

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE COLETORES SOLARES COM TERMOSSIFÕES BIFÁSICOS

Bruno Mendes de Jesus, brunomendesdejesus@outlook.com¹

Newton Galvão de C. Leite, nleite@fat.uerj.br¹

Luiz Carlos Bevilaqua S. Reis, bevilaquareis@gmail.com¹

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ / Faculdade de Tecnologia de Resende - FAT, Rod. Presidente Dutra, km 298 – Pólo Industrial – Resende - RJ

Resumo. O objetivo do presente trabalho foi investigar a união de dois importantes equipamentos na área da engenharia, o termossifão bifásico e o coletor solar. Um ciclo para obter alto vácuo foi construído com a finalidade de fabricar o termossifão e em seguida o mesmo foi inserido em tubos de vidro evacuados para compor a estrutura de um protótipo de coletor solar. O protótipo foi colocado em operação num período de oito meses, sendo que dois outros coletores solares foram testados simultaneamente para efeito de comparação. Os outros dois foram adquiridos no mercado sendo que um deles já vinha com o termossifão enquanto o outro funcionava sem o mesmo. Leituras da temperatura foram realizadas na entrada e saída do cabeçote, água da rede e do reservatório térmico. Os dados da temperatura foram analisados e puderam ser condensados em apenas dois períodos de 24h cada, por apresentarem uma reprodutibilidade no comportamento. Um calorímetro permitiu computar a quantidade de energia armazenada, que neste caso usou vinte períodos de 24h para análise. Foi concluído que o coletor solar que usa o termossifão consegue atingir temperaturas mais altas na saída do cabeçote, mas o reservatório térmico pode influenciar, fazendo com que haja uma diminuição da temperatura da água que chega ao consumidor.

Palavras-chave: coletor solar, termossifão, estudo experimental.

Abstract. The purpose of the present work was to investigate the association of two important engineering devices, the two-phase thermosyphon, and the solar collector. A cycle to obtain high vacuum was set up to manufacture the thermosyphons, which were then inserted into evacuated glass tubes to compose the structure of a solar collector prototype. The prototype was put into operation for a period of eight months, and two other solar collectors were tested simultaneously for comparison purposes. These last two were purchased on the market, one of which already came with the thermosyphon while the other worked without this device. Temperature readings were taken at the entrance and exit of the manifold, mains water, and thermal reservoir. The temperature data were analyzed and could be reduced in just two periods of 24 hours since they showed reproducibility of behavior. The amount of stored energy was determined by means of a calorimeter, being considered twenty periods of 24 hours for analysis. The conclusion was that the solar collector that uses the thermosyphon can reach higher temperatures at the outlet of the manifold. However, the thermal reservoir can interfere causing a decrease in the water temperature that is intended for the consumer.

Keywords: solar collector, thermosyphon, experimental study.

1. INTRODUÇÃO

O termossifão é um dispositivo que pode ser chamado de supercondutor de calor, apesar de sua construção ser relativamente simples. Desde o surgimento do nome termossifão por volta de 1928, relatado por Japkise (1973), este dispositivo vem sendo estudado e aperfeiçoado, por apresentar grandes potencialidades no transporte de calor. A literatura é ampla e contempla tanto a parte experimental quanto a teórica como pode ser observado nos trabalhos de Faghri (1995) e de Peterson (1994).

Já os coletores solares se apresentam em vários tipos dependendo da sua finalidade como mostra os trabalhos de Abdel-Dayem, et al., 1999, Azzolin, et al., 2018, Fan e Furbo (2007), Ismail, et al., 2016, Kalogirou (2003), Kalogirou (2004) e Vejen, et al., 2004. A literatura tem propagado os benefícios oferecidos pelas fontes renováveis bem como os problemas ambientais relacionados ao uso de fontes convencionais de energia e como parte da solução o uso dos vários tipos de coletores como o de placa plana, parabólico composto, tubo a vácuo, calha parabólica, lente de Fresnel, etc. Soluções de aquecimento solar de água, aquecimento e resfriamento ambiente, calor em processos industriais, sistemas de geração de

vapor, dessalinização, aplicações químicas entre outras são exaustivamente estudadas. Como visto, os sistemas que fazem uso de energia solar podem ser aplicados para uma ampla gama de problemas e fornecem benefícios significativos, portanto, eles devem ser usados sempre que possível.

Este trabalho visa comparar coletores solares que usam a tecnologia de termossifões bifásicos com coletores convencionais. Três modelos de coletores foram estudados, dois com a presença de termossifões bifásicos sendo que um deles foi totalmente construído em laboratório, enquanto o outro foi adquirido no comércio e um não fez o uso do termossifão. Todos os coletores usados eram constituídos de tubo de vidro duplo e evacuados e com reservatórios térmicos idênticos.

