fria, podendo ser um escoamento de fluido frio, por exemplo, ocasionando a condensação do vapor. Devido à ação da gravidade, o fluido condensado retorna à região do evaporador escoando pelas paredes dos termossifões, fechando o ciclo termodinâmico. Entre o evaporador e o condensador está localizada a seção adiabática, uma seção transitória entre essas duas regiões e em que não há troca de calor com o ambiente externo, podendo estar ausente dependendo da aplicação (MANTELLI, 2021).

Figura 1 – Princípio de funcionamento de um termossifão.



Fonte: Dimbarre *et al.* (2021).

O invólucro dos termossifões é um tubo oco, podendo ser fabricado de diferentes materiais, tais como metais ou cerâmicos. O fluido de trabalho pode variar de acordo com a faixa de operação dos termossifões, sendo composto desde metais líquidos para operações em temperaturas elevadas, até nitrogênio líquido, quando sua utilização ocorre em baixas temperaturas. Além da compatibilidade com o invólucro e de sua temperatura de operação, outros fatores como pressão de vapor, condutividade térmica, estabilidade, toxicidade são importantes na seleção do fluido de trabalho (FAGHRI, 2014).



Os nanofluidos são caracterizados pela adição de nanopartículas a um fluido-base específico e têm se destacado nos últimos anos entre os fluidos de trabalho que podem ser utilizados em um termossifão e/ou tubos de calor. De acordo com Stremel *et al.* (2018), isso ocorre devido ao fato de apresentarem uma condutividade térmica muito superior do fluido-base. Quando as nanopartículas são adicionadas a um fluido-base melhoram a condutividade térmica do fluido e, dessa forma, aumentam o desempenho de um dispositivo muito eficaz como o termossifão, gerando novas faixas de aplicação e operação em equipamentos diversos.

A presença de nanopartículas dispersas em um fluido-base não interfere no seu calor latente de vaporização, tampouco em sua tensão superficial, dessa forma a utilização de nanofluidos tem a capacidade de melhorar a transferência de calor do sistema, desde que a troca térmica por convecção e condensação desempenhe papel importante. Com isso, a temperatura de operação dos fluidos-base é semelhante à de seu nanofluido (DA SILVA, 2010).

Neste contexto, na presente pesquisa de iniciação científica foi executada uma avaliação experimental do desempenho térmico de um termossifão com a utilização de nanofluido de óxido de grafeno com 5% de concentração em volume como fluido de trabalho. O termossifão foi testado experimentalmente na posição inclinada de 25° em relação à horizontal sob condições de cargas térmicas variando entre 35W e 75W ou até que a temperatura de 100°C fosse alcançada no nanofluido de trabalho. Os resultados encontrados foram comparados com os resultados obtidos por um termossifão preenchido com água destilada operando sob mesmas condições.

2 MATERIAIS & MÉTODOS

A metodologia utilizada na limpeza, montagem, teste de estanqueidade, procedimento de evacuação e no preenchimento com o nanofluido de trabalho do termossifão foi baseada levando em consideração as instruções fornecidas em Antonini Alves *et al.* (2018).

