

## Fabricação e caracterização de estrutura capilar por sinterização de pó metálico de cobre para aplicação em tubos de calor

## Production and characterization of capillary structure by copper metallic powder sintering for application in heat pipes

**Guilherme Antonino Bartmeyer**  
[gabartmeyer@hotmail.com](mailto:gabartmeyer@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

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

**Davi Fusão**  
[davi@utfpr.edu.br](mailto:davi@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Paulo Henrique Dias dos Santos**  
[psantos@utfpr.edu.br](mailto:psantos@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

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

### RESUMO

Tubo de calor é um dispositivo passivo de transferência de calor utilizado em diversas aplicações devido a sua elevada capacidade de transferir calor por meio de um pequeno gradiente de temperatura. Neste trabalho foi avaliada experimentalmente a capacidade de uma estrutura sinterizada atuar como meio capilar em um tubo de calor, estudando desde a matéria prima a ser sinterizada até os ensaios realizados com o tubo de calor contendo a estrutura sinterizada. A estrutura capilar de metal sinterizado foi fabricada a partir do processo de sinterização, onde ocorre a fusão das partículas de pó originando um meio contínuo de escoamento. O tubo de calor foi testado na posição vertical sob cargas térmicas crescentes compreendidas entre 5 W e 35 W. Os resultados experimentais mostraram que a estrutura sinterizada funcionou com sucesso, ou seja, a estrutura capilar é adequada para a aplicação em tubos de calor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Caracterização. Sinterização. Tubo de Calor.

### ABSTRACT

The heat pipe is a passive heat transfer device used in several applications due to its high capacity to transfer heat through a small temperature gradient. In this research, the capacity of a sintered structure to act as a capillary medium in a heat pipe was evaluated experimentally, studying from raw material to be sintered to the tests performed with the heat pipe containing the sintered structure. The sintered metal capillary structure was fabricated from the sintering process, which the powder particles are melted resulting in a continuous flow structure. The heat pipe was tested in the vertical position under increasing thermal loads ranging from 5 W to 35 W. The experimental results showed that the sintered structure worked successfully, that is, the capillary structure is suitable for the application in heat pipes.

**KEYWORDS:** Characterization. Sintering. Heat Pipe.

**Recebido:** 31 ago. 2018.

**Aprovado:** 04 out 2018

#### Direito autoral:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

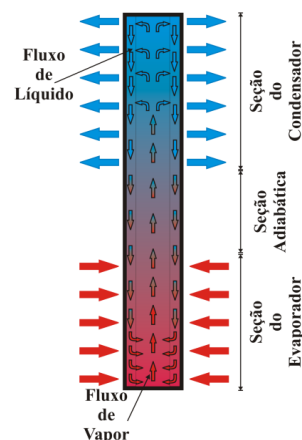


## INTRODUÇÃO

Tubo de calor é um dispositivo passivo de transferência de calor utilizado em diversas aplicações devido a sua elevada capacidade de transferir calor por meio de um pequeno gradiente de temperatura (Reay et al., 2014). Ele utiliza o calor da mudança de fase do fluido de trabalho, calor latente de vaporização, para realizar seu ciclo de operação, o que consome elevada energia na forma de calor, pois o coeficiente de transferência de calor associado aos processos de ebulição e condensação são altos (Kumaresan et al., 2014).

De acordo com Groll & Rösler (1992), o tubo de calor é dividido geralmente em três regiões com funções específicas: evaporador, seção adiabática e condensador, como apresentado na Figura 1. Na região do evaporador o fluido de trabalho ganha calor e troca de fase. A fase gasosa do fluido de trabalho se desloca até a região do condensador, onde perde calor e condensa em sua forma líquida, que retorna para o condensador. O retorno do fluido de trabalho do condensador ao evaporador ocorre pelo efeito do bombeamento capilar, resultante do escoamento do fluido de trabalho pela estrutura capilar, que normalmente reveste a parede interna do tubo de calor. Desta forma, o tubo de calor pode operar em qualquer configuração de posicionamento entre o evaporador e o condensador (Faghri, 2014).

