

## Estudo teórico, construção e testes experimentais de um termossifão

### RESUMO

**Gedley Kunan Stremel**  
[gedleyks@gmail.com](mailto:gedleyks@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil

**Larissa Krambeck**  
[larikrambeck@gmail.com](mailto:larikrambeck@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil

**Thiago Antonini Alves**  
[thiagoaalves@utfpr.edu.br](mailto:thiagoaalves@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil

**INTRODUÇÃO:** Termossifões são dispositivos passivos utilizados na intensificação da transferência de calor, operando em ciclo bifásico. Tais dispositivos são capazes de transferir grandes quantidades de energia térmica, mesmo com um pequeno gradiente de temperatura. Suas aplicações na indústria são em regeneradores de calor, aquecedores de ar de combustão e trocadores de calor. Os termossifões são compostos de três regiões, sendo ela o evaporador, a região adiabática e o condensador, cada uma com suas respectivas funções. **OBJETIVO:** Neste trabalho foi realizado o estudo do comportamento de um termossifão que pode ser utilizado como trocador de calor. **MÉTODOS:** Sua confecção se deu a partir de um tubo de cobre, com diâmetro externo de 12,7 mm, e diâmetro interno de 11,0 mm, com um comprimento total de 250 mm, caracterizando-se pelo evaporador com 100 mm, a região adiabática com 20,0 mm e o condensador de 130 mm. O fluido de trabalho utilizado foi a água deionizada, onde a porção preenchida com o fluido equivale a 60% do volume total do evaporador. O aquecimento do evaporador foi feito a partir de um resistor elétrico em fita de liga de níquel-cromo, e o resfriamento do condensador ocorreu por convecção forçada de ar. **RESULTADOS:** Os testes foram realizados na posição vertical, com cargas térmicas crescentes compreendidas entre 5 e 45 W. **CONCLUSÕES:** A partir dos resultados experimentais foi constatado a potencialidade do termossifão como um trocador de calor.

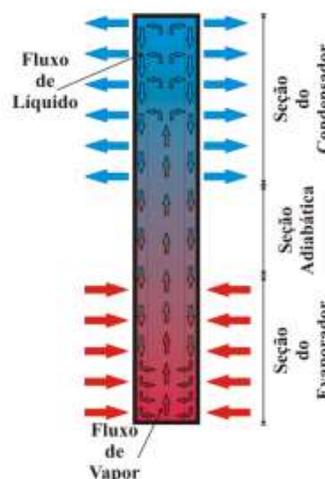
**PALAVRAS-CHAVE:** Termossifão. Desempenho Térmico. Trocadores de Calor. Experimental.

## 1. INTRODUÇÃO

Os termossifões são dispositivos passivos utilizados na intensificação da transferência de calor que se tornaram populares devido à sua eficiência e conveniência. Sua aplicação na indústria está relacionada à regeneradores de calor, aquecedores de ar de combustão e trocadores de calor (FAGHRI, 2014).

De acordo com Mantelli (2015), os termossifões são constituídos de três regiões de destaque: o evaporador, o condensador e a região adiabática. Calor é adicionado ao sistema por uma fonte de calor pelo evaporador, o qual aquece o fluido de trabalho até sua mudança de fase. O vapor se desloca até a parte superior do termossifão, o condensador. Assim, cede energia para o condensador, condensa-se e retorna ao evaporador por gravidade, completando o ciclo termodinâmico. A região adiabática é uma porção do tubo onde não há troca de calor com o meio externo. A Fig. 1 é apresentado um diagrama esquemático do princípio de funcionamento de um termossifão.

Figura 1 – Representação do princípio de funcionamento de um termossifão



Fonte: Santos *et al.* (2017)

Apesar destes dispositivos apresentarem uma ótima eficiência na troca de calor, ressalta-se que há presença de limitações à transferência de calor, onde tais limitações determinam as condições de trabalho do dispositivo. Os principais limites são: limite viscoso, limite sônico, limite de arrasto e limite de ebulição.

Neste trabalho foi realizado um estudo teórico e uma investigação experimental do desempenho térmico de um termossifão, construído a partir de um tubo de cobre, com razão de preenchimento de 60% em relação ao volume do evaporador, utilizando água deionizada como fluido de trabalho. Os testes experimentais foram executados na posição vertical, para cargas térmicas compreendidas entre 5W e 45W. Informações mais detalhadas sobre termossifões podem ser encontradas em Mantelli (2015), Peterson (1994), Reay *et al.* (2014) e Santos *et al.* (2017).

## 2. METODOLOGIA

Os procedimentos de confecção do termossifão, a metodologia de montagem do aparato experimental e os procedimentos dos testes experimentais foram realizados de acordo com Santos *et al.* (2014) e Nishida *et al.* (2015).