2. APARATO EXPERIMENTAL

2.1. Construção do circuito a vácuo

O projeto de pesquisa teve início pela montagem de um sistema que fosse capaz de produzir alto vácuo, esse sistema foi montado usando duas bombas acopladas em série. A bomba mecânica de vácuo de palheta rotativa série Pascal-SD, modelo 2005 SD, marca ADIXEN, com duplo estágio e velocidade de bombeamento de $5,4 \text{ m}^3/\text{h}$, com vácuo final de $0,2 \text{ Pa}$ foi ligada em série a uma bomba de vácuo turbomolecular Drag, modelo HiPace 80 DN 63 ISO-K, como mostra a Fig. 1.

Esta configuração permitiu proteger a estrutura interna da bomba turbomolecular durante o processo inicial de produção de vácuo, até o limite de segurança de entrada de funcionamento da bomba turbomolecular. Após acionada a bomba turbomolecular, a bomba mecânica é desligada manualmente e em seguida é aguardado o tempo necessário para atingir o vácuo necessário dentro do termossifão. Durante esta etapa somente a válvula 5 encontra-se aberta. Assim que o vácuo de trabalho é atingido, desliga-se a bomba de vácuo turbomolecular via painel de controle e dá-se início ao processo de enchimento do termossifão com o fluido de trabalho. A válvula 5 é fechada e a válvula 7 é aberta e a válvula 8 serve como válvula controladora de nível, para permitir o enchimento do termossifão com a quantidade de fluido de trabalho desejada. Em seguida ao enchimento, fecham-se as válvulas 7 e 8 e o tubo capilar é estrangulado por dois alicates de pressão com mordentes planos e a luva de ligação é rompida e o tubo capilar é lacrado com solda prata. O circuito foi bem otimizado, com soluções de engenharia bem interessantes como, por exemplo, a armadilha para umidade, que em sistemas mais sofisticados costuma-se implementar técnicas onerosas onde equipamentos e/ou substâncias abaixam a temperatura do fluido de trabalho na tentativa de congelá-lo e conseqüentemente não o deixar retornar a bomba. Neste trabalho foi usado um componente que causou uma perda de carga retendo toda a umidade, que atendeu muito bem as necessidades do projeto. Todo o circuito a vácuo foi criado com a finalidade de fabricar os termossifões bifásicos com um vácuo suficiente para o seu bom funcionamento, sendo que o vácuo mais baixo obtido foi de $0,08 \text{ Pa}$ e o mais alto foi de $0,1 \text{ Pa}$.

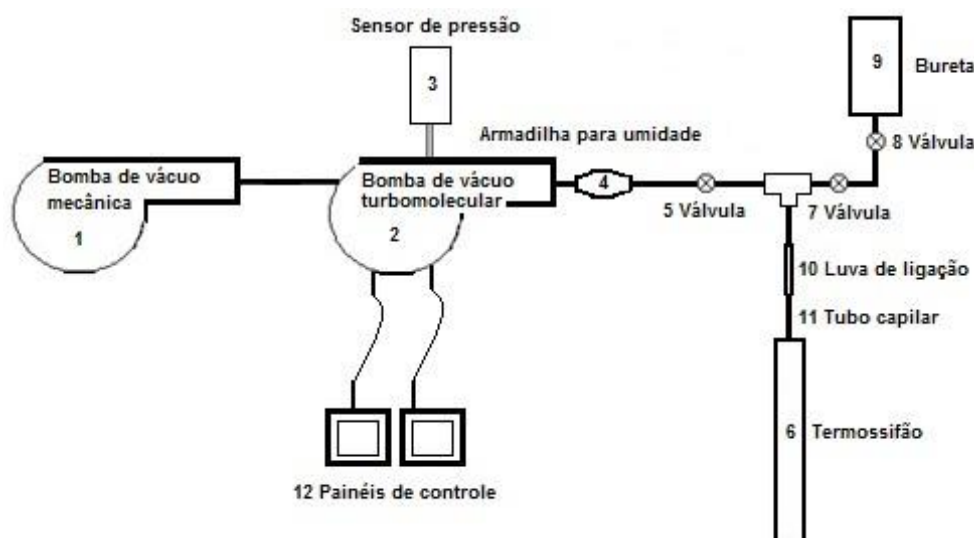


Figura 1. Circuito a vácuo

2.2. Construção do termossifão bifásico

Antes dos tubos de cobre serem conectados no circuito a vácuo, os mesmos passaram por um rigoroso processo manual de limpeza interna com acetona, para evitar contaminação do fluido de trabalho com resíduos sólidos. Em seguida, suas extremidades foram vedadas com tampas apropriadas, usando-se solda prata, onde um dos lados recebe um tubo capilar, como mostra a Fig. 2, que foi responsável pela conexão do termossifão com o sistema a vácuo. Ao término do processo de enchimento e vedação, eles tiveram que passar por uma conferência em relação à quantidade de fluido de trabalho que cada um recebeu. A conferência foi feita pesando o tubo de cobre antes e depois do enchimento com o fluido de trabalho, usando uma balança de precisão 5.10^{-7} kg da marca KALA.