Figura 1 – Diagrama esquemático do funcionamento de um tubo de calor.



Fonte: Autoria própria (2018).

A estrutura capilar é o elemento fundamental em um tubo de calor, pois promove o bombeamento capilar e o caminho para o escoamento do fluido de trabalho. Desta forma, ela influencia diretamente o desempenho térmico de um tubo de calor. As estruturas capilares mais utilizadas são as fabricadas por ranhuras, tela metálica, pó metálico sinterizado e/ou a combinação destas (Krambeck et al., 2017). Estruturas capilares de pó metálico sinterizado são feitas a partir do processo de sinterização, onde ocorre a fusão das partículas de pó originando um meio contínuo de escoamento.

Neste contexto, no presente trabalho foi realizada uma análise experimental do desempenho térmico de um tubo de calor, contendo pó de cobre sinterizado como estrutura capilar, operando na posição vertical sob condições de carga térmica compreendida entre 5 W e 35 W. O fluido de trabalho utilizado foi água destilada com uma razão de preenchimento de 100% do volume do evaporador.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada na construção e nos testes experimentais do tubo de calor sinterizado foi realizada de acordo com as instruções fornecidas em Antonini Alves et al. (2018).

## CARACTERIZAÇÃO DO PÓ METÁLICO

A estrutura capilar sinterizada foi fabricada a partir de um pó de cobre fabricado por atomização. A composição química do pó metálico de cobre foi determinada por um Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva *Shimadzu*<sup>TM</sup> EDX-7000. O pó metálico foi composto por 100% de cobre.

## SINTERIZAÇÃO DO TUBO DE CALOR

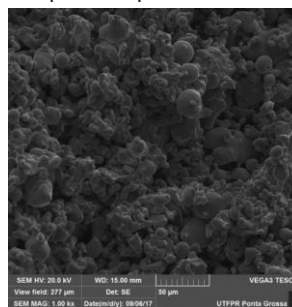
A sinterização do pó metálico ocorreu em um forno tubular horizontal *Inti*<sup>TM</sup> FT-1200 com atmosfera controlada (mistura de 95% de Argônio e de 5% de Hidrogênio), onde tanto a rampa de aquecimento (20°C/min) quanto o tempo (15 minutos) e temperatura (800 °C) de permanência na temperatura de sinterização eram conhecidos.

A estrutura capilar obtida através da sinterização de pó metálico de cobre em um tubo reto de cobre é apresentada na Figura 2. Esta estrutura capilar de pó de cobre sinterizado utilizada em aplicações de tubos de calor apresenta uma estrutura sólida com alta permeabilidade e com boa resistência mecânica (Bartmeyer et al., 2017).

Figura 2 – Amostra de estrutura capilar de pó de cobre sinterizado.



(a) fotografia



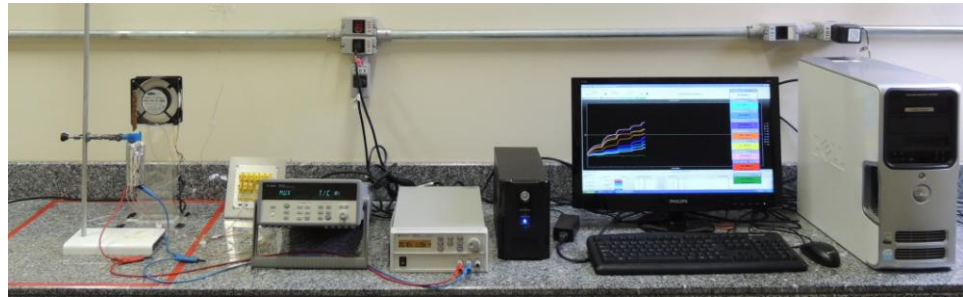
(b) imagem microscópica (MEV)

Fonte: Autoria própria (2017).

