

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

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

RESUMO

Gabriel de Carvalho Basso
gabrielbasso@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Ismael de Marchi Neto
ismaelneto@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Rodrigo Corrêa da Silva
rodrigossilva@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Rafael Sene de Lima
rafaellima@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Ricardo Vasconcelos Salvo
ricardosalvo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil

Visando a substituição parcial ou integral 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. Pensando no aproveitamento sustentável de energia, o Laboratório de Sistemas Térmicos (TSL) da UTFPR-Londrina projetou e construiu um concentrador solar de calha parabólica para aproveitamento da energia solar no aquecimento de água. A presente proposta é a 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 implantação do tubo evacuado, será comparada com os resultados previamente obtidos para o tubo absorvedor não evacuado, nas condições de tubo com e sem pintura seletiva.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar. Concentrador parabólico. 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. Thinking about the sustainable use of energy, the Thermal Systems Laboratory (TSL) of UTFPR-Londrina designed and built a parabolic trough collector (PTC) 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 implantation 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.

KEYWORDS: Solar energy. Parabolic collector. Evacuated pipe.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

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



INTRODUÇÃO

Dentre as fontes de energia disponíveis a energia solar é a que possui maior potencial de geração. 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.

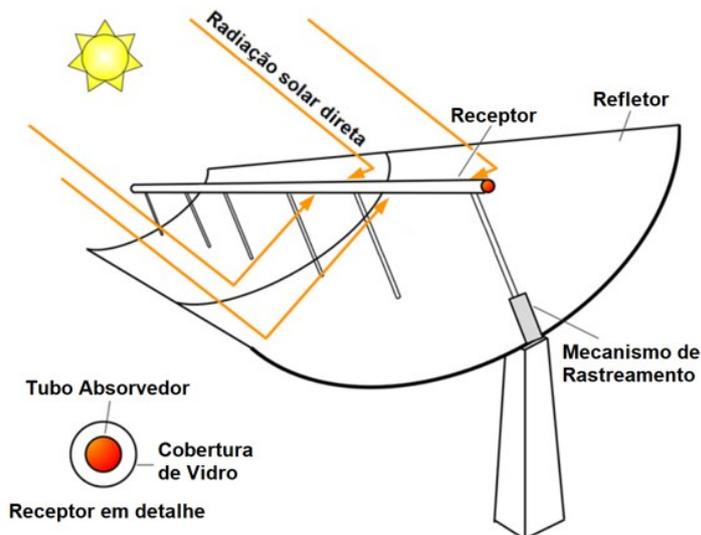
O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores e concentradores solares. Devido à baixa eficiência de captação dos coletores solares planos, foram desenvolvidos os coletores do tipo concentradores, dispositivos utilizados para concentrarem o máximo de radiação possível nos receptores de energia solar. Os concentradores são utilizados na conversão em larga escala de energia térmica, captando a radiação solar incidente sobre uma grande área e concentrando-a sobre uma pequena área, reduzindo a área de troca de calor e, conseqüentemente, reduzindo as perdas de energia e aumentando o fluxo de radiação. O calor absorvido nos receptores é transferido ao fluido de trabalho que circula em seu interior, dessa forma a energia solar é convertida em energia térmica, na forma de calor sensível ou latente de fluido (FILHO, 2008).

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.

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 e do sistema de armazenamento de energia térmica com aqueles obtidos por Netzel (2019). Dentre os objetivos específicos destacam-se: projeto, construção e montagem do tubo evacuado; readequação da instrumentação utilizada; análise térmica do reservatório e concentrador solar.

Os concentradores solares de calha parabólica (*Parabolic Trough Collector* - PTC), ou concentradores cilíndrico parabólicos, recebem esse nome devido à sua superfície refletora possuir formato cilíndrico parabólico, concentrando a radiação solar sobre um receptor localizado na linha focal da parábola. O fluido de trabalho é aquecido enquanto flui através dos tubos receptores, que chegam a ter uma área superficial 25 vezes menor que a área de captação da radiação solar (MARANHÃO, 2016). A Figura 1 apresenta os componentes essenciais de um concentrador de calha parabólica.