Foram construídos dez termossifões bifásicos para compor o coletor solar que será testado, onde cada tubo foi preenchido com 30% do seu volume total com água destilada, a qual foi usada como fluido de trabalho. O menor erro no processo de enchimento foi de 2,2% e o maior de 17,2%. As características geométricas dos tubos foram: 1,8 m de comprimento; diâmetro externo de $1,21 \cdot 10^{-2}$ m e volume interno de $2,1 \cdot 10^{-4}$ m³.



Figura 2. Detalhe da tampa do termossifão – sem a limpeza externa.

Para testar o funcionamento dos termossifões bifásicos construídos, dois procedimentos foram usados: primeiro os tubos tinham uma de suas pontas mergulhadas em um ebulidor com água aproximadamente a 100 °C, enquanto na outra era feita uma inspeção manual observando o tempo de aquecimento da extremidade e o ruído causado no processo de troca térmica; no segundo procedimento os tubos eram agitados até produzirem um ruído semelhante a dois metais se colidindo. Esses métodos de inspeção simples mostraram-se bastante confiáveis, visto que quando esses fenômenos no funcionamento não eram observados os tubos apresentavam problemas relacionados a vazamento.

2.3. Construção do coletor solar

A construção do protótipo foi iniciada pela estrutura principal constituída em aço que teve a responsabilidade de acomodar e suportar o peso dos tubos duplos a vácuo com o termossifão bifásico. A parte interna do cabeçote que é a região por onde a água irá circular, mostrado na Fig. 3 foi construída com um sistema de roscas, o qual não apresentou grandes problemas de montagem e nem de vazamentos. Para que o termossifão fosse capaz de encaixar-se perfeitamente ao cabeçote, um anel com rosca foi soldado no mesmo como mostra a Fig. 4. Em seguida, deu-se a montagem propriamente do coletor, iniciando-se pela colocação dos termossifões, verificação de vazamento do escoamento com água quente, montagem dos tubos duplos evacuados e por último o enchimento da caixa de isolamento do cabeçote com spray de poliestireno expandido.

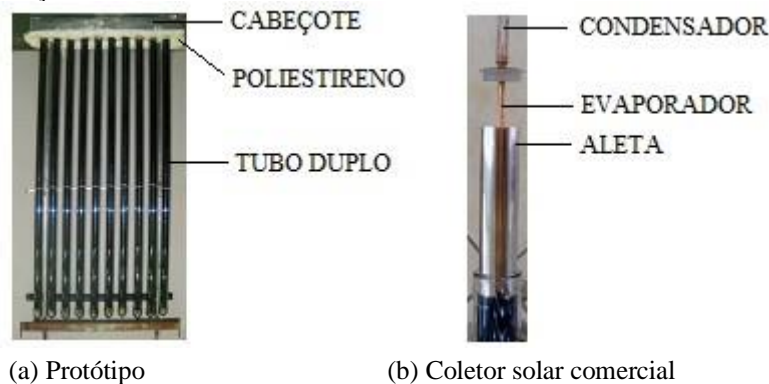


Figura 3. Detalhe do cabeçote



Figura 4. Sistema de engate com rosca

O propósito foi construir um coletor solar com tubos duplos evacuados adquiridos no mercado, mas adaptando os termossifões bifásicos no seu interior. A Fig. 5(a) mostra uma visão geral do protótipo que foi fabricado, o qual teve modificações na sua estrutura quando comparado com os adquiridos no mercado. Aletas são usadas geralmente para melhorar o desempenho da troca de calor entre o termossifão e as paredes internas do tubo duplo, como pode ser observado na Fig. 5(b), que elucida o uso de uma aleta de alumínio ao redor de um tubo de calor no coletor solar vendido no comércio. No protótipo foi deixado somente efeitos radiativos conduzirem e dominarem o processo de troca de calor na região onde fica alocado o evaporador do termossifão bifásico, dispensando o uso de aleta que proporciona aumento de área e transporte de calor por condução térmica.



