XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Avaliação de parâmetros para o desenvolvimento de termossifão bifásico aplicado na cobertura como estratégia passiva de resfriamento

Evaluation of parameters for the development of the two-phase thermosiphon applied to the roof as a passive cooling strategy

Mariane Pinto Brandalise
UFSC- LABCON| Florianópolis | Brasil |marianebrandalise@yahoo.com.br
Martín Mizgier
UFSC- LABCON| Florianópolis | Brasil | martin.ordenes@ufsc.br
Marcia Barbosa Henriques Mantelli
UFSC- LABTUCAL| Florianópolis | Brasil | marcia@labtucal.ufsc.br
Luis H. R. Cisterna
Universidad de Tarapacá - LABTER | Arica|Chile | lrodrigues@academicos.uta.cl
Luciano Fuso
UFSC- LABTUCAL | Florianópolis | Brasil | luciano.fuso@labtucal.ufsc.br

Resumo
O objetivo desse artigo é definir temperatura do ar interno e externo para o desenvolvimento de um termossifão bifásico implementado na cobertura para resfriamento passivo. Para isso, realizou-se um experimento com um protótipo em pequena escala e dois parâmetros foram variados: temperatura de resfriamento do banho termostático e potência. Nos resultados observa-se que o gradiente de temperatura entre a seção evaporada e condensadora é fundamental para o desenvolvimento do sistema. Desta forma, o teste com potência de 25W e temperatura do banho termostático de 16°C, o qual apresenta o maior gradiente de temperatura (15,51°C), demonstrou o melhor desempenho térmico.

Palavras-chave: Palavras-chave: Termossifão bifásico. Resfriamento passivo. Cobertura.

Abstract
This article aims to define the indoor and outdoor air temperature to develop a two-phase Thermosyphon implemented on the roof for passive cooling. For this, an experiment was

Como citar:
BRANDALISE, M.; MIZGIER, M.; MANTELLI, M.; CISTERNA, L..; FUSO, L. Avaliação de parâmetros para o desenvolvimento de termossifão bifásico aplicado na cobertura como estratégia passiva de resfriamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

carried out with a small-scale project and two parameters were varied: the cooling temperature of the thermostatic bath and power. The results show that the temperature gradient between the evaporated and condensing sections is fundamental for developing the system. Thus, the test with a power of 25W and a thermal bath temperature of 16 °C, which has the best temperature gradient (15.51 °C), the best thermal performance.

Keywords: Two-phase thermosiphon. Passive cooling. Roof.

INTRODUÇÃO

Os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) apontam que até o fim deste século poderá ocorrer um aquecimento global, que ultrapassará os 1,5 °C e 2 °C, provocado pelas intensas emissões de CO^2 e de outros gases de efeito estufa[1]. De encontro a isso, estima-se um aumento significativo nas demandas de energia para resfriamento até 2050, de, aproximadamente, 150% no mundo[2].

Nesse sentido, estão sendo realizados estudos com o intuito de estimar o aumento no consumo de energia de resfriamento e de analisar as condições climáticas em cenários futuros. Assim, pretende-se estabelecer estratégias necessárias para as edificações se adequarem as novas necessidades climáticas. Entre esses estudos destaca-se que as mudanças climáticas futuras, em comparação com as condições atuais, acarretam aumento na necessidade de resfriamento de verão em cidades do sul da Europa, como Roma (+143% em 2050 e +272% em 2080), Palermo (+70% em 2050 e +142% em 2080) ou Granada (+129% em 2050 e +238% em 2080). Do mesmo modo, pode ser verificado que em clima quente e em clima temperado a necessidade anual de energia de resfriamento pode aumentar de 61% para 101% em 2050 e 112% até 350% em 2100, para uma casa de um nível de eficiência energética média (cinco estrelas) na Austrália [3][4].
Nesse cenário, torna-se necessário estudos que investiguem a integração entre arquitetura e clima, assim como desenvolver novas tecnologias passivas que melhorem o conforto térmico do ambiente e, consequentemente, reduzam o consumo energético. Assim sendo, os tubos de calor são considerados uma das tecnologias passivas de transferências de calor mais eficiente, porque apresentam uma condutividade térmica muito alta que possibilita o transporte de calor mantendo a temperatura quase uniforme, mesmo com distâncias consideráveis e com uma pequena diferença de temperatura [5].