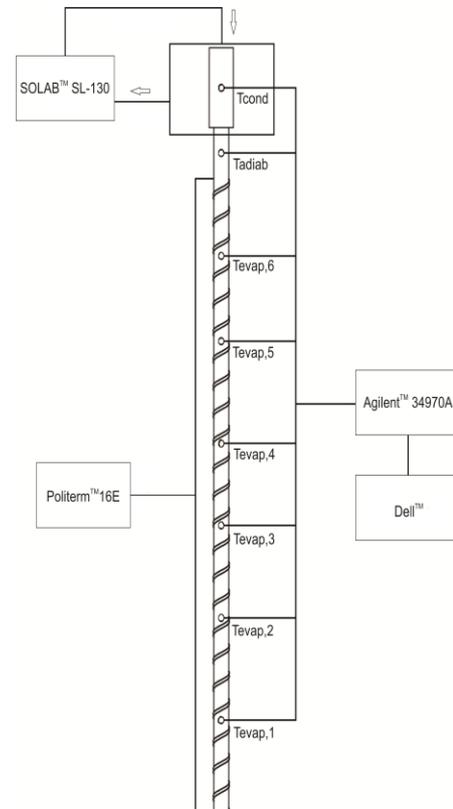
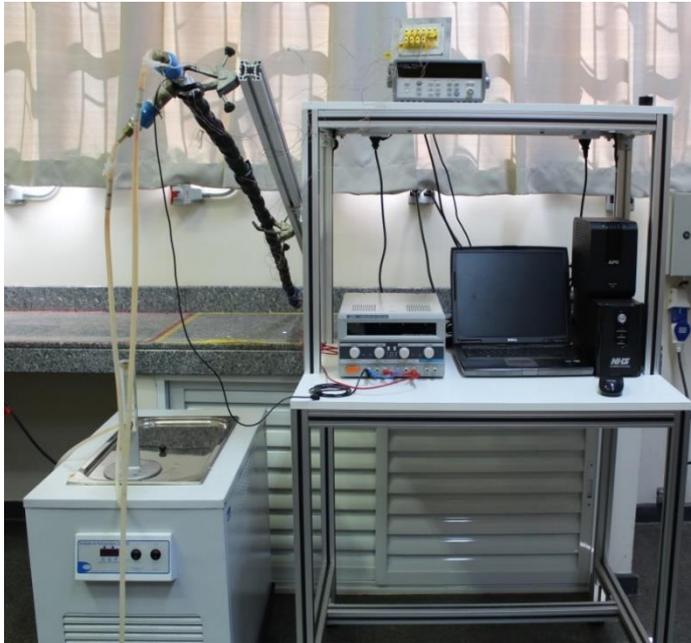
2.1 Características do Termossifão

O termossifão foi fabricado a partir de um tubo de cobre ASTM B75 sem costura, com diâmetro externo de 7,55mm, diâmetro interno de 6,15mm e comprimento total de 1.675mm. O evaporador tem comprimento de 1.600mm, enquanto a seção adiabática e o condensador têm comprimentos de 40 mm e 35 mm, respectivamente. Essas dimensões são condizentes com termossifões presentes em coletores solares de tubo a vácuo de alta pressão. O fluido de trabalho utilizado foi nanofluido de óxido de grafeno com concentração de 5% em volume com razão de preenchimento de 50% do volume do evaporador.

2.2 Aparato Experimental

O aparato experimental utilizado durante a execução dos testes experimentais é mostrado na Figura 2 e foi composto por uma fonte de alimentação *Politerm™ 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.

Figura 2 – Aparato experimental.



Fonte: autoria própria.

O evaporador e a região adiabática foram cobertos com uma fita termosensível *Kapton™*. Uma fita resistiva metálica *Omega Engineering™* foi enrolada sobre o evaporador e conectada à fonte de alimentação a partir de cabos banana-jacaré. Para o isolamento do evaporador, foi utilizado um tubo isolante térmico UV e de fibra de vidro. Esse isolamento foi feito com o objetivo de que a maior parte do calor gerado pela resistência seja transferido para o termossifão. O condensador foi posicionado no interior de um tê de PVC com 50mm de diâmetro. O tê, a partir de conexões e mangueiras, foi conectado ao banho ultratermostatizado, permitindo o escoamento de água sobre essa região. Um total de 10 termopares do tipo K *Omega Engineering™* foram utilizados para aquisição de dados de temperatura durante os testes experimentais, seis igualmente espaçados no evaporador ($T_{evap,1}$, $T_{evap,2}$, $T_{evap,3}$, $T_{evap,4}$, $T_{evap,5}$ e $T_{evap,6}$), um na seção adiabática (T_{adiab}), um no condensador (T_{cond}), um na entrada (T_{ent}) e outro na saída (T_{sai}) de água no tê de PVC.