(a) Protótipo

(b) Coletor solar comercial

Figura 5. Detalhes construtivos dos coletores solares

Após o processo de montagem do protótipo, o mesmo foi levado para uma estação de testes apropriada e três modelos de coletores solares da ASUS foram cuidadosamente instalados seguindo uma mesma posição. Todos foram montados orientados para o norte geográfico com um ângulo de inclinação de 28°. Os reservatórios de armazenamento utilizados tinham um volume de 200 litros e todos os dutos e conexões foram devidamente isolados e mantiveram uma semelhança no comprimento e curvatura. Após algumas horas de funcionamento, todos os modelos foram monitorados com uma câmera termográfica para detectar pequenos vazamentos que pudessem prejudicar os testes.

Fazendo uma pesquisa nos manuais que acompanham os coletores vendidos no comércio, observou-se que alguns constam o termo tubos de calor. Para solucionar a dúvida um dos supostos tubos de calor – Fig. 5(b) – foi aberto e seu fluido de trabalho foi quantificado e analisado quimicamente pelo Departamento de Química e Ambiental da UERJFAT. Foi encontrado um fluido semelhante à água destilada, porém, misturado a um pó que foi identificado como uma mistura de cobre com óxido de cobre. A parte líquida ocupava aproximadamente 4,02% do volume total e a descoberta mais interessante é que o tubo não se tratava de um tubo de calor como anunciado no manual do fabricante, mais sim de um termossifão bifásico. Neste caso, não ficou claro se foi apenas uma confusão de quem redigiu os manuais ou se há algum erro de conceito intrínseco na definição entre tubo de calor e termossifão por parte dos fabricantes.

2.4. Sistema de coleta de dados

Para fazer o rastreamento dos dados necessários para análise dos coletores, termopares foram fabricados com fio de compensação para baixar o custo do projeto. O fio usado era composto pela liga Cromel-Alumel, conhecida no mercado como fio condutor apresentando o código KX, de 1,8 mm de diâmetro, o qual é adequado para trabalhar com termopares do tipo K. Registros das temperaturas de entrada e saída da água no cabeçote foram realizados por um sistema automatizado de aquisição de dados de oito canais – Fieldlogger da Novus Produtos Eletrônicos Ltda.

Todos os termopares foram calibrados baseando-se na temperatura de fusão do gelo, temperatura ambiente (esta comparada com um sensor Thermo Collector TM10 da marca YOKOGAWA) e temperatura de ebulição da água respeitando-se a altura da cidade de Resende - RJ. A partir da comparação dos resultados curvas de ajuste foram extraídas para cada termopar. Então, equações de correção de primeiro grau foram usadas para minimizar o erro dos termopares. A temperatura da água armazenada nos reservatórios térmicos também teve sua temperatura monitorada, usando um calorímetro, permitindo assim contabilizar a produção de energia na forma de calor. Amostras diárias de quantidades de água semelhantes foram extraídas dos coletores em horários pré-estabelecidos. Conhecendo-se as temperaturas envolvidas no processo, que foram lidas pelos termopares e obtidas pelo calorímetro, e usando-se a equação da conservação de energia para cálculo de calor sensível, foi possível obter o valor do ganho de energia na forma de calor ao longo do período analisado. É importante relatar que antes de cada coleta, houve sempre um descarte de 3 litros de água, garantindo assim que a água analisada era sempre proveniente do interior do boiler e não da tubulação, apesar de ter sido usado um trecho muito curto de duto na posição de extração da água. As incertezas experimentais relativas aos resultados do ganho de energia na forma de calor foram calculadas, sendo que os valores encontrados foram inexpressivos.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O interesse foi mensurar os valores da temperatura da água na saída do cabeçote e também no ponto de saída para consumo, podendo assim quantificar a energia acumulada numa quantidade de massa definida de água. Três modelos de coletores solares foram testados simultaneamente: coletor 1 da marca ASUS que é constituído de tubos de vidro duplo evacuados e termossifões bifásicos com aleta; coletor 2 da marca ASUS constituído de tubos de vidro duplo evacuados e sem termossifões bifásicos e coletor 3 da marca ASUS constituído de tubos de vidro duplo evacuados e termossifões bifásicos construídos no Centro de Fontes Renováveis de Energia da UERJ – FAT. Todos os coletores possuíam 10 tubos de vidro compondo a mesma área externa. Deve ser notado que no coletor de tubo duplo evacuado a água penetra no interior do tubo de vidro, enquanto no coletor que usa o termossifão a região do interior não tem contato com a água. Deste modo, há diferenças construtivas no cabeçote nessas duas situações e também entre os coletores 1 e 3, embora menos acentuadas. Isso causará mudanças no padrão do escoamento da água no interior do cabeçote, impondo modificações na vazão e na perda de carga, não permitindo assim uma semelhança completa entre os modelos testados.