Figura 1 – Desenho esquemático de um concentrador solar de calha parabólica



Fonte: Adaptado de CABRERA et al. (2013).

O funcionamento do refletor tem natureza puramente ótica. Todo raio de luz que incidir paralelamente ao eixo principal de um espelho côncavo, reflete-se passando pelo foco (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012). A superfície refletora consiste em fileiras paralelas de espelhos côncavos, podendo o arranjo de espelhos ter mais de 100 metros de comprimento, com a superfície curva de 5 a 6 metros de diâmetro (IEA, 2010).

O receptor é o componente responsável por absorver a energia solar concentrada pelo refletor e transferi-la ao fluido de trabalho como energia interna. Em geral, o receptor é um tubo metálico de alta condutividade térmica com superfície revestida por um material de alta absorvância a irradiação solar e baixa emitância para irradiação térmica, para que se possa obter um aproveitamento máximo da radiação que atinge o tubo (KALOGIROU, 2009).

Para minimizar as perdas por convecção para o ambiente, o tubo absorvedor pode ser envolto por um tubo de vidro onde realiza-se vácuo na região anular. O vácuo é um ótimo isolante térmico, permitindo apenas a transferência de calor por radiação. Para garantir vedação e posicionamento, existe uma união metal-vidro. A concentração da radiação solar nesse componente causa uma degradação precoce, fazendo com que se perda o vácuo ou com que o tubo de vidro se quebre. Este é o tipo de falha mais comum, gerando despesas adicionais com peças de reposição, além de comprometer a performance dos absorvedores.

Semelhante à outras tecnologias solares, a tecnologia de calha parabólica tem a necessidade de focalizar a luz solar sobre uma pequena área, o que exige um mecanismo de posicionamento, permitindo o rastreamento do sol afim de obter maior eficiência, atingindo temperaturas mais constantes durante o período de insolação. Este sistema de rastreamento deve ser capaz de rastrear o sol até mesmo durante dias nublados intermitentes, e retornar à posição original ao final do dia ou durante a noite. Além disso, em casos de superaquecimento, rajadas de vento e falhas no mecanismo de escoamento de fluido, o sistema também deve atuar como mecanismo de proteção, desviando o concentrador do foco (KALOGIROU, 2009).

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentado o projeto e as etapas de construção do tubo evacuado, assim como as modificações necessárias no concentrador para sua operação.

Para o envoltório do tubo evacuado foi selecionado o vidro de borossilicato Duran®, devido suas propriedades óticas e mecânicas. O acrílico se enquadra como outra opção viável, porém, com o decorrer do tempo sua superfície apresentaria desgaste, reduzindo assim sua transmissividade.

Já para o tubo absorvedor utilizou-se o cobre devido a sua elevada condutividade térmica. Pintura seletiva foi utilizada para melhorar a absorvância do receptor, ou seja, aumento da razão entre o fluxo da radiação absorvida e radiação incidente.

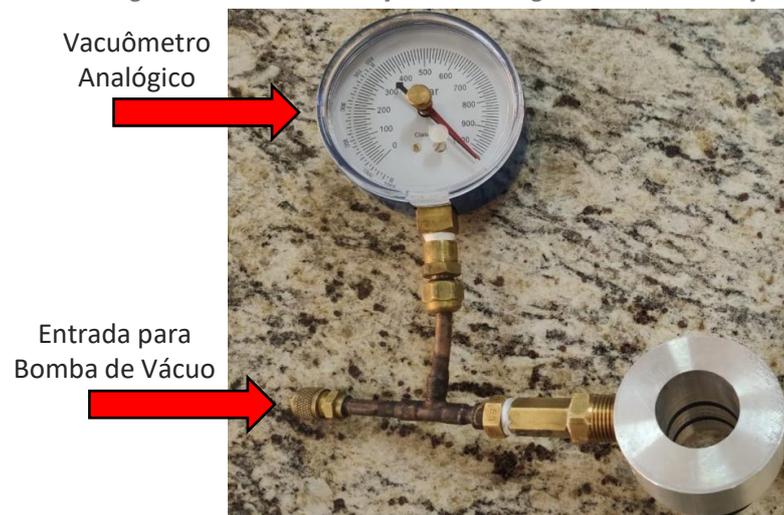
As buchas de vedação, foram usinadas pelo técnico dos laboratórios do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR-LD. Para realizar o vácuo na região anular, em uma das buchas, foram realizados dois furos concorrentes, ligando a parte interna do tubo evacuado com a válvula de serviço.