2.3 Procedimento Experimental

Cargas térmicas de 35W, 55W e 75W foram utilizadas durante os testes experimentais. Um escoamento forçado de água com vazão volumétrica de 1,0L/min sobre o condensador foi responsável pela dissipação de calor absorvido pelo termossifão, simulando seu funcionamento durante sua aplicação destinada. A água usada para o processo de resfriamento assim como a temperatura ambiente foram mantidas a $18,0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pelo banho ultratermostatizado e um sistema de ar condicionado *Rhemm™*, respectivamente. As cargas térmicas foram aplicadas por um tempo de 25-30 minutos e os termossifões foram mantidos a uma inclinação de 25° com a horizontal (evaporador abaixo do condensador), correspondendo à latitude da cidade de Ponta Grossa/PR/Brasil: $25^{\circ}05'42''$ Sul.

Para a análise térmica, foram consideradas a distribuição de temperaturas no termossifão, as temperaturas de operação (T_{adiab}) e a resistência térmica (R_{th}).

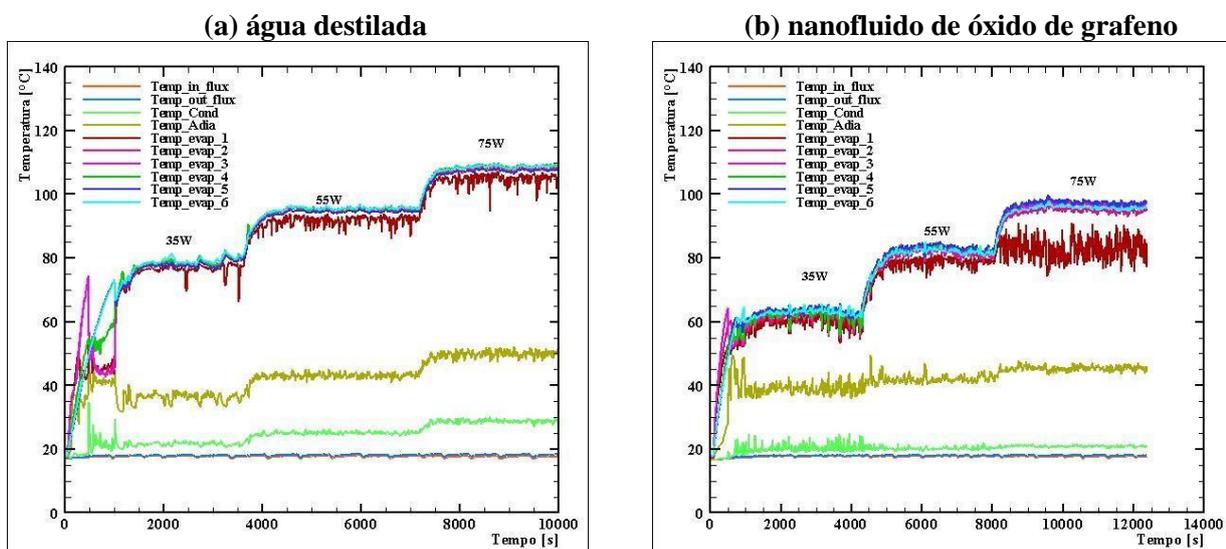
$$R_{th} = \frac{T_{evap} - T_{cond}}{q}, \quad (1)$$

sendo que, T_{evap} é a temperatura média do evaporador [°C], T_{cond} é a temperatura média do condensador [°C] e q é a potência dissipada [W].

3 RESULTADOS & DISCUSSÕES

Os resultados experimentais mostram o comportamento térmico dos termossifões operando com água destilada e nanofluido de óxido de grafeno 5%. As Figura 3(a) e 3(b) apresentam as distribuições das temperaturas ao longo do termossifão em função do tempo para as diferentes cargas térmicas aplicadas considerando água destilada e nanofluido de óxido de grafeno, respectivamente, como fluido de trabalho. Esses resultados ocorreram como esperado. Quando uma carga térmica foi aplicada, as temperaturas em todas as regiões começam a subir até o instante em que se atinge o regime *quasi* permanente. As temperaturas na região do evaporador foram as maiores, seguidas pela seção adiabática e pela região do condensador. A temperatura de saída da água foi maior do que a de entrada durante todo o teste experimental.