Os testes foram conduzidos num período de oito meses e visto que houve uma reprodutibilidade qualitativa dos resultados, dois períodos específicos foram escolhidos para serem apresentados. Os gráficos que serão apresentados foram construídos usando um período de 24 h, com início às 12:00h de um dia e término às 12:00h do outro dia (registrado como 36h por conveniência). Na trigésima sexta hora as leituras das temperaturas na entrada e na saída do cabeçote dos coletores 1, 2, 3, da água proveniente da rede de alimentação e da água coletada na saída do reservatório térmico por um calorímetro eram registradas para efeito de análise.

De posse dos valores experimentais o cálculo do calor armazenado em cada coleta do calorímetro num período de 24 horas pôde ser obtido, e serviu para efeito de comparação dos coletores. Com as devidas hipóteses e assumindo que não houve mudança de fase, a equação da conservação de energia pode ser escrita na forma:

$$Q = m c_p \Delta T \quad (1)$$

Na Eq. (1), Q representa o calor armazenado no fluido contido dentro do calorímetro [kJ]; m a massa de água contida no calorímetro [kg]; c_p o calor específico da água a pressão constante [kJ/kg.K] e ΔT a diferença de temperatura entre a

água coletada pelo calorímetro e a água proveniente da rede de abastecimento [K]. Outra forma de avaliar o calor acumulado foi também usada, onde a mesma massa do calorímetro foi mantida, mas com uma diferença de temperatura entre a água na saída do cabeçote e a água proveniente da rede de abastecimento.

3.1. Estudo do comportamento da temperatura

A Fig. (6) apresenta o valor da temperatura em função do tempo na saída do cabeçote e também da rede de abastecimento que alimentava os coletores. O coletor 2 mostra temperaturas superiores aos outros no período da tarde – 12h às 18h - mas praticamente se iguala ao coletor 1 no período da manhã – 35h às 36h. O coletor 3 mostra um padrão de temperatura sempre inferior aos demais no período citado. O mesmo padrão foi encontrado na Fig. (10) que foi um dia nublado com temperaturas mais baixas da água de alimentação. A diferença é que neste caso o coletor 1 superou os demais e o coletor 3 continuou fornecendo as temperaturas mais baixas. O conjunto de gráficos mostrados na Fig. (7), Fig. (8) e Fig. (9) mostram a diferença de temperatura entre a região de entrada e saída dos cabeçotes para todos os modelos de coletores no período entre os dias 23/03 e 24/03. A maior diferença de temperatura considerando 12h como referência, foi encontrada no coletor 2, enquanto o coletor 1 e 3 com diferenças mais baixas praticamente obtiveram o mesmo valor. Maiores diferenças de temperatura no cabeçote certamente é um indício para obter um maior valor na força de empuxo, a qual é responsável pelo funcionamento adequado de sistemas passivos. Já para o dia nublado os valores da diferença de temperatura entre a região de entrada e saída dos cabeçotes foram mostrados no conjunto de gráficos representados pela Fig. (11), Fig. (12) e Fig. (13). Nota-se que os valores da diferença de temperatura dos coletores 1 e 2 são semelhantes e superiores ao coletor 3, tomando-se como referência o horário de 12h.

Um fenômeno de inversão de temperatura entre a região de entrada e saída foi capturado nos coletores 1 e 3 que utilizam a tecnologia de termossifões bifásicos. Esta inversão que ocorre aproximadamente entre os horários das 18h e 34h deve ser causada pela queda da temperatura do ar ambiente. O termossifão bifásico não funcionará, mas a estrutura de cobre poderá agir como uma aleta. Isso é mostrado na Fig. (7), Fig. (9), Fig. (11) e Fig. (13). Esse fenômeno de inversão de temperatura não acontece no coletor 2 como corroborado pela Fig. (8) e Fig. (12).

