



## Emprego de termossifões de aço inoxidável em pré-resfriadores aplicados à indústria de laticínios

### Use of stainless steel thermosyphons in pre-coolers applied to the dairy industry

Gustavo Schislowicz da Costa Goltz<sup>1</sup>, Victor Dimbarre Vaurek<sup>2</sup>, Felipe Mercês Biglia<sup>3</sup>, Felipe Barreto Campelo Cruz<sup>4</sup>, Paulo Henrique Dias dos Santos<sup>5</sup>, Thiago Antonini Alves<sup>6</sup>

#### RESUMO

Neste trabalho, um termossifão em aço inoxidável, visando uma aplicação em pré-resfriadores utilizados na indústria de laticínios, foi testado experimentalmente na posição vertical para determinação de seu desempenho térmico. O termossifão foi preenchido com 40% do volume do evaporador. Os fluidos de trabalho estudados foram água deionizada e metanol. Foi observado o seu comportamento para a dissipação de cargas térmicas variando de 15W a 55W, sendo avaliado a distribuição de temperaturas em função do tempo e a temperatura operacional em função da carga térmica dissipada. Foi concluído que é necessário a utilização de fluido de trabalho que tenham temperatura de funcionamento ainda menor que o metanol e que podem ser necessárias alterações construtivas para que possa funcionar em tal processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** indústria alimentícia; experimental; resistência térmica; tubo de calor.

#### ABSTRACT

In this work, a stainless steel thermosyphon, aimed at application in pre-coolers used in the dairy industry, was experimentally tested in a vertical position to determine its thermal performance. The thermosyphon was filled with 40% of the evaporator volume. The working fluids studied were deionized water and methanol. Its behavior for dissipating thermal loads ranging from 15 to 55W was observed, evaluating the temperature distribution as a function of time and the operational temperature as a function of the dissipated thermal load. It was concluded that it is necessary to use working fluids that have an operating temperature even lower than methanol and that constructive changes may be necessary so that it can function in such a process.

**KEYWORDS:** food industry; experimental; thermal resistance; heat pipe.

## INTRODUÇÃO

Nos processos industriais na indústria alimentícia, têm-se buscado mais qualidade de produtos e processos devido à exigência da legislação e a competitividade do mercado, visando uma redução de desperdício, tanto de matéria-prima como de energia, sendo representado pela falta de qualidade, traduzido na forma de uma maior atualização de recursos para produzir uma determinada quantidade de produtos, ou na forma de trabalhos e refugos que geram custos adicionais (LOPES *et al.*, 2007).

<sup>1</sup> Bolsista Voluntário. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: gustavogoltz@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 0244625181474277.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Aluno de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: felipebiglia@gmail.com. ID Lattes: 3137809903704985.

<sup>4</sup> Docente do Departamento Acadêmico de Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil. E-mail: fbcruz@utfpr.edu.br. ID Lattes: 8630348977498378.

<sup>5</sup> Docente do Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil. E-mail: profpaulosantosct@gmail.com. ID Lattes: 5701155189630566.

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



De acordo com o BNDES, em 2013 a produção leiteira no Brasil representava uma participação de 5,1% na produção mundial. No período de pandemia da COVID-19 houve problemas devido à crise instaurada e com a retomada da economia mundial há indícios de favorecimento ao consumo de lácteos, o que corrobore para o Brasil se fortalecer na sexta posição no *ranking* mundial, e com perspectivas de grandes movimentações econômicas por esse mercado (MAIA *et al.*, 2013).

O Ministério da Saúde através da Portaria 1428/93 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1993), estabeleceu normas e procedimentos visando o atendimento de um determinado padrão de identidade e qualidade de um produto ou serviços, definindo boas práticas de fabricação e inspeções, e apresentando informações referentes à aspectos básicos como condições ambientais, instalações e saneamento, equipamentos e utensílios, tecnologia empregada, controle e garantia de qualidade, armazenagem, exposição, comercialização, desinfestação e desinfecção. Em complemento, a Portaria 326/97 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1997) apresenta ações visando o aperfeiçoamento para o controle sanitário na área de alimentos visando a proteção da saúde da população.