Os tubos de calor foram implementados na parede em 2014, em um sistema passivo denominados Wall Implanted with Heat Pipes (WIHP) [6]. Nesse sistema, tubos de calor em conjunto com energia solar passiva, aquecem o ambiente no inverno e no verão, estes são aplicados na fachada sombreada e dissipam o calor do ambiente. A partir desse estudo, outras pesquisas sugiram investigando a aplicação dos tubos de calor nas paredes como sistema passivo. Entre os estudos destaca-se a transferência de calor do sistema no inverno da China [7] e investigação da estrutura do tubo de calor para otimizar o desempenho da transferência de calor da parede para a estação de aquecimento [8][9].

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é definir as condições de contorno (temperatura interna e externa e diferença de temperatura entre a seção condensadora e evaporadora) de forma experimental para o desenvolvimento de um termossifão bifásico aplicado na cobertura (face interna) como uma estratégia passiva para resfriamento de ambientes internos. Além disso, o experimento proposto representa um termossifão bifásico ideal, no qual a resistência térmica é nula, já que a seção condensadora é representada por um banho termostático que operar sobre a temperatura controlada. Sendo assim, pode ser estipulado o potencial máximo de resfriamento passivo do termossifão bifásico para as condições estabelecidas e assim pretende-se averiguar se o termossifão bifásico apresenta um desempenho térmico satisfatório para ser aplicado como estratégia passiva de resfriamento.

MÉTODO

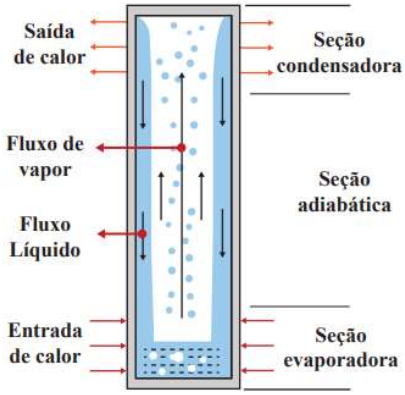
O método para realização desta pesquisa está divido em cinco etapas. Primeiro é explicado o princípio de funcionamento do termossifão bifásico. Na segunda etapa um é caracterizado o protótipo experimental, a etapa três é descrito a serpentina de resfriamento passivo, na quarta etapa é apresentado os equipamentos utilizados na realização dos experimentos. Por último, na quinta etapa são descritos os testes realizados e os parâmetros definidos.

ETAPA 1: PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO TERMOSSIFÃO BIFÁSICO

Os tubos de calor podem ser divididos em dois grandes grupos, os que apresentam meio poroso e aqueles que não apresentam [10]. Os termossifões bifásicos, os quais são o foco deste estudo, não possuem estrutura porosa e a circulação do fluido ocorre apenas pela força da gravidade, e compostos de três partes, seção evaporadora, adiabática e condensadora (Figura 1).

O seu funcionamento ocorre a partir do calor aplicado na seção evaporadora, que evapora o fluido de trabalho, absorvendo calor latente de vaporização. O vapor gerado e levemente pressurizado, atravessa a seção adiabática atingindo a seção condensadora, cujas as temperaturas são inferiores às do evaporador e de onde o calor é retirado, retirando calor latente o vapor se torna líquido. O fluido de trabalho no estado líquido retorna à seção evaporadora fechando o ciclo, no tubo de calor pela ação da capilaridade do meio poroso e no termossifão, pela ação da gravidade[11].

Figura 1: Termossifão bifásico



Fonte: Adaptado de [5].