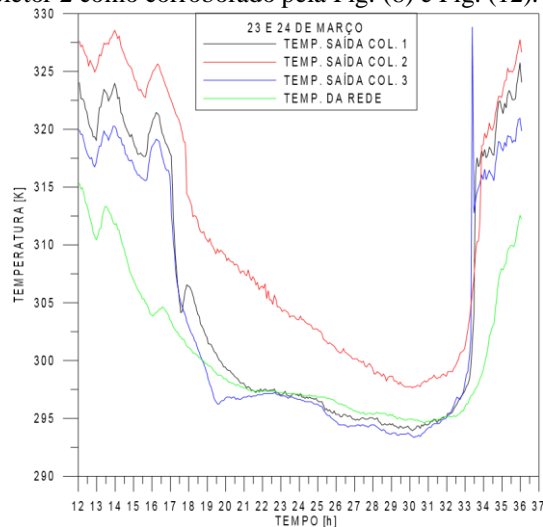


Figura 6. Temperatura no intervalo de 12h de um dia às 12h (36h) do dia seguinte

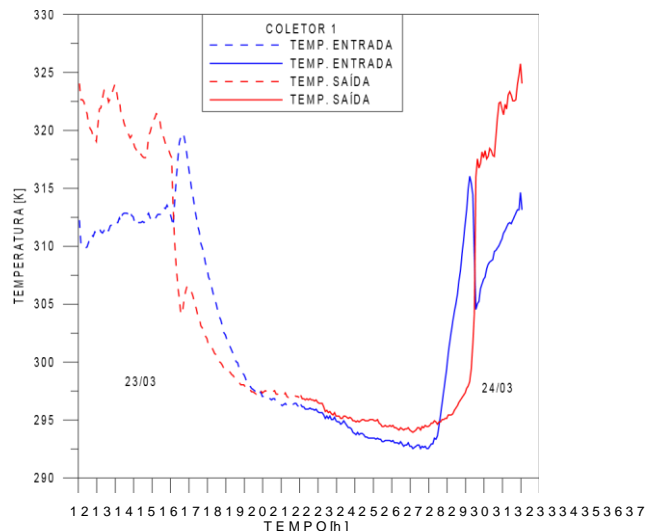


Figura 7. Temperatura no intervalo de 12h de um dia às 12h (36h) do dia seguinte

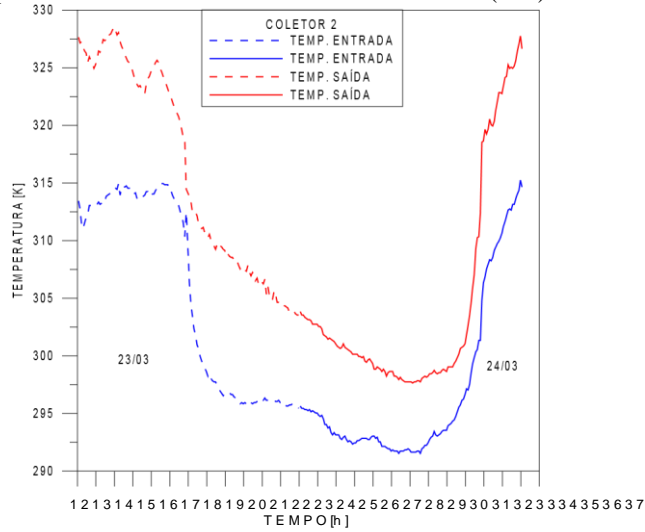


Figura 8. Temperatura no intervalo de 12h de um dia às 12h (36h) do dia seguinte

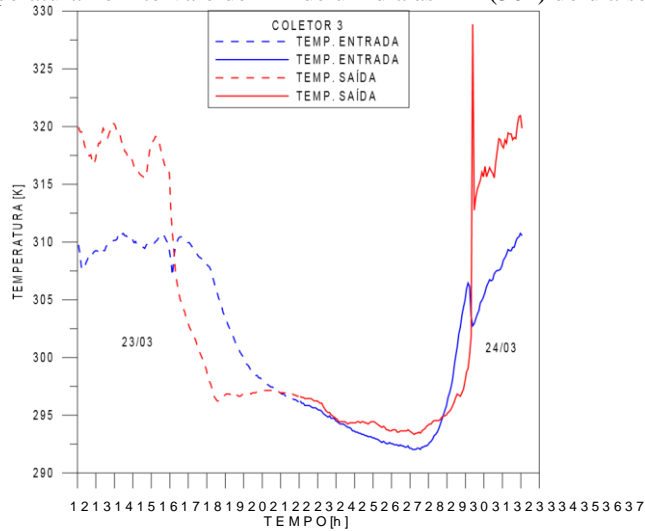


Figura 9. Temperatura no intervalo de 12h de um dia às 12h (36h) do dia seguinte

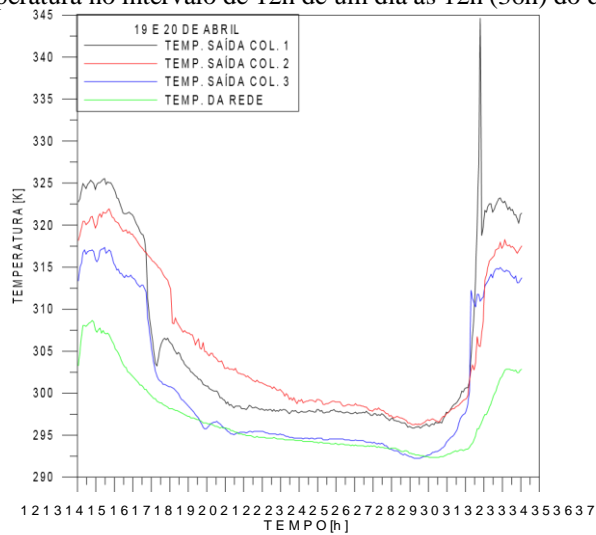


Figura 10. Temperatura no intervalo de 12h de um dia às 12h (36h) do dia seguinte

