



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

Estudo experimental de um concentrador solar de calha parabólica (PTC) com tubo evacuado

Experimental study of a parabolic trough collector (PTC) with evacuated pipe

Gabriel de Carvalho Basso*, Ismael de Marchi Neto[†],

Rodrigo Corrêa da Silva[‡], Rafael Sene de Lima[§], Ricardo de Vasconcellos Salvo[¶],

RESUMO

Visando a substituição parcial dos combustíveis fósseis para geração de energia por fontes de energia renováveis, a energia solar se mostra uma opção viável devido a sua grande abrangência em aplicações residenciais, comerciais e industriais. Com base no uso sustentável de energia, foi projetado e construído um concentrador solar de calha parabólica (PTC) para aproveitamento da energia solar no aquecimento de água. A presente proposta consiste na modificação do tubo absorvedor, criando um envoltório de vidro evacuado, de modo a reduzir as perdas de calor e aumentar a eficiência térmica do concentrador. A eficiência térmica do concentrador, após a inserção do tubo evacuado, foi comparada com os resultados previamente obtidos para o tubo absorvedor não evacuado, nas condições de tubo Sem Pintura e tubo Com Pintura. A redução nas perdas de calor para o ambiente com a utilização do vácuo elevou a eficiência térmica do concentrador para 52,18%. A eficiência do concentrador para a configuração Sem Pintura foi de 28,99% e para a configuração Com Pintura de 36,69%, resultando em um aumento de 79,99% e 42,22%, respectivamente. A eficiência térmica apresentou uma relação diretamente proporcional com a radiação solar incidente, enquanto a eficiência se relaciona de forma inversamente proporcional com os níveis de temperatura e o horário de operação.

Palavras-chave: Energia solar, Concentrador solar, Calha parabólica, PTC, Tubo evacuado.

ABSTRACT

Aiming at the partial or integral replacement of fossil fuels for power generation by renewable energy sources, solar energy proves to be a viable option due to its wide scope in residential, commercial and industrial applications. Based on the sustainable use of energy, a parabolic trough collector (PTC) was designed and built to use solar energy in water heating. The present proposal is the modification of the absorber tube, creating an evacuated glass envelope, in order to reduce heat losses and increase the thermal efficiency of the concentrator. The thermal efficiency of the concentrator after insertion of the evacuated tube will be compared with the results previously obtained for the non-evacuated absorber tube, in the conditions of tube with and without selective painting. The reduction in heat losses to the environment with the use of vacuum raised the thermal efficiency of the concentrator to 52,18%. The concentrator efficiency for the Unpainted configuration was 28.99% and for the Painted configuration was 36.69%, resulting in an increase of 79,99% and 42,22%, respectively. Thermal efficiency was directly proportional to incident solar radiation, while efficiency was inversely related to temperature levels and operating hours.

Keywords: Solar energy, Solar concentrators, Parabolic trough collector, PTC, Evacuated pipe.

* Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil; gabrielbasso@alunos.utfpr.edu.br

[†] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina; ismaelneto@utfpr.edu.br

[‡] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina; rodrigossilva@utfpr.edu.br

[§] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina; rafaellima@utfpr.edu.br

[¶] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina; ricardosalvo@utfpr.edu.br



1 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial é composta de 85,3% por fontes de energia não renováveis (combustíveis fósseis e urânio), e 13,7% por fontes de energias renováveis. Condições privilegiadas para geração de energia hídrica, eólica, solar e de biomassa da cana são responsáveis pela maior participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira que, de acordo com o Balanço Energético Nacional de 2019, totaliza 45,3% (EPE, 2019).

Dentre as fontes de energia disponíveis a energia solar é a que possui maior potencial de geração, com irradiação incidente na Terra equivalente a 21 bilhões de toneladas de carvão por hora (LLP, 2009). Se forem consideradas a demanda energética e os níveis de temperatura, o número de aplicações da energia solar apresenta-se muito abrangente. O uso mais comum da energia solar é para o aquecimento de água, substituindo os métodos tradicionais que utilizam resistências elétricas ou gás, diminuindo o consumo de energia elétrica. Outra aplicação usual para o uso da energia solar é na geração de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos.

O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores e concentradores solares. A tecnologia de coletores solares de tubo evacuado é a mais utilizada no mundo para aquecimento de água residencial ou comercial, porém o investimento inicial é elevado quando comparado com outros sistemas, como o chuveiro elétrico, dificultando assim o uso em larga escala no Brasil.