Deve-se observar que um bom projeto térmico é aquele cuja resistência térmica do termossifão, definida como a razão entre a diferença de temperatura nas seções do evaporador e condensador para a potência de aquecimento é a menor possível.

ETAPA 2: CARATERIZAÇÃO DO PROTÓTIPO EXPERIMENTAL

O protótipo experimental (Figura 2), possui a geometria de um cubo com as dimensões conforme a Tabela 1. A envoltória do protótipo experimental é constituída de paredes duplas, as faces internas e externas são concebidas de MDF (Painéis de Fibra de Média Densidade), com 15 mm de espessura. Enquanto o interior, entre as faces, é preenchido com poliestireno com 50 mm de espessura. Essa composição foi concebida com o intuito de isolar termicamente o ambiente interno, procurando evitar ao máximo outras trocas térmicas, e, assim, poder avaliar apenas a influência do sistema proposto no ambiente interno.

Figura 2: Módulo Experimental



Fonte: o autor.

Tabela 1: Dimensões Módulo Experimental

	Dimensões internas
Largura	60 cm
Comprimento	60 cm
altura	60 cm
Área	0,36 m²
volume	0,216 m³

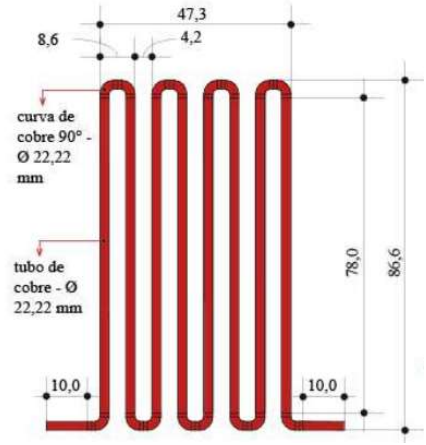
Fonte: o autor.

ETAPA 3: CARATERIZAÇÃO DA SERPENTINA DE RESFRIAMENTO PASSIVO

Como o objetivo é definir as condições de contorno para o desenvolvimento posterior do termossifão bifásico, os ensaios foram realizados empregando uma serpentina de cobre que simulam experimentalmente a seção evaporadora do termossifão bifásico em circuito. No interior da serpentina de cobre circula a água resfriada por um banho termostático, o qual caracteriza as condições da seção condensadora.

A serpentina é composta por oito tubos de cobre de 78 cm de comprimento e dois tubos de cobre de 10 cm de extensão, conforme ilustra a Figura 3. Para conectar os tubos de cobre, foram utilizadas 16 curvas de cobre de 90°, com o mesmo diâmetro dos tubos.

Figura 3: Dispositivo de Resfriamento Passivo



Fonte: o autor.

A serpentina de cobre foi instalada no interior do protótipo experimental, próximo a face interna da cobertura. Utilizou-se duas chapas de madeira pinho, com 7,5 de largura, 60 cm de comprimento e oito furos centrais de 25 mm de diâmetro, para fechar os espaços entre os tubos de cobre e o protótipo experimental. As partes da serpentina de cobre expostas ao exterior do protótipo experimental foram cobertas com isolante térmico para impedir as trocas térmicas entre o ambiente externo e a serpentina de cobre, conforme figura 4.

Figura 4: Instalação da Serpentina de resfriamento passivo no protótipo experimental



Além disso, utilizou-se o equipamento Ultra-Kryomat® RUK 40 S, da fabricante Lauda para realizar um banho termostático. Como já mencionado a água resfriada no banho termostático circulava no interior dos tubos de cobre, realizando, assim, o resfriamento do protótipo.

ETAPA 4: APARTO EXPERIMENTAL

O aparato experimental é formado por: um protótipo no qual foi instalado a serpentina de resfriamento, uma fonte de alimentação corrente elétrica continua (CC) conectada a uma resistência elétrica para fornecer calor ao experimento, um banho termostático para proporcionar água de resfriamento, sensores de medição de temperatura, um sistema de aquisição de dados utilizado para registrar as leituras de temperatura coletadas pelos termopares e um computador.