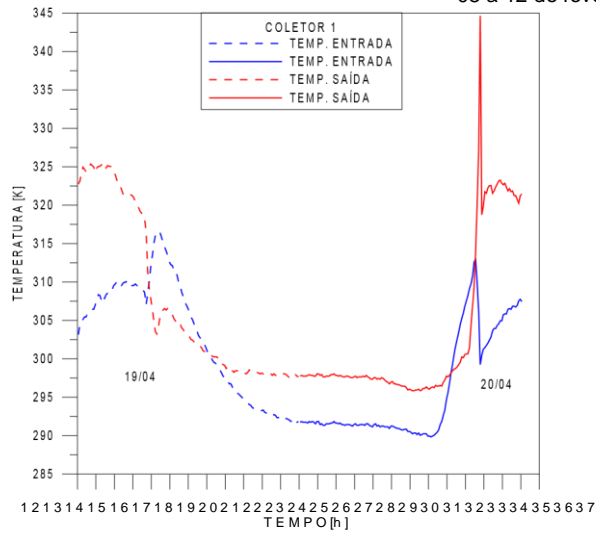


Figura 11. Temperatura no intervalo de 12h de um dia às 12h (36h) do dia seguinte

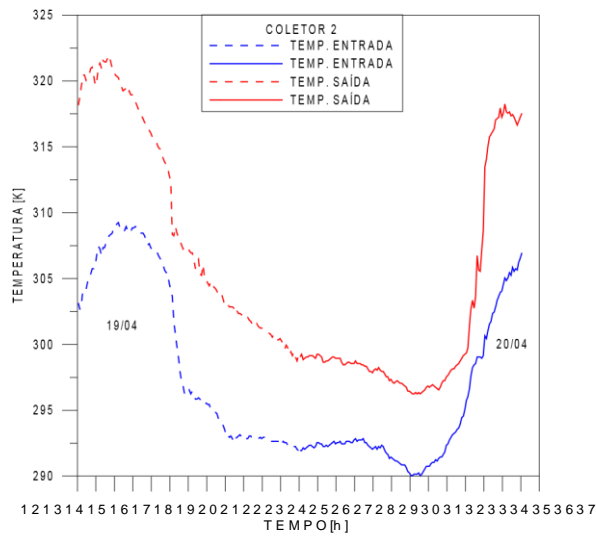


Figura 12. Temperatura no intervalo de 12h de um dia às 12h (36h) do dia seguinte

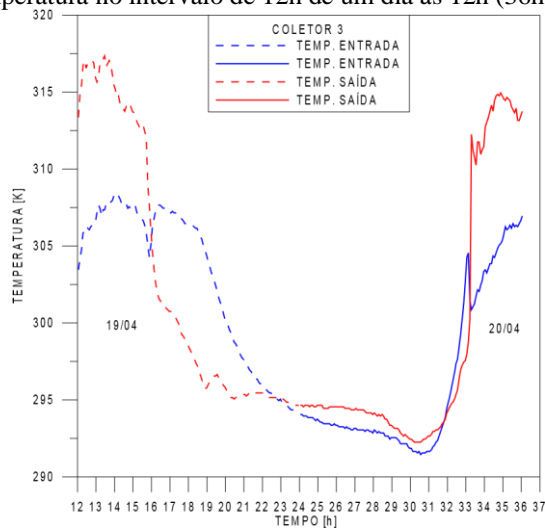


Figura 13. Temperatura no intervalo de 12h de um dia às 12h (36h) do dia seguinte

3.2. Acúmulo de energia

A energia acumulada na massa de água contida no calorímetro foi contabilizada num período de 20 dias, abrangendo os meses de março, abril e maio. Esse período foi escolhido por apresentar variações climáticas mais acentuadas como variações da temperatura ambiente, dias nublados e dias chuvosos na região onde foi efetuado o teste, quando comparado dentro do período de oito meses. A Tab. (1) apresenta os resultados obtidos a partir do uso da Eq. (1) para encontrar a energia acumulada e seus respectivos desvios percentuais entre cada coletor, nas situações em que a temperatura levada em consideração foi a do reservatório térmico e também a da saída do cabeçote.