A priori, foi utilizado um plástico que se pensava ser Nylon 6.6 (Technyl) para a elaboração das buchas de vedação, porém, a temperatura de trabalho foi superior àquela suportada pelo material, acarretando em problemas de montagem. Visando superar estes problemas, as buchas de vedação foram usinadas em Alumínio.

Em cada uma das extremidades do tubo evacuado foram utilizados dois o' rings para promover a vedação entre a superfície interna do tubo de vidro e a superfície externa da bucha e, mais dois o' rings para realizar a mesma função entre a superfície interna da bucha e a superfície externa do tubo de cobre, como ilustrado na Figura 2.

A especificação dos o' rings, bem como as dimensões dos alojamentos a serem realizados nas buchas de vedação foram feitas através do Manual de O'Ring 5700 BR da fabricante Parker Seals (1997).

Figura 2 – Bucha de vedação com o' rings e válvula de serviço



Fonte: Autoria própria (2020).

A montagem do tubo evacuado iniciou-se pelo encaixe dos o-rings nos alojamentos internos e externos das buchas de vedação. Em uma das buchas foi fixada a válvula de serviço, onde são acoplados o vacuômetro e a bomba de vácuo, Figura 2. Para garantir melhor vedação, foi utilizado selante de poliuretano (PU) no contato entre a bucha e a válvula de serviço.

Posteriormente, a bucha com a válvula de serviço foi posicionada no tubo de cobre. Então, com uma das extremidades posicionada, foi acoplado o tubo de vidro sobre os o-rings externos à bucha e, em seguida, foi colocada a segunda bucha na outra extremidade.

Antes que o conjunto fosse instalado no concentrador solar, realizou-se um teste de estanqueidade. Foi acoplada a bomba de vácuo (Suryha de 5CFM com 1/3 hp) na válvula de serviço, ligou-se e foi mantida em funcionamento até que a pressão interna se estabilizasse. A pressão indicada no manômetro, 75 mbar, é menor que a pressão suportada pelo tubo de vidro (7,3 atm), garantindo que este não irá trincar ou implodir (danificar o tubo de borossilicato).

Após uma semana de teste, não foi possível observar mudanças significativas na posição do ponteiro do vacuômetro, indicando que o sistema não apresenta infiltrações e está pronto para ser instalado.

Para a instalação do tubo evacuado, foram encaixadas e soldadas conexões de latão nas extremidades do tubo de cobre, as quais são rosqueadas nas conexões de CPVC presentes na estrutura do concentrador solar, facilitando a instalação e garantindo posicionamento e que não haverá vazamentos de água. A Figura 3 apresenta o tubo evacuado instalado no concentrador solar parabólico.

Figura 3 – Concentrador solar de calha parabólica com tubo evacuado



Fonte: Autoria própria (2020).

Devido ao projeto se tratar de uma modificação somente no tubo absorvedor de um concentrador solar parabólico que já se encontra em operação, os sistemas de controle de posicionamento e hidráulico, assim como o sistema de aquisição de

dados, não sofreram modificações mantendo as mesmas configurações propostas por Netzel (2019).