Para avaliar o comportamento térmico do protótipo, a carga interna do ambiente foi simulada pelo calor gerado por uma fonte de alimentação CC da marca Heinzinger® PTN 125-10 conectada a uma resistência elétrica. A resistência foi fixada no interior do módulo, de forma centralizada.

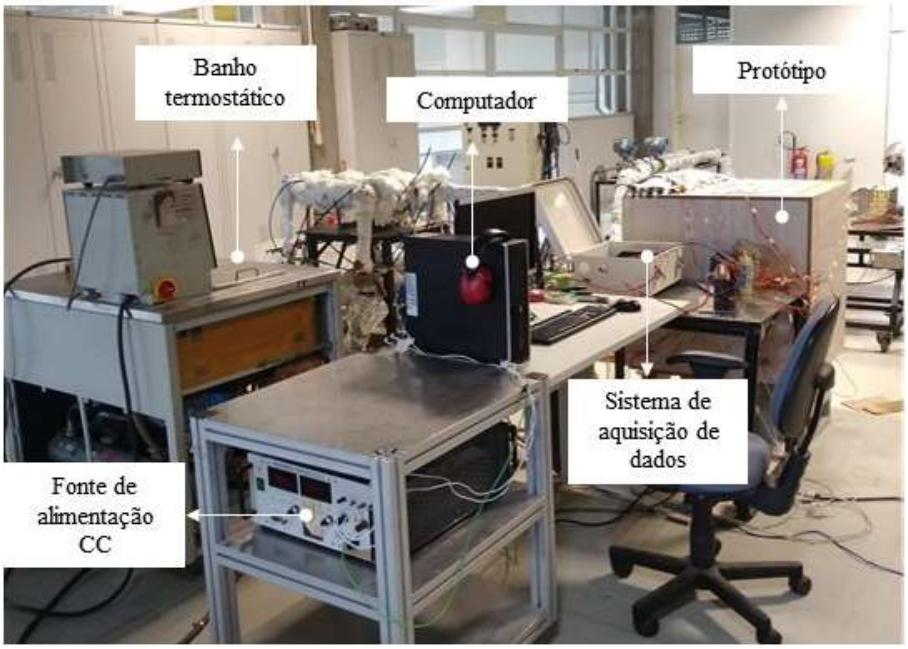
Para o resfriamento da serpentina, foi utilizado um banho termostático modelo Ultra-Kryomat® RUK 40 S, da fabricante Lauda. Esse equipamento possibilitava controlar a temperatura do fluido. Neste trabalho, foi utilizado como fluido água deionizada.

Para medir a distribuição de temperaturas, tanto das superfícies como a do ar, foram distribuídos sensores de temperatura no módulo experimental, na serpentina e no ambiente do laboratório onde os testes foram realizados. A medição de temperatura no protótipo experimental foi efetuada por meio de 30 termopares tipo K da marca Omega®, posicionados na posição central das superfícies externas e no interior do protótipo experimental em contato com o ar.

O mesmo procedimento foi adotado para as superfícies internas, exceto na região próxima à serpentina, onde o método dos cincos pontos foi empregado, no qual foram distribuídos cinco sensores de medições [12][13]. Um termopar é colocado no centro e os demais fixados em quatro pontos de equipartição da linha diagonal, sendo assim, a temperatura dessa superfície será a média dos cinco valores de temperatura medidos. Na serpentina, a verificação das temperaturas superficiais foi feita por oito termopares tipo K também da fabricante Omega®.

O registro das temperaturas medidas pelos termopares foi realizado por meio de um sistema de aquisição de dados da National Instruments®, modelo NI cDAQ-9178, com intervalo de 30 segundos para a coleta dos dados. Somado a isso, utilizou-se um computador de marca HP modelo SK-2800, com o *software* LabVIEW® para a leitura e o acompanhamento dos dados emitidos pelos sensores durante e ao final de cada teste executado. A Figura 5 mostra a bancada experimental com todos os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios.