Tendo o processo em foco, após o leite ser ordenhado, o mesmo é dirigido à um sistema de armazenamento, no qual antes de ser depositado em um tanque de resfriamento, passa por uma série de trocadores de calor, tendo como objetivo a redução de temperatura da faixa de 36°C, para a faixa de 20°C. Para isso, atualmente os trocadores de calor de pré-resfriamento que ganham destaque em tal aplicação são os trocadores de calor do tipo placas, que utilizam água como fluido refrigerante, significando um potencial de 30% à 35% na redução de consumo elétrico para refrigeração e acarretando um menor tempo de refrigeração.

Uma alternativa aos trocadores de calor do tipo placas são os termossifões, ou também denominados por tubos de calor assistidos pela gravidade, e definidos como dispositivos passivos de transferência de calor que utilizam o calor latente de vaporização de um fluido de trabalho, para que através de um ciclo bifásico, realizem trocas térmicas, sendo eles dividido em três partes: (i) *evaporador*, responsável pela absorção de calor de uma fonte e transmite para o fluido de trabalho; (ii) *condensador*, que transmite o calor do fluido de trabalho para uma fonte fria; (iii) *seção adiabática*, que tem por função conectar as outras seções e sua característica é não realizar trocas térmicas (MANTELLI, 2021).

Neste contexto, o presente trabalho tem como proposta o emprego de termossifões de aço inoxidável para realizar trocas térmicas no processo de pré-resfriamento aplicado à indústria de laticínios.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A fabricação do termossifão foi realizada em aço inoxidável 304, possuindo um comprimento total de 550mm, e diâmetro externo de 25,4mm, em uma extremidade foi soldada uma tampa e na outra uma via de acesso com uma válvula *Swagelok*<sup>®</sup> de agulha para fazer o controle da passagem dos diferentes fluidos de trabalho (água e metanol).

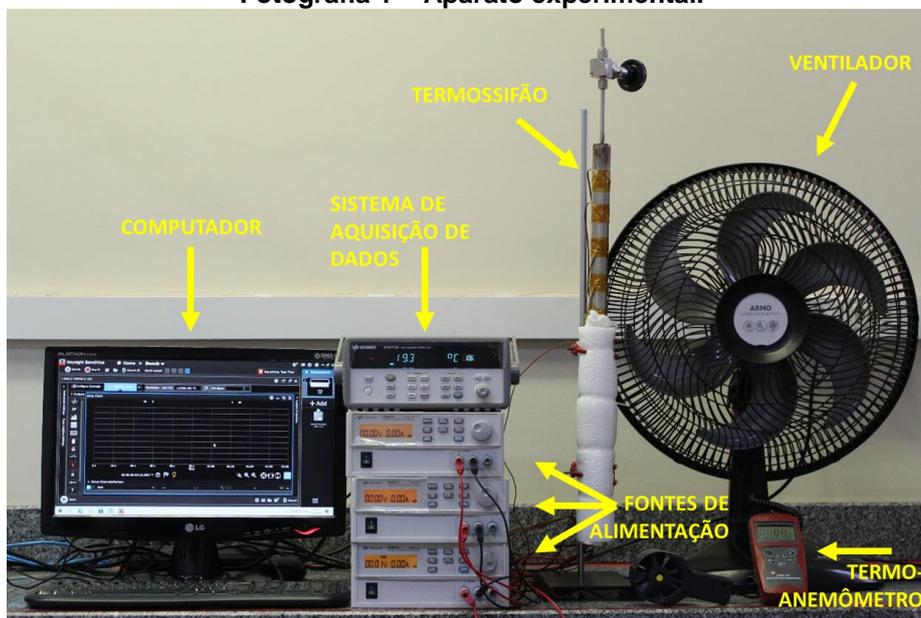
A metodologia apresentada em Antonini Alves *et al.* (2018) foi utilizada para preparação, limpeza, brasagem, teste de estanqueidade, procedimento de evacuação e preenchimento com o fluido de trabalho. A razão de preenchimento foi de 40%.

A Fotografia 1 mostra como foi montado o aparato experimental composto pelo termossifão de aço inoxidável, três fontes de alimentação da *Keysight*<sup>®</sup>, um sistema de aquisição de dados *Keysight*<sup>®</sup> 34970A com um multiplexador de 20 canais da *Keysight*<sup>®</sup>,



um termoanemômetro *Itan*<sup>®</sup> para aferição da velocidade do ar e um computador. Além disso, um sistema de condicionamento de ar da *Rheem*<sup>®</sup> foi utilizado para controle de temperatura, tendo como padrão  $18,0^{\circ}\text{C} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ .

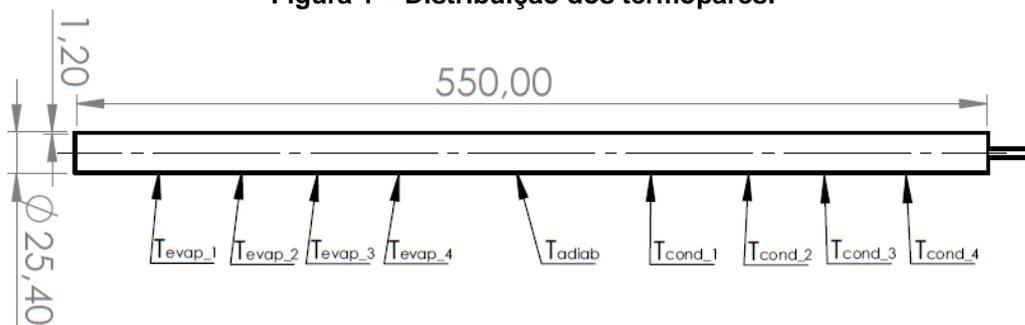
Fotografia 1 – Aparato experimental.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 1 é ilustrada a distribuição dos termopares do tipo J *Keysight*<sup>®</sup>, no qual, foram instalados nove termopares na superfície externa, sendo quatro posicionados no evaporador ( $T_{evap}$ ), um na seção adiabática ( $T_{adiab}$ ), quatro no condensador ( $T_{cond}$ ) e um termopar para aquisição da temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ).

Figura 1 – Distribuição dos termopares.



Fonte: Autoria própria.

Para avaliação do termossifão foram aplicadas no evaporador cargas térmicas entre 15W e 55W e o resfriamento do condensador foi realizado através de convecção forçada de ar, com uma velocidade de  $\pm 3,5\text{m/s}$ . A posição de teste foi a vertical. O evaporador e a seção adiabática foram envolvidas por duas camadas, uma de fibra de vidro e outra de polietileno expandido, provendo o isolamento necessário para a não ocorrência de trocas térmicas com o ambiente.

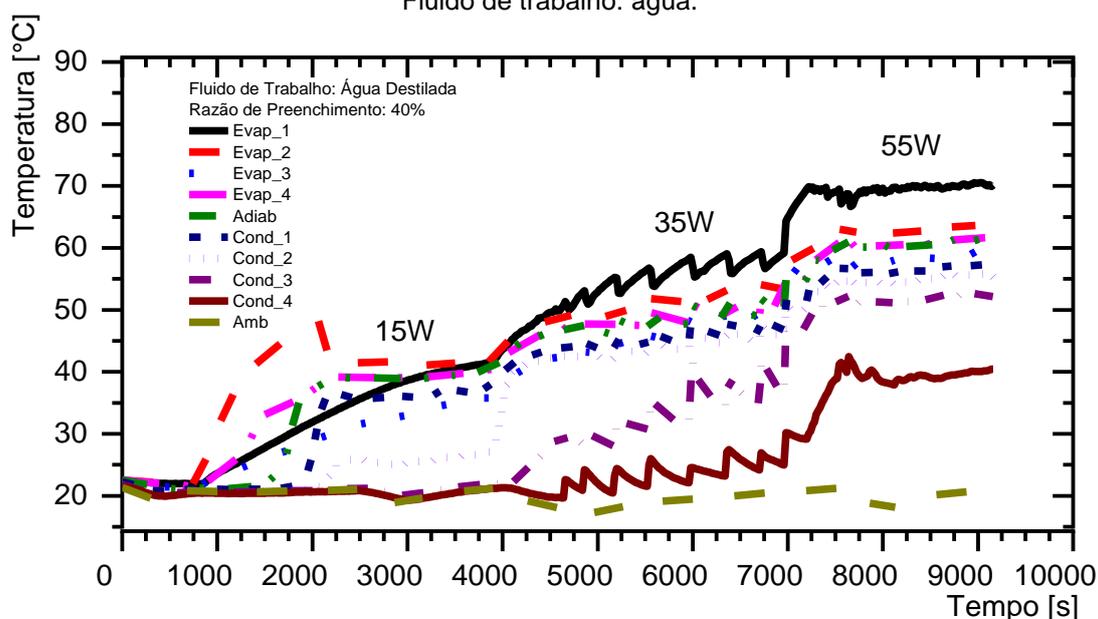
Para comparar o desempenho térmico dos termossifões foram realizadas duas avaliações. A primeira se dá por meio da distribuição de temperaturas ao longo do tempo e a segunda via temperatura operacional ( $T_{adiab}$ ) em função da carga térmica aplicada.