2.1 CARACTERÍSTICAS DO TERMOSSIFÃO. As características do termossifão estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do Termossifão.

Características do Termossifão	#
Diâmetro Interno do Termossifão [mm]	11,0
Diâmetro Externo do Termossifão [mm]	12,7
Comprimento do evaporador [mm]	100
Comprimento da Região Adiabática [mm]	20,0
Comprimento do Condensador [mm]	130
Fluido de Trabalho	Água Deionizada
Razão de preenchimento [%]	60,0
Volume do Fluido de Trabalho [mL]	4,56
Material (Invólucro, tampas e capilar)	Cobre ASTM B75 liga 122

Fonte: autoria própria (2017).

2.2 LIMPEZA DO TERMOSSIFÃO. O termossifão foi confeccionado a partir de um invólucro de 250 mm de comprimento, duas tampas (usinadas a partir de uma barra maciça de cobre com diâmetro de 12,7 mm) e um capilar (com diâmetro de 1 mm e comprimento de 40 mm). Desta forma, a limpeza destes componentes foi necessária para garantir a molhabilidade do fluido de trabalho, a eliminação de impurezas e proporcionar uma melhor evacuação do tubo. Os componentes foram devidamente limpos utilizando acetona, e, após, foi realizada uma outra limpeza com uma solução de ácido sulfúrico com concentração de 10% em volume. Finalmente, os componentes foram submetidos à um banho ultrassônico em acetona, por aproximadamente 20 minutos.

2.3 MONTAGEM DO TERMOSSIFÃO. Após o procedimento de limpeza, os componentes podem ser montados. As tampas e o capilar foram soldados nas extremidades do invólucro. O processo de soldagem foi realizado com o auxílio do ferro de solda **Hikari™ Power 300** e as peças foram brasadas utilizando uma liga de estanho como material de adição.

2.4 TESTE DE ESTANQUEIDADE. Para a verificação do correto procedimento de soldagem do equipamento, foi realizado um teste de estanqueidade, utilizando uma bomba de deslocamento manual, um recipiente com água e uma mangueira polimérica para unir a bomba ao capilar. A partir do bombeamento, foi verificado se não há a presença de bolhas de ar desprendendo-se do interior do termossifão. Em caso de presença de bolhas, o procedimento de soldagem deve ser refeito, caso contrário, o termossifão está pronto para a evacuação.

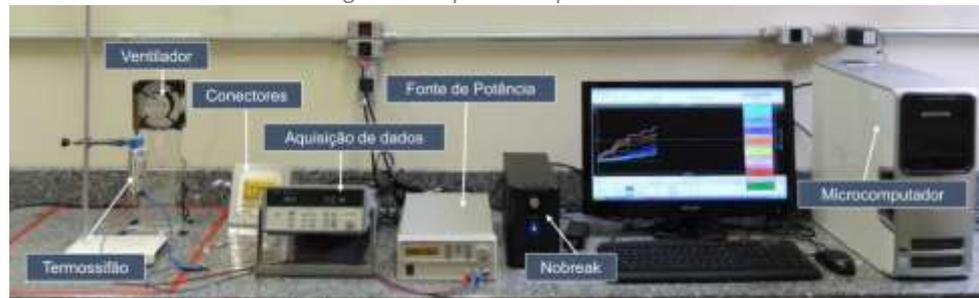
2.5 PROCEDIMENTO DE EVACUAÇÃO. Para a evacuação uma bomba de vácuo **EOS Value™ i260SV** foi usada. Para que o procedimento de evacuação seja eficiente, necessita-se de, no mínimo, a duração de 8 (oito) horas de procedimento. O processo de evacuação ocasiona uma pressão interna de 90mbar (9kPa) e a temperatura de saturação da água é de 43,74 °C.

2.6 PREENCHIMENTO DO TERMOSSIFÃO COM FLUIDO DE TRABALHO. Para a realização do preenchimento, uma pequena estação de preenchimento foi montada, compreendida de um suporte universal, uma bureta graduada (escala de 0,1 mL) com capacidade de 25 mL **Global Glass™** e um *fórceps*. A bureta, preenchida com o fluido de trabalho, foi aberta cuidadosamente a partir de uma válvula localizada em sua porção inferior, para evitar a entrada de ar no termossifão. Caso não haja a presença de bolhas, o fluido de trabalho foi

introduzido ao termossifão. Deve-se manipular cuidadosamente a adição de fluido para que não se perca o vácuo no interior do termossifão. O dispositivo foi preenchido com 4,56 mL de água deionizada, o que corresponde à 60% do volume do evaporador. Por fim, o capilar foi clipado por um alicate de pressão e sua extremidade soldada para completar a vedação.