## APARATO EXPERIMENTAL

O aparato experimental utilizado para os testes experimentais do desempenho térmico do tubo de calor sinterizado, mostrado na Figura 3, foi composto por uma fonte de alimentação *Agilent*<sup>TM</sup> U8002A, um sistema de aquisição de dados *Agilent*<sup>TM</sup> 34970A contendo um módulo multiplexador *Agilent*<sup>TM</sup> 34901A com 20 canais, um *nobreak NHS*<sup>TM</sup>, um microcomputador *Dell*<sup>TM</sup>, um suporte universal com garra e por um ventilador *Ultrar*<sup>TM</sup>.

Figura 3 – Aparato experimental.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para avaliação da distribuição de temperaturas, foram utilizados termopares *Omega Engineering*<sup>TM</sup> do tipo K fixados na superfície externa do dispositivo passivo de transferência de calor por meio de uma fita adesiva termosensível de poliamida resistente a altas temperaturas (*Kapton*<sup>TM</sup>). O aquecimento do evaporador foi feito por uma fita resistiva. Para garantir que todo o calor gerado por efeito *Joule* fosse transmitido ao evaporador foram instalados nesta região um isolamento térmico aeronáutico. Uma fita de fibra de vidro foi usada na seção adiabática como um isolante térmico entre o suporte universal com garra e o tubo de calor.

#### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A temperatura ambiente foi controlada por um aparelho de condicionamento de ar *Carrier*<sup>TM</sup> e o ventilador foi acionado a uma velocidade de 5 m/s. A potência inicial dissipada pela resistência elétrica foi de 5 W, aumentando em 5 W toda vez que o regime *quasi* permanente fosse obtido, até que a temperatura máxima no tubo de calor sinterizado atingisse 150 °C. Os dados foram coletados a cada 5 (cinco) segundos, gravados no microcomputador *Dell*<sup>TM</sup> através do *software Agilent*<sup>TM</sup> *Benchlink Data Logger 3* e, posteriormente, tratados e analisados.

#### PARAMETROS TÉRMICOS DE INTERESSE

O desempenho térmico do tubo de calor foi analisado e comparado baseado na resistência térmica global ( $R_t$ ) que pode ser calculada:

$$R_t = \frac{(T_{w, \text{evap}} - T_{w, \text{cond}})}{q} \quad (1)$$

sendo que,  $q$  é a capacidade do tubo de calor em transferir calor,  $T_{w, \text{evap}}$  e  $T_{w, \text{cond}}$  são as temperaturas média da parede do evaporador e do condensador, respectivamente.

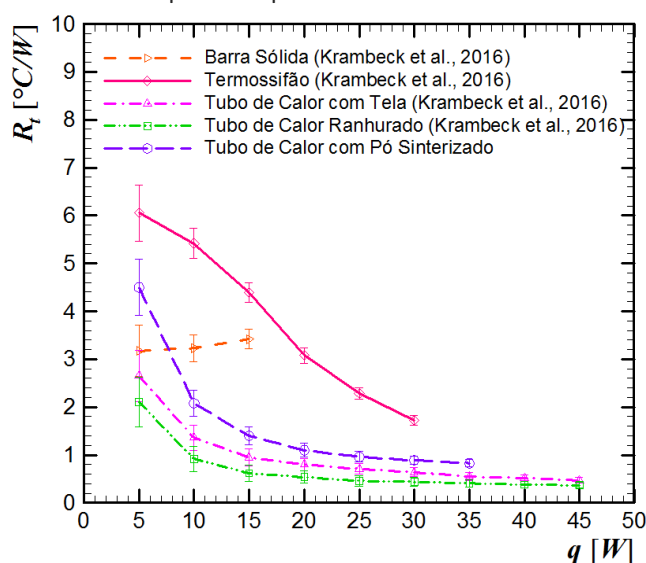
#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise do desempenho térmico, a resistência térmica do tubo de calor sinterizado foi comparada com diferentes dispositivos passivos de transferência de calor, sendo eles: uma barra sólida, um termossifão (tubo de calor sem estrutura capilar), um tubo de calor com tela metálica e um tubo de

calor com microranhuradas. Maiores informações sobre as características destes dispositivos podem ser encontradas em Krambeck et al. (2016).