Tabela 1. Somatório da energia acumulada para cada coletor no período de vinte dias

	Reservatório térmico [kJ]	Desvio [%]	Saída do cabeçote [kJ]	Desvio [%]
Coletor 1	125,7	$D_{12}=22,9\%$	338,6 kJ	$D_{12}=20,0\%$
Coletor 2	154,5	$D_{23}=10,5\%$	282,2 kJ	$D_{23}=57,5\%$
Coletor 3	139,8	$D_{31}=11,2\%$	179,2 kJ	$D_{31}=89,0\%$

Os resultados da energia acumulada a partir da temperatura que representa o reservatório térmico mostram uma superioridade do coletor 2 que não usa a tecnologia de termossifões bifásicos, seguida do coletor 3 que foi o protótipo construído, e por último o coletor 1 que é vendido no mercado, ambos com o termossifão bifásico instalado. O maior desvio (D) percentual encontrado foi entre os modelos 1 e 2. Agora quando se leva em conta a temperatura na saída do cabeçote, o coletor 1 se destaca ocupando o primeiro lugar, seguido do coletor 2 e 3. Em termos de desvio percentual todos os modelos passam a se distanciar, principalmente os modelos 1 e 3 com o valor de 89%.

Em termos gerais, os resultados sugerem que a tecnologia de termossifões bifásicos quando empregada adequadamente consegue atingir as maiores temperaturas na saída do cabeçote, porém, isto não significa que o consumidor irá usufruir destes níveis de temperatura. Como neste trabalho todos os coletores usados eram de uma mesma marca, foram instalados rigorosamente de maneira idêntica e ocupavam uma mesma área externa para captura da energia solar, então, parece que os processos térmicos e fluidodinâmicos dentro do reservatório térmico são fortemente afetados pela forma de captura da energia solar. Também foi possível notar que em relação as temperaturas tomadas na saída do cabeçote, o protótipo foi prejudicado por não utilizar uma aleta como foi feito no coletor 1.

4. COMENTÁRIOS FINAIS

O presente estudo conclui que:

- Coletores solares de tubo duplo evacuado com termossifão operando em um sistema passivo apresentam maiores níveis de temperatura da água na saída do cabeçote.
- Os processos térmicos e fluidodinâmicos nos reservatórios térmicos podem ser influenciados pelo modelo de coletor usado na captura da energia solar, resultando em queda da temperatura da água que chega ao consumidor.
- Sistemas ativos – uso de bombas - podem beneficiar coletores solares que usam a tecnologia de termossifões bifásicos por melhorar o coeficiente de película interno dentro do cabeçote e também talvez diminuir a estratificação que ocorre dentro dos reservatórios.
- A retirada da aleta que recobre o termossifão bifásico só poderá ser executada se houver um projeto adequado do termossifão, para compensar a área de captura de energia solar perdida.
- O coletor solar sem o termossifão bifásico é mais barato e parece atender bem consumidores domésticos, mas o coletor solar com a tecnologia de termossifões bifásicos tem grande potencial para uso industrial.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERJ por viabilizar o estudo através do processo E-26/010.002641/2014 (Edital 30/2014) e ao aluno de graduação Fernando Abreu pela dedicação na coleta dos dados em campo.

6. REFERÊNCIAS

- Abdel-Dayem, A. M., Meyer-Pittro, R., Russ, W. e Mohamad, M. A., 1999. "How to select a collector?". *Applied Energy*, Vol. 64, p. 159-164.
- Azzolin, M., Mariani, A., Moro, L., Tolotto, A., Toninelli, P. e Del Col, D., 2018. "Mathematical model of a thermosyphon integrated storage solar collector". *Renewable Energy*, Vol. 128, p. 400-415.
- Faghri, A., 1995. *Heat pipe science and technology*. Taylor & Francis, 1ª edição.
- Fan, J., Shah, L. J. e Furbo, S., 2007. "Flow distribution in a solar collector panel with horizontally inclined absorber strips". *Solar Energy*, Vol. 81, p. 1501-1511.
- Ismail, K. A. R., Zanardi, M. A. e Lino, F. A. M., 2016. "Modeling and validation of a parabolic solar collector with a heat pipe absorber". *Advances in Energy Research*, Vol. 4, p. 299-323.
- Japkise, D., 1973. *Advances in thermosyphons technology*. Academic Press, 1ª edição.

- Kalogirou, S. A., 2004. "Solar thermal collectors and applications". *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 30, p. 231–295.
- Kalogirou, S. A., 2003. "The potential of solar industrial process heat applications". *Applied Energy*, Vol. 76, p. 337–361.
- Peterson, G.P., 1994. *An introduction to heat pipes: modeling, testing, and applications*. John Wiley & Sons Inc, 1ª edição.
- Vejen, N. K., Furbo, S. e Shah, L. J., 2004. "Development of 12.5 m² solar collector panel for solar heating plants". *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 84, p. 205–223.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.