Concentradores solares são utilizados em aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, tais como: secagem de alimentos, dessalinização da água, refrigeração por absorção, processos industriais que demandam vapor e geração de energia elétrica. Atualmente, a tecnologia de concentradores parabólicos é mais difundida em usinas para geração termoelétrica de eletricidade, concentrando os raios solares num único ponto e permitindo temperaturas de trabalho maiores, obtendo assim melhor eficiência de conversão do ciclo termodinâmico para geração de potência.

Utilizando de metodologia similar à utilizada neste trabalho, Kempfer (2011) desenvolveu seu próprio tubo evacuado. Em escala reduzida, projetou e desenvolveu três concentradores de calha parabólica interligados. Apesar de os ensaios terem sido realizados com o tubo não evacuado, ou seja, somente com o envoltório de vidro, foi obtida eficiência média de 47%, válida para a faixa de temperatura entre 30 e 40°C em que o ensaio foi realizado.

Liu et al. (2010), com o intuito de fomentar o desenvolvimento de usinas termossolares na China, analisaram o comportamento de um concentrador solar de calha parabólica com tubo evacuado e óleo sintético como fluido de trabalho. O concentrador apresentou perdas térmicas de 200 W/m, representando cerca de 10% da energia solar total incidente e, mesmo apresentando tais perdas de energia, a eficiência térmica experimental do concentrador se manteve elevada, variando entre 40 e 60%.

A presente proposta consiste na modificação do atual projeto do concentrador solar de calha parabólica, pertencente ao Laboratório de Sistemas Térmicos da UTFPR Londrina, de modo a aumentar a sua eficiência térmica, reduzindo as perdas de calor utilizando um tubo evacuado. Dessa forma, o trabalho tem como principal objetivo avaliar e comparar o desempenho térmico do concentrador solar em diferentes configurações

2 MÉTODO

A análise térmica do sistema leva em conta o princípio da conservação da massa e da energia. Em um concentrador solar de calha parabólica, o processo de conversão da energia solar em energia térmica ocorre em duas etapas. A radiação solar é captada através de uma superfície refletora, sendo concentrada no receptor localizado na linha focal da parábola. Parte da radiação solar é absorvida pelo tubo absorvedor e transferida ao



fluido de trabalho por condução e parte dessa radiação solar é transferida ao ar atmosférico por convecção e radiação.

Com o intuito de reduzir as perdas de calor para o ambiente, é colocado um tubo de vidro concêntrico ao tubo de cobre, onde é realizado vácuo. Nesse caso as perdas de calor por condução e convecção são desprezíveis, ocorrendo apenas perdas por radiação.

Na Figura 1 é apresentado o concentrador solar, objeto de estudo deste trabalho.

A eficiência térmica experimental, ou eficiência de primeira lei da termodinâmica, do concentrador solar pode ser calculada através da razão entre o calor absorvido pelo fluido de trabalho e a radiação solar incidente sobre a superfície refletora, Eq. (1).

$$\eta_I = \frac{Q_{abs}}{Q_{in}} = \frac{\dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) - (\eta G A_a)_{sem\ vácuo}}{G A_a} \quad (1)$$

Foi feita uma compensação no calor absorvido total, descontando o ganho de energia pela parcela do tubo Sem Pintura e Com Pintura (utilizando as eficiências térmicas médias obtidas por Netzel (2019), 28,99% e 36,69%, respectivamente). Para o cálculo da radiação solar incidente, é multiplicada a área de abertura do concentrador solar pelo fluxo de radiação solar medido pelo piranômetro.

Figura 1 – Concentrador solar de calha parabólica com tubo evacuado



Fonte: A autoria própria (2021).

3 RESULTADOS

O experimento teve início às 11h, período que começa o processo de transferência de calor entre o coletor e o fluido de trabalho, com interrupção às 16h quando o sistema de rastreamento deixa de funcionar e retorna o concentrador à posição de segurança.

Os resultados experimentais do Experimento 3 (Tubo Evacuado) são comparados os outras duas configurações realizadas por Netzel (2019) em seu trabalho de conclusão de curso, Experimento 1 (Sem