2.7 DESCRIÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL. O aparato utilizado para os testes experimentais, Fig. 2, foi composto por uma fonte de potência (**Agilent™ U8002A**), um sistema de aquisição de dados (**Agilent™ 34970A** com 20 canais), um microcomputador **Dell™**, um *nobreak* **NHS™**, um ventilador **Ultrar™** e por um suporte universal com garra.

Figura 2 – Aparato Experimental



Fonte: Autoria Própria (2017).

O comportamento térmico do termossifão foi analisado a partir de onze termopares do Tipo K (**Omega™**), dispostos na superfície externa do termossifão, sendo quatro deles na região com evaporador, um na seção adiabática e cinco no condensador, fixados ao termossifão por fita adesiva termosensível **Kapton™**.

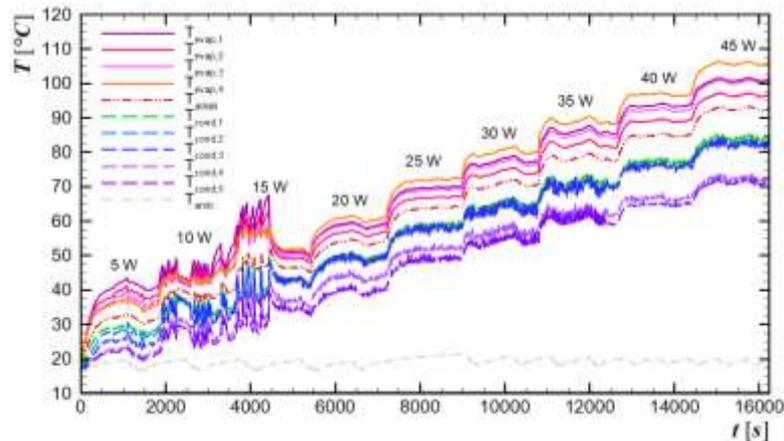
O sistema de aquecimento do evaporador foi realizado pela dissipação de potência proveniente da passagem de uma corrente elétrica em uma fita resistiva de liga níquel-cromo de 0,1 mm de espessura e 3,5 mm de largura. A superfície externa do termossifão foi protegida com fita adesiva termosensível **Kapton™** para que o resistor e os termopares não tivessem contato direto com o tubo de cobre. Para garantir que todo o calor gerado por efeito Joule fosse transmitido ao evaporador foram instalados nesta região um isolamento térmico aeronáutico e uma camada de polietileno. Uma fita de fibra de vidro foi usada na seção adiabática como um isolante térmico entre o suporte e o termossifão. O sistema de resfriamento por convecção forçada foi constituído pelo ventilador na região do condensador.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados experimentais ilustram o comportamento do termossifão, operando em posição vertical, com água deionizada como fluido de trabalho. Os testes foram realizados com cargas térmicas compreendidas entre 5 e 45W, onde o procedimento experimental foi repetido por três vezes, para garantir a repetitividade dos resultados. Os testes experimentais apresentaram erros menores que 0,5 °C nos valores médios. Por questões de segurança, após a temperatura de 125 °C, o teste era imediatamente interrompido. As incertezas experimentais de temperatura foram estimadas em aproximadamente  $\pm 1,2$  °C e de carga térmica foi de  $\pm 1\%$ .

A Figura 3 ilustra a distribuição da temperatura em função do tempo. De acordo com o que era esperado, as temperaturas apresentam-se crescentes com o aumento da potência dissipada no evaporador.

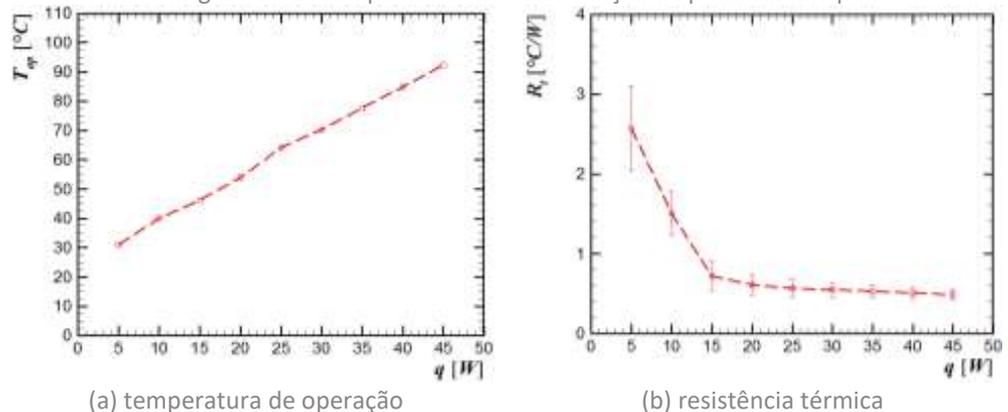
Figura 3 – Distribuição de Temperaturas no termossifão em função do tempo na vertical



Fonte: Autoria Própria (2017).