A Figura 4 apresenta o comportamento da resistência térmica em função da dissipação de potência considerando os diversos dispositivos de transferência de calor. Com exceção da barra sólida, que possui uma resistência térmica quase que constante, a resistência térmica dos tubos de calor e do termossifão diminui com o aumento da dissipação de calor no evaporador.

Figura 4 – Resistência térmica versus potência aplicada para diferentes dispositivos passivos de transferência de calor.



Fonte: Autoria própria (2018).

Dos resultados experimentais, o tubo de calor sinterizado funcionou com sucesso, uma vez que a estrutura capilar de pó metálico de cobre sinterizado proporcionou ao tubo de calor a operação em maior carga com uma menor resistência térmica. Portanto, os resultados foram satisfatórios, uma vez que a intenção deste teste foi avaliar a eficiência do método de sinterização para a fabricação de estrutura capilar para tubos de calor. Comparado com outros dispositivos passivos de transferência de calor, o tubo de calor com pó sinterizado apresenta um melhor desempenho que a barra sólida e o termossifão e um comportamento similar com os tubos de calor com outras estruturas capilares.

## CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada a análise experimental do desempenho térmico de um tubo de calor com estrutura capilar de pó metálico de cobre sinterizado, com água destilada como fluido de trabalho. O tubo de calor foi testado na posição vertical sob cargas térmicas compreendidas entre 5 W e 35 W. Os resultados experimentais mostraram que a estrutura sinterizada funcionou com sucesso e apresentou um comportamento muito similar com tubos de calor com tela metálica e com microranhuradas. Desta forma, a estrutura capilar é adequada para a aplicação como estrutura capilar em tubos de calor.



## 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: IntechOpen, 2018. p. 353-373.

BARTMEYER, G.A.; KRAMBECK, L.; FUSÃO, D.; ANTONINI ALVES, T. Aplicação da sinterização de pó de cobre para estrutura capilar em tubos de calor. **Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo**, São Paulo, v. 44, p. 74, 2017.

FAGHRI, A. Heat pipes: review, opportunities and challenges. **Frontiers in Heat Pipes**, v. 5, n. 1, p. 01-48, 2014.

GROLL, M.; RÖSLER, S. Operation principles and performance of heat pipes and closed two-phase thermosyphons. **Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics**, v. 17, p. 091-151, 1992.

KRAMBECK, L.; NISHIDA, F.B.; AGUIAR, V.M.; SANTOS, P.H.D.; ANTONINI ALVES, T. 2016, Desempenho térmico de diferentes dispositivos passivos de resfriamento de equipamentos eletroeletrônicos. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, IX, 2016, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: CONEM, 2016.

KRAMBECK, L.; NISHIDA, F.B.; AGUIAR, V.M.; SANTOS, P.H.D.; ANTONINI ALVES, T. Thermal performance evaluation of different passive devices for electronics cooling. **Thermal Science**, online-first issue 00, p. 300, 2017.

KUMARESAN, G.; VENKATACHALAPATHY, S.; ASIRVATHAM, L.G.; WONGWISES, S. Comparative study on heat transfer characteristics of sintered and mesh wick heat pipes using CuO nanofluids. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, v. 57, p. 208-215, 2014.

REAY, D. A.; KEW, P. A.; MCGLEN, R. J. **Theory, design and applications**. 6. ed. Waltham: Elsevier, 2014.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu professor orientador e a todos do Laboratório de Controle Térmico da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa pelo apoio.