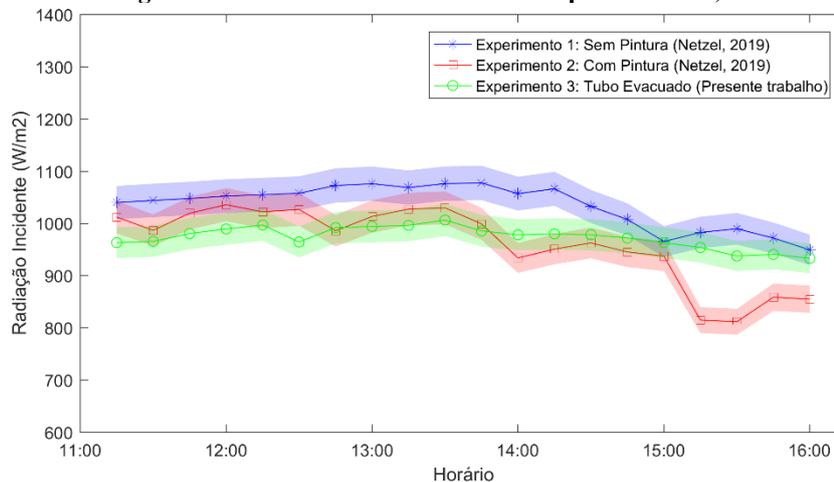


Pintura) e Experimento 2 (Com Pintura). O Experimento 1 ocorreu no final do mês de agosto de 2018 (dias 27, 28, 29, 30 e 31) enquanto o Experimento 2 foi realizado no meio do mês de agosto de 2019 (dias 12, 13, 14, 15, 16). O Experimento 3 foi realizado entre os meses julho e outubro de 2020, em dia não consecutivos de forma a sempre iniciar os experimentos aleatoriamente, sem interferência do acúmulo de energia no reservatório em relação ao experimento do dia anterior.

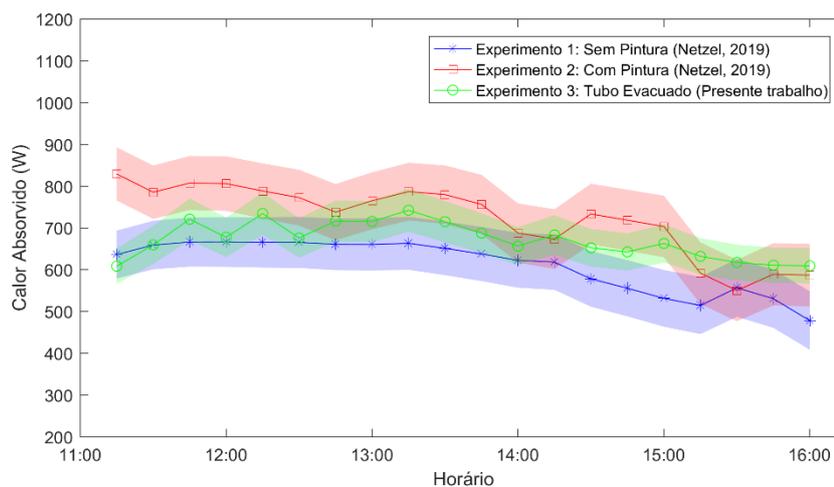
A vazão mássica utilizada no Experimento 3 (0,0425 kg/s) foi ajustada até que estivesse bem próxima da vazão mássica que foi utilizada nos Experimentos 1 e 2 (0,04232 kg/s), a fim de facilitar a interpretação dos resultados

A Figura 2 apresenta os resultados referentes aos três experimentos, comparando a radiação solar incidente, calor absorvido pelo fluido de trabalho e eficiência térmica do concentrador solar. A análise é baseada em valores médios, calculados a cada 15min, de modo a reduzir a variabilidade do conjunto de dados.

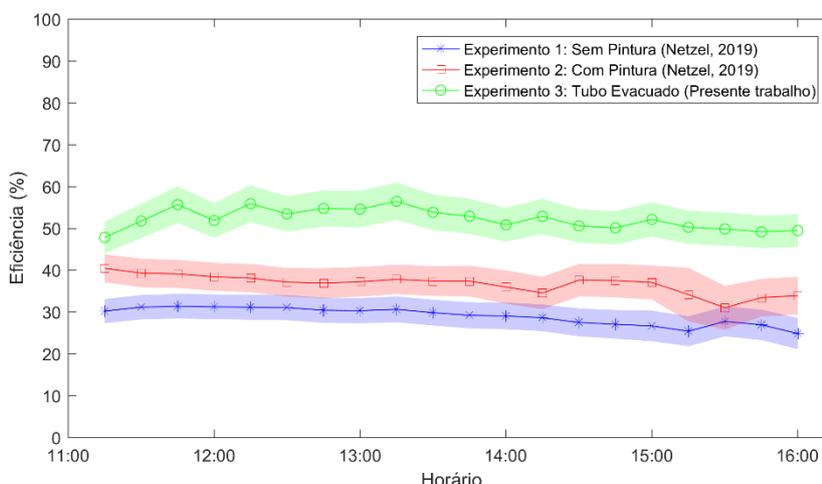
Figura 2 – Resultados referentes aos Experimentos 1, 2 e 3



(a) Radiação solar média no concentrador solar durante os experimentos



(b) Calor absorvido médio durante os experimentos



(c) Eficiência térmica média durante os experimentos

Fonte: Autoria própria (2021).