Figura 5: Bancada Experimental



Fonte: o autor

ETAPA 5: PROCEDIMENTO DOS TESTES E DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

Os ensaios foram feitos em uma das salas do Labtucal na UFSC, em condições controladas, sendo a temperatura do ambiente estabelecida por aparelhos de ar-condicionado entre 21°C e 22°C. Os testes foram feitos nos meses de outubro e de novembro de 2021, sendo que cada ensaio durou cerca de 20 horas. O procedimento adotado é detalhado a seguir.

Primeiro, a fonte de alimentação de corrente contínua era acionada e o calor era dissipado no interior do módulo pela resistência elétrica, em um processo durava em torno de 15 horas até alcançar o regime permanente. Sendo considerado regime permanente quando a variação de temperatura era menor que 1% no período de 30 min. Após, acionava-se o banho termostático e se aguardava, por aproximadamente, uma hora até atingir a temperatura de resfriamento. Em seguida, a válvula que permitia o escoamento de água deionizada, de temperatura controlada, pela serpentina era aberta. Iniciava-se, assim, o processo de resfriamento do módulo, por meio da troca térmica da serpentina de cobre com o ar interno do protótipo. Esse processo levava cerca de cinco horas até atingir regime permanente novamente.

No mesmo instante em que a fonte de alimentação CC foi acionada, os sensores de temperatura instalados no protótipo e no dispositivo de cobre começavam a registrar os dados a cada 30 segundos no sistema de aquisição. As informações registradas nesse sistema eram transmitidas para o computador e, por meio do *software* LabVIEW, realizou-se o monitoramento dos dados coletados. No final de cada teste, os resultados coletados eram importados e tratados nos *softwares* Excel e Matlab.

De acordo com objetivo do experimento, que se pretende definir parâmetros para o desenvolvimento do termossifão bifásico em circuito e analisar o potencial do sistema como resfriamento passivo, estabeleceu-se duas variáveis a serem avaliadas na banca experimental: temperatura de resfriamento do banho termostático e a potência da fonte de alimentação CC.

As potências dissipadas pela resistência elétrica foram determinadas para reproduzir temperaturas que estivem semelhantes às encontradas no interior das edificações no período de verão, e que ocasionem desconforto térmico para o calor. Para verificar se a estratégia funcionaria, foi realizado um teste com carga máxima interna de 25W, onde foi observada a temperatura atingida em regime permanente. Concluindo-se que o valor encontrado no ensaio estava de acordo com o critério estabelecido, ou seja, representativo de um ambiente interno na estação de verão. Sendo assim, foram estabelecidas para a execução dos experimentos as potências de 25W e 20W.

As temperaturas de resfriamento do banho termostático representam as temperaturas do ar externo da edificação, as quais estariam em contanto com a seção condensadora do termossifão bifásico. Sendo assim, de acordo com o princípio de funcionamento do termossifão, no qual o calor é transferido de forma unidirecional, da maior temperatura para a menor, as temperaturas de resfriamento devem ser inferiores à temperatura interna do protótipo. Dessa forma, com base na temperatura interna do ar do ensaio realizado com a potência de 25W, foi estipulada, assim, duas temperaturas para o banho termostático de 22°C e de 16°C. A tabela 2 apresenta os valores definidos para cada variável analisada.

Tabela 2: Variáveis analisadas

Teste	Temperatura banho termostático	Potência
T1_20W_16°C	16°C	20W
T2_20W_22°C	22°C	20W
T3_25W_16°C	16°C	25W
T4_25W_22°C	22°C	25W

Fonte: o autor.

RESULTADOS

Os principais dados dos experimentos são organizados em formas de gráficos e nas análises foram avaliadas a temperatura do ar interno do protótipo. A Figura 6 apresenta a variação da temperatura média interna do protótipo, ao longo de cinco horas de teste, para cada um dos ensaios realizados. Os valores considerados para os testes de referência são das últimas cinco horas antes de ligar o banho termostático, enquanto os valores averiguados para os testes experimentais referem-se as primeiras cinco horas após o banho termostático.