As Figuras 4a e 4b apresentam, respectivamente, o comportamento da temperatura de operação (temperatura da região adiabática) e da resistência térmica do termossifão testado em função da potência dissipada no evaporador. Pode ser notado que, como esperado, há um aumento da temperatura de operação com o aumento da potência dissipada pelo evaporador e uma diminuição da resistência térmica do mesmo.

Figura 4 – Desempenho térmico em função da potência dissipada



(a) temperatura de operação

(b) resistência térmica

Fonte: Autoria Própria (2017).

#### 4. CONCLUSÕES

No presente trabalho, realizou-se uma análise teórica e uma investigação experimental do desempenho térmico de um termossifão, com água deionizada como fluido de trabalho. Os testes experimentais foram realizados com o termossifão em posição vertical, submetido à cargas térmicas que variam em ordem crescente entre 5 e 45W. Pode ser constatado que o termossifão construído funcionou de maneira satisfatória, onde nenhum limite operacional foi atingido, podendo ser utilizado como um trocador de calor.

## Theoretical study, construction, and experimental test of a thermosyphon

### ABSTRACT

**INTRODUCTION:** Thermosyphon are passive devices used in the enhancement of heat transfer, operating in two-phase cycle. Such devices are capable of transferring large amounts of thermal energy even with a small temperature gradient. Its applications in the industry are in heat regenerators, combustion air heaters and heat exchangers. The thermosyphons are composed of three regions, the evaporator, the adiabatic region and the condenser, each with their respective functions. **OBJECTIVE:** In this work, the behavior of a thermosyphon that can be used as a heat exchanger was studied. **METHODS:** The thermosyphon was made from a copper tube with an outer diameter of 12.7 mm and an inner diameter of 11.0 mm, with a total length of 250 mm, characterized by the evaporator with 100 mm, the adiabatic region with 20.0 mm and the condenser 130 mm. The working fluid used was deionized water with a filling ratio of 60% of the total volume of the evaporator. The evaporator heating was done from an electric resistor on nickel-chromium alloy tape, and the condenser cooling occurred by forced convection of air. **RESULTS:** The tests were carried out in the vertical position, with increasing thermal loads between 5 and 45W. **CONCLUSIONS:** From the results, the potentiality of the thermosyphon was verified as a heat exchanger.

**KEYWORDS:** Thermosyphon. Thermal Performance. Heat exchangers. Experimental.

---

## 5. REFERÊNCIAS

FAGHRI, A. **Heat Pipes: Review, Opportunities and Challenges**. *Frontiers in Heat Pipes*, 2014. Vol. 5, p.1-48.

MANTELLI, M.B.H. **Tubos de calor e termossifões**. Notas de Aula, Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

NISHIDA, F.B.; MARQUARDT, L.S.; BORGES, V.Y.S.; SANTOS, P.H.D.; ANTONINI ALVES, T. **Development of a copper heat pipe with axial grooves manufactured using Wire Electrical Discharge Machining (Wire-EDM)**. *Advanced Materials Research* (Online), 2015. v. 1120, p. 1325-1329.

PETERSON, G.P. **An introduction to heat pipes: modeling, testing and applications**. Wiley-Interscience, 1994.

REAY, D.A.; KEW, P.A.; MCGLLEN, R.J. **Heat pipe: theory, design and application**. Butterworth-Heinemann, 2013.

SANTOS, P.H.D., VICENTE, K.A.T., REIS, L.S., MARQUARDT, L.S. & ANTONINI ALVES, T. **Modeling and Experimental Tests of a Copper Thermosyphon**. *Acta Scientiarum. Technology*, 2017. Vol. 39, n.1, p.59-68.

SANTOS, P.H.D.; KRAMBECK, L.; SANTOS, D.L.F.; ANTONINI ALVES, T. **Analysis of a stainless steel heat pipe based on operation limits**. *International Review of Mechanical Engineering*, 2014. v. 8, p. 599-608.

**Recebido:** 31 ago. 2017.

**Aprovado:** 02 out. 2017.

**Como citar:**

STREMEL, G.K. et al. Estudo teórico, construção e testes experimentais de um termossifão. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Thiago Antonini Alves

Av. Monteiro Lobato, s/n, km 04, Jardim Carvalho, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

**Direito autoral:**

Este resumos expandidos está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional.