O comportamento da radiação solar durante os Experimentos 1 e 2 são similares, com maior decaimento ao final do dia quando comparado com o Experimento 3. Apesar dos níveis de radiação solar incidente serem mais elevados durante o Experimento 1 (Sem Pintura), conforme visto na Fig. 2(a), a taxa de calor absorvido nessa configuração ficou 18,28% abaixo da configuração Com Pintura e 9,86% abaixo da configuração do Tubo Evacuado. Isso ocorreu devido à baixa absorvância do tubo de cobre sem pintura seletiva, quando comparado com as configurações com pintura.

Nas configurações Com Pintura e Tubo Evacuado o tubo absorvedor possui a mesma capacidade em absorver a radiação solar, porém, a diferença está na redução da taxa de transferência de calor ao ambiente devido ao isolamento térmico que o vácuo proporciona.

De forma similar ao que foi observado no gráfico calor absorvido médio, Fig. 2(b), têm-se um aumento expressivo entre os níveis de eficiência térmica média na configuração de Tubo Evacuado. Um aumento de quase 80% em relação a configuração Sem Pintura e de mais de 40% em relação a configuração Com Pintura.

Mesmo levando em conta as incertezas de medição, a Fig. 2(c) evidencia o resultado positivo da utilização do vácuo na região anular do tubo concentrador para diminuição das perdas térmicas para o ambiente, elevando a eficiência do sistema de 36,69% na configuração não evacuada para 52,18%.

A Tabela 2 apresenta os dados médios obtidos durante os 5 dias para cada um dos três experimentos (Sem Pintura, Com Pintura e Tubo Evacuado)

Tabela 2 – Dados médios juntamente de suas incertezas referente aos Experimentos 1, 2 e 3

Parâmetros	Experimento 1 (Sem Pintura)	Experimento 2 (Com Pintura)	Experimento 3 (Tubo Evacuado)
Temperatura Ambiente (°C)	31,33±0,23	31,19±0,23	34,81±0,26
Temperatura de Entrada (°C)	32,16±0,24	34,70±0,26	34,50±0,26
Temperatura de Saída (°C)	35,61±0,26	38,78±0,29	38,77±0,29
Radiação Solar Incidente (W/m ²)	1034,26±31,64	961,19±29,41	973,31±29,78
Calor Absorvido (W)	610,57±64,11	722,21±69,61	670,75±67,28
Eficiência (%)	28,99±3,21	36,69±3,92	52,18±4,13

Fonte: Autoria própria (2021).



4 CONCLUSÃO

No presente trabalho avaliou-se o desempenho térmico do tubo absorvedor de um concentrador solar de calha parabólica, por meio de uma análise experimental, utilizando um envoltório de vidro evacuado para reduzir perdas térmicas (Experimento 3). Após a análise, os resultados foram comparados com aqueles obtidos por Netzel (2019) em outras duas configurações não evacuadas, ou seja, tubo absorvedor sem pintura seletiva (Experimento 1) e tubo absorvedor com pintura seletiva (Experimento 2).

Houve um aumento de mais de 25% na eficiência do concentrador solar somente devido ao efeito da pintura seletiva quando comparadas as configurações Sem Pintura e Com Pintura.

Quando utilizado o envoltório de vidro e aplicado o vácuo no tubo absorvedor Com Pintura, o efeito da diminuição das perdas de calor aumentou em valores acima de 40% a eficiência térmica média do concentrador solar. A análise térmica realizada evidenciou o que já era esperado, um resultado positivo na utilização do vácuo na região anular do tubo concentrador para diminuição das perdas térmicas para o ambiente, elevando a eficiência do sistema de 36,69% na configuração Com Pintura para 52,18% na configuração Tubo Evacuado.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pelo incentivo à pesquisa científica.

Aos professores do Thermal Systems Laboratory (TSL) por terem me recebido e transmitido tanto conhecimento científico e experiências pessoais e profissionais, em especial, ao meu orientador Prof. Dr. Ismael de Marchi Neto por tanta dedicação, apoio e incentivo.

REFERÊNCIAS

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE (Org.). **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- KEMPFER, T. **Projeto e Construção de um Concentrador Solar**. 2011. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- LIU, Q. et al. Experimental investigation on a parabolic trough solar collector for thermal power generation. **Science China Technological Sciences**, v. 53, n. 1, p. 52–56, 2010.
- LLP, P. (2009). **Solar Potential Delivering on Earth's**. The climate group, Price Water House Cooper. Disponível em: <<https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/earths-solarpotential.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- NETZEL, R. A. **Estudo Experimental de um Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico**. 2019. 137 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.