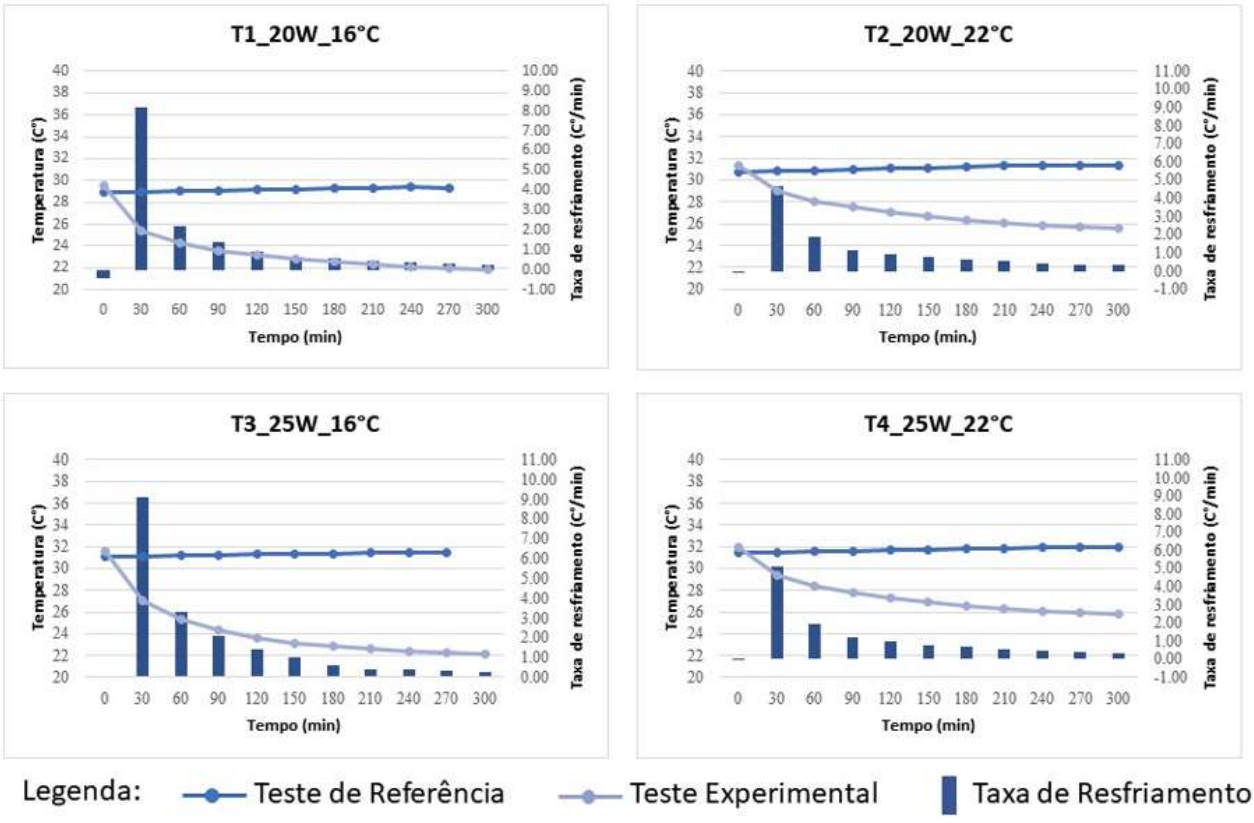
Cabe ressaltar que, dessa forma, os testes de referência, apesar de possuírem a mesma potência e o mesmo tempo de duração, apresentaram algumas diferenças na média da temperatura interna. Desse modo, também foi considerada na análise a Taxa de Resfriamento, a qual é obtida a cada período de 30 minutos, subtraindo a média da temperatura do ar inicial pela média da temperatura final.