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Gráfico 1 mostra a distribuição da temperatura em função do tempo para o termossifão de aço inoxidável preenchido com água deionizada como fluido de trabalho. Pode ser observado que para as diferentes cargas térmicas aplicadas o termossifão não apresenta um regime operacional efetivo, sendo caracterizado pelos seguintes aspectos: (i) na dissipação de 15W o dispositivo não está operando efetivamente em um ciclo bifásico, havendo dificuldade para vapor chegar às porções mais superiores do termossifão, uma vez que seu aquecimento é proveniente de uma condução de calor pela parede; (ii) na dissipação de 35W as instabilidades apresentadas no gráfico demonstram que a carga térmica é insuficiente para que o regime se torne constante; (iii) o termossifão está em pleno funcionamento bifásico, porém, ao analisar as temperaturas envolvidas no processo, a temperatura do evaporador está maior que 36°C, que seria a temperatura do leite a ser resfriado em uma aplicação da indústria de laticínios.

**Gráfico 1 – Distribuição de temperaturas em função do tempo.**  
Fluido de trabalho: água.

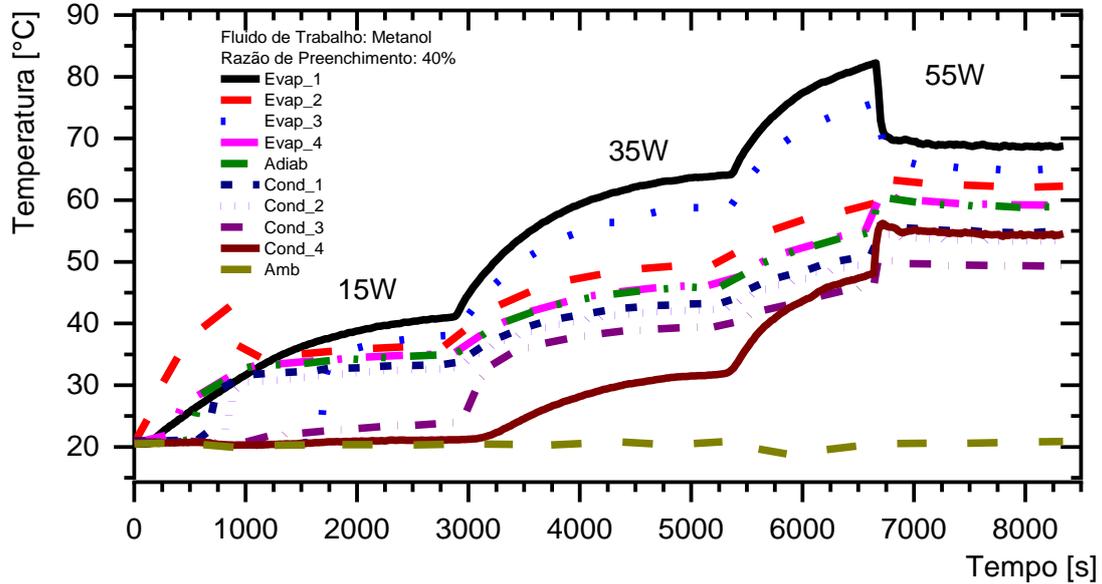


Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 2 mostra a distribuição de temperaturas em função do tempo para o termossifão de aço inoxidável preenchido com metanol como fluido de trabalho, sendo possível observar que para os estágios onde há a dissipação de 15W a temperatura média do evaporador encontra-se na faixa de operação do processo, porém, o termossifão não apresenta um funcionamento efetivo, da mesma forma, quando são dissipados 35W no evaporador. Pode-se afirmar que o pleno funcionamento do dispositivo se dá a partir da dissipação de potência de 55W no evaporador, onde há uma proximidade das temperaturas nas diferentes seções, porém ao avaliar a temperatura a qual se encontra o evaporador, ele também necessita de temperatura maior que 36°C para iniciar seu funcionamento.