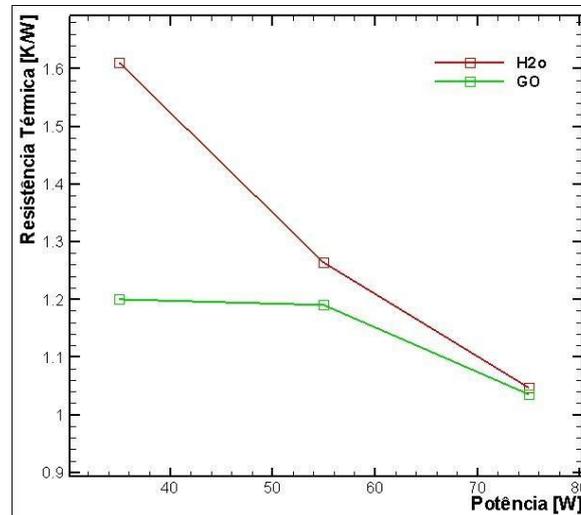
Figura 3 – Distribuição das temperatura em função do tempo.



Fonte: autoria própria.

Na Figura 4 são apresentados os valores encontrados para resistência térmica dos termossifões estudados em função da potência dissipada no evaporador. Como esperado, o aumento da potência dissipada resulta em uma diminuição da resistência térmica. Menores valores de resistência térmica indicam que, para um mesmo gradiente de temperaturas entre evaporador e condensador, o termossifão é capaz de transferir uma maior carga térmica. Dessa forma, um menor valor de resistência térmica indica uma maior eficiência durante a transferência de calor de um termossifão. Nesse contexto, o desempenho térmico do termossifão preenchido com nanofluido de óxido de grafeno com 5% de concentração em volume apresenta o melhor resultado do que termossifão preenchido com água destilada como fluido de trabalho, devido à sua menor resistência térmica.

Figura 4 – Resistência térmica dos termossifões com diferentes fluidos de trabalho.



Fonte: autoria própria.

4 CONCLUSÕES

Nessa pesquisa de iniciação científica foi executada uma avaliação experimental do desempenho térmico de um termossifão com a utilização de nanofluido a base de óxido de grafeno com 5% de concentração em volume como fluido de trabalho. O termossifão foi testado experimentalmente na posição inclinada de 25° em relação à horizontal sob condições de cargas térmicas variando entre 35W e 75W. Um termossifão contendo água destilada como fluido de trabalho também foi testado visando uma comparação entre os dispositivos passivos de transferência de calor. A partir da análise dos resultados experimentais, pode ser constatado que os termossifões operaram de forma satisfatória e que o termossifão contendo nanofluido como fluido de trabalho apresentou melhor desempenho térmico, comprovando a potencialidade do nanofluido a base de óxido de grafeno como intensificador da transferência de calor em termossifões.

REFERÊNCIAS

- 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.
- DA SILVA, A.C.M. *Transferência de Calor em Nanofluidos - Potencialidades e Desafios*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2010.
- DIMBARRE, V.V. et al. Influência da Razão de Preenchimento de um Termossifão com Nanofluido de Óxido de Grafeno 5% para Aplicação em Coletores Solares de Tubo a Vácuo. *Anais do XXVII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica (CREEM 2020)*, Curitiba/PR, Brasil, 2021.
- FAGHRI, A. Heat Pipes: Review, Opportunities and Challenges. *Frontiers in Heat Pipes*, v. 5, p. 01-48, 2014.
- MANTELLI, M.B.H. *Thermosyphon and Heat Pipes: Theory and Applications*. Springer Nature, Cham, 2021.
- REAY, D.A.; KEW, P.A.; MCGLEN, R.J. *Heat Pipes: Theory, Design and Applications*. Elsevier, Waltham, USA, 2014.
- STREMEL, G.K. et al. Avaliação Experimental do Desempenho Térmico de Termossifões Utilizando Nanofluido de Trabalho. *Anais do X Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM 2018)*, Salvador/BA, Brasil, 2018.