O teste com potência de 25W e banho termostático de 16°C obteve o melhor desempenho térmico, reduzindo em aproximadamente 9°C a temperatura interna no intervalo de tempo de 5h. Esse resultado já era esperado, pois o ensaio com maior diferença entre a temperatura interna e a temperatura de resfriamento possibilitou uma maior troca térmica. De encontro a isso, o teste com 20W e banho termostático

de 22°C demonstrou o pior desempenho térmico reduzindo a temperatura interna 4,90°C.

Em relação à taxa de resfriamento, evidencia-se que, nos primeiros 30 minutos, ocorre a maior taxa de redução de temperatura em todos os ensaios realizados. Salienta-se que na primeira hora ocorre a maior parte da extração do calor interno e, ao longo do tempo, esse valor vai reduzindo. Destaca-se os testes com temperatura de resfriamento de 16°C, que tiveram nos primeiros 30 minutos uma taxa de redução de temperatura de 7,78°C/h e de 9,06°C/h, na potência de 20W e de 25W, respectivamente.

Figura 6: variação da temperatura do ar interno e da taxa de resfriamento em função do tempo em minutos



Fonte: o autor.

Na Tabela 3, apresentam-se os dados referidos das temperaturas máximas, mínimas e média do ar interno dos Testes de Referenciais (TR) e dos Teste Experimentais (TE). Assim como a diferença da temperatura média (Δt) dos Testes Referenciais e da temperatura do banho termostático, sendo essa equivalente ao gradiente de temperatura entre a seção evaporado e a seção condensadora. Também consta, a Taxa de Resfriamento Total, ou seja, durante as cinco horas em que os testes foram executados. Observa-se o melhor desempenho, demonstrando a maior Taxa de Resfriamento, de 1,86°C/h no Teste com potência de 25W e banho termostático de 16°C. Como já era esperado, obteve-se a menor Taxa de Resfriamento nos testes com potência de 20W e banho termostático de 22°C, sendo está de 1,18°C/h.

Tabela 3: Resultados temperaturas, taxa de resfriamento e gradiente de temperatura

Teste	Temperatura Média do ar interno (°C)	Temperatura Máxima do ar interno (°C)	Temperatura Mínima do ar interno (°C)	Taxa de resfriamento total (°C/h)	Δt (°C)
TR1_20W_16°C	29,30	31,05	28,6		
TE1_20W_16°C	21,81	22,14	21,14	1,49	13,3° C
TR2_20W_22°C	31,44	33,04	30,14		
TE2_20W_22°C	25,53	26,80	26,21	1,18	9,44° C
TR3_25W_16°C	31,51	33,34	30,01		
TE3_25W_16°C	22,19	22,48	21,87	1,86	15,51° C
TR4_25W_22°C	31,97	34,09	30,40		
TE4_25W_22°C	25,86	26,16	25,63	1,22	9,97°C

Fonte: o autor.

CONCLUSÃO

O princípio de funcionamento do termossifão ocorre a partir da diferença de temperatura entre as a seção evaporadora e condensadora. Nos experimentos realizados foi possível mensurar, a temperatura da seção evaporadora, representada pela serpentina de cobre e a temperatura da seção condensadora, caracterizada pelo banho térmico, para uma determinada potência. Diante dos resultados encontrados, evidencia-se que quanto maior a diferença de temperatura entre a seção evaporadora, e a seção condensadora, melhor o desempenho térmico, ou seja, maior a quantidade de calor removida do interior do protótipo experimental.

Uma das principais dificuldades para o desenvolvimento de um termossifão bifásico para o presente projeto é o fato de que este deve operar sob baixas diferenças de temperatura entre evaporador e condensador. Nos ensaios realizados, o gradiente de temperatura inferior foi no teste com a potência 20W e a temperatura do banho termostático de 22°C, no qual apresentou uma temperatura interna de 31,44°C obtendo um delta próximo ao Δt 9°C. Uma das possibilidades para amenizar essa dificuldade do pequeno gradiente de temperatura é o aumento da área da seção evaporadora com o emprego de aletas. Visto que o coeficiente de transferência de calor do termossifão está diretamente relacionado com área da seção evaporadora e a diferença de temperatura entre a seção evaporadora e condensadora.