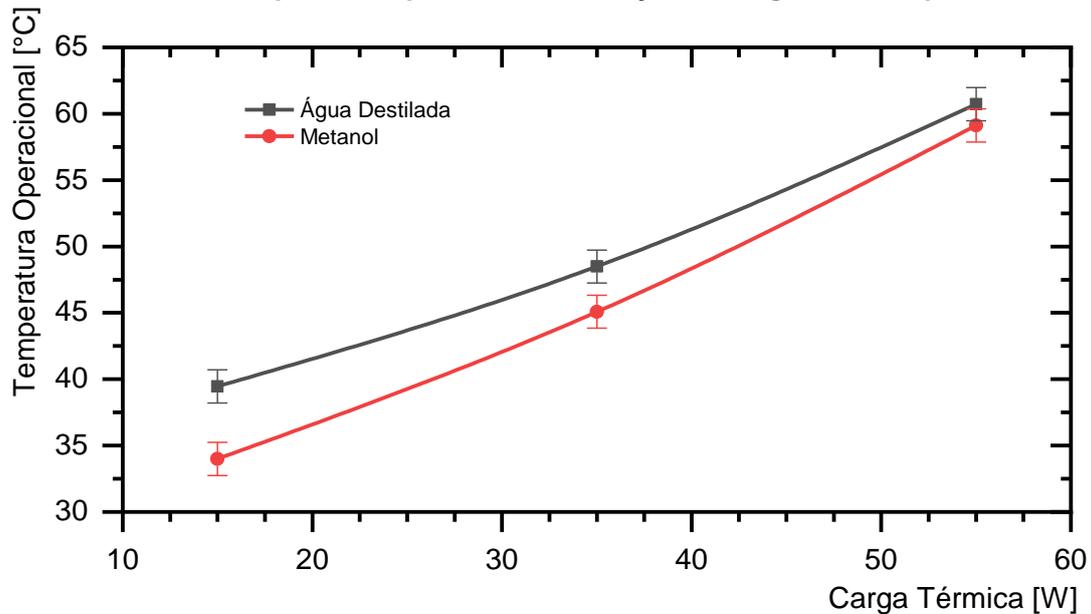
Gráfico 2 – Distribuição de temperaturas em função do tempo.  
Fluido de trabalho: metanol.



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 3 apresenta a distribuição da temperatura operacional em função da carga térmica aplicada. Com a dissipação inicial de 15W a temperatura de operacional do metanol encontra-se na temperatura ao qual foi proposta a utilização do dispositivo. Quando avaliado em todas as potências para a água e nas potências de 35W e 55W para o metanol a temperatura é maior.

Gráfico 3 – Temperatura operacional em função da carga térmica aplicada.



Fonte: Autoria própria.



## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada uma análise experimental da utilização de termossifões de aço inoxidável para realizar trocas térmicas no processo de pré-resfriamento aplicados na indústria de laticínios, com água deionizada e metanol como fluidos de trabalho. O termossifão foi testado verticalmente sob cargas térmicas compreendidas entre 15W e 55W. Os resultados experimentais demonstram a distribuição de temperaturas ao longo do comprimento do dispositivo em função do tempo e foi avaliada a temperatura operacional em função da carga térmica. Foi observado que a temperatura necessária para que o sistema possa operar em um ciclo bifásico com os fluidos de trabalhos propostos é maior do que a temperatura na qual o leite se encontra, e de acordo com a literatura, alternativamente seria necessário utilizar fluidos de trabalhos que tenham temperaturas de operação ainda menores e/ou realizar alterações nas características construtivas do termossifão.

## 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 thermosiphon for thermal management of thermoelectric cooling. In: ARANGUREN, Patricia (Ed.). **Bringing Thermoelectricity into Reality**. London: InTech, 2018.

LOPES, Patrick Fernandes; REIS, Ricardo Pereira; YAMAGUCHI, Luiz Carlos Takao. Custos e escala de produção na pecuária leiteira: Estudo nos principais estados produtores do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, p. 567-590, 2007.

MAIA, Guilherme Baptista da Silva *et al.* Produção leiteira no Brasil. **BNDES Setorial**, n. 37, p. 371-398, 2013.

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

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. Portaria da SVS nº 1.428, de 26 de novembro de 1993. **Regulamento Técnico para Inspeção Sanitária de Alimentos**. Diário Oficial da União, 1993.

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL. Portaria da SVS nº 326, de 30 de julho de 1997. **Regulamento Técnico sobre Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos**. Diário Oficial da União, 1997.