Além disso, os experimentos evidenciaram que, nas condições aplicadas, o sistema apresentou um desempenho satisfatório de resfriamentos, obtendo uma redução máxima na temperatura próxima a 9°C. Destaca-se que essas condições foram obtidas em ambiente controlado, onde a temperatura do banho termostático se manteve inferior a temperatura do interior do protótipo. Também, o dispositivo demonstrou um curto tempo de resposta, reduzindo grande parte da temperatura com apenas uma hora de funcionamento.

Por fim, os resultados observados mostram um potencial que pode contribuir para o progresso da compreensão da aplicabilidade do termossifão bifásico incorporados na envoltória das edificações. Com os resultados encontrados neste estudo, estes podem servir de base para estabelecer condições de projeto para o termossifão bifásico aplicado na envoltória como sistema de resfriamento passivo.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa a uma das pesquisadoras. À equipe do LABTUCAL pela disponibilidade e suporte.

REFERÊNCIAS

[1] ALLEN, M. R. *et al.* An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C. **Intergovernmental Panel on Climate Chang**. [*S. l.*]: [*s. n.*], 2021.

[2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Status Report for Buildings and Construction 2019**. Paris, 2019. Disponível em: https://www.iea.org/reports/global-status-report-forbuildings-and-construction-2019. Acesso em: 6 jan. 2020.

[3] CIANCIO, V. *et al*. Energy demands of buildings in the framework of climate change: an investigation across Europe. **Sustainable Cities and Society**, [*s. l.*], v. 60, set. 2020.

[4] WANG, X.; CHEN, D.; REN, Z. Assessment of climate change impact on residential building heating and cooling energy requirement in Australia. **Building and Environment**, [*s. l.*], v. 45, n. 7, p. 1.663-1.682, July 2010.

[5] JOUHARA, H. *et al*. Heat pipe based systems - Advances and applications. **Energy**, [*s. l.*], v. 128, p. 729-754, jun. 2017.

[6] ZHANG, Z.; SUN, Z.; DUAN, C. A new type of passive solar energy utilization technology-The wall implanted with heat pipes. **Energy and Buildings**, [*s. l.*], v. 84, p. 111-116, Dec. 2014.

[7] SUN, Z.; ZHANG, Z.; DUAN, C. The applicability of the wall implanted with heat pipes in winter of China. **Energy and Buildings**, [*s. l.*], v. 104, p. 36-46, out. 2015.

[8] TAN, R.; ZHANG, Z. Heat pipe structure on heat transfer and energy saving performance of the wall implanted with heat pipes during the heating season. **Applied Thermal Engineering**, [*s. l.*], v. 102, p. 633-640, Jun. 2016.

[9] SHAFIEIAN, A.; KHIADANI, M.; NOSRATI, A. Theoretical modelling approaches of heat pipe solar collectors in solar systems: A comprehensive review. **Solar Energy**, [*s. l.*], v. 193, p. 227-243, 2019. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038092X19309090. Acesso em: 10 mar. 2021.

[10] PIORO, L. S.; PIORO, I. L. **Industrial two-phase thermosyphons**. New York: Begell House, 1997.

[11] LIU, C. *et al*. Optimization of a wall implanted with heat pipes and applicability analysis in areas without district heating. **Applied Thermal Engineering**, [*s. l.*], v. 151, p. 486-494, Mar. 2019

[12] ZHU, Li et al. Thermal performances study on a façade-built-in two-phase thermosyphon loop for passive thermo-activated building system. **Energy Conversion And Management**, [*s. l.*], v. 199, p.112059-112075, Nov. 2019.

[13] WEI, H. *et al*. Experimental study on the performance of a novel RC-PCM-wall. **Energy and Buildings**, [*s. l.*], v. 199, p. 297-310, Jan. 2019.