A análise térmica experimental e teórica do sistema leva em conta o princípio da conservação da massa e da energia. Os resultados experimentais serão comparados com os resultados teóricos, obtidos utilizando-se das equações apresentadas por Kalogirou (2009) e dos procedimentos de cálculo de transferência de calor utilizados e desenvolvidos por Incropera et al. (2008). As propriedades térmicas e óticas dos materiais foram baseadas no livro Incropera et al. (2008).

Conhecendo a vazão e a temperatura de entrada e saída do fluido de trabalho ao passar pelo tubo absorvedor, é possível determinar a energia absorvida pela água. Um piranômetro localizado na parte superior do concentrador capta a irradiação solar, que multiplicada pela área de abertura dos espelhos resulta na energia solar incidente. A eficiência térmica experimental é então, a razão entre a energia absorvida pela água e a energia solar incidente sobre a superfície do coletor.

A eficiência térmica teórica se fundamenta no mesmo princípio, porém, a energia absorvida teórica é equacionada e obtida por meio de resistência térmica, inserindo o efeito da eficiência ótica dos espelhos no cálculo (constante previamente definida por Netzel (2019) em seu trabalho).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o presente momento não foi possível obter resultados experimentais para realizar as análises térmicas do concentrador solar de calha parabólica com tubo evacuado. Problemas na montagem do tubo evacuado acabaram atrasando o cronograma.

Devido ao tubo de vidro estar ovalado, na hora de acoplar a bucha de vedação o tubo vidro acabou trincando, resultando no primeiro problema de montagem. O tubo de vidro de borossilicato foi levado à um especialista para que fosse cortado, reduzindo seu comprimento e, conseqüentemente, a área de troca de calor.

O segundo problema de montagem ocorreu quando o tubo evacuado já estava posicionado no concentrador. Ao tocar a superfície do vidro, este teve uma contração brusca, trincando novamente. Este problema ocorreu pois o fluido de trabalho ainda não estava circulando no interior do receptor, deixando sua temperatura muito elevada. Novamente o tubo de vidro teve que ser cortado, diminuindo ainda mais a área de troca de calor.

O último problema de montagem também ocorreu devido ao fluido de trabalho não estar circulando no interior do receptor. Durante o movimento do sol ao longo do dia, em um determinado momento o receptor ficou no foco do concentrador, elevando muito sua temperatura. A bucha de vedação, que se pensava ser de Nylon 6.6 (Technyl), não suportou o aquecimento, fundindo-se e novamente quebrando o vidro, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Problemas de montagem do tubo evacuado



Fonte: Autoria própria (2020).

A substituição das antigas buchas de nylon por buchas de alumínio e o fluido de trabalho sendo bombeado ininterruptamente, pelo interior do receptor, resolveram os problemas relacionados à quebra do tudo de vidro. Espera-se que nos próximos meses (setembro, outubro e novembro) sejam obtidos os dados experimentais suficientes para conclusão do trabalho proposto.

CONCLUSÃO

De modo geral, ocorreram muitos problemas no momento da montagem, problemas estes que já foram citados no trabalho. Os problemas foram sanados e todos os cálculos referentes ao MATLAB e programação do Arduino estão prontos, faltando apenas a coleta de dados experimentais para levantar a eficiência térmica do concentrador solar. Assim que os dados experimentais forem obtidos e analisado, será dada continuidade ao trabalho, que servirá de base para o trabalho de conclusão de curso.

REFERÊNCIAS

NETZEL, R. A. **Estudo experimental de um concentrador solar cilíndrico parabólico**. 2019. 137 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

KALOGIROU, Soteris A. **Solar energy engineering: processes and systems**. 2. ed. San Diego: Elsevier, 2009.

FILHO, J. R. DE S. **Projeto, construção e levantamento de desempenho de um concentrador solar cilíndrico parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar**. 2008. 91 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

MARANHÃO, D. C. **Projeto e construção de um concentrador solar tipo fresnel linear**. 2016. 111 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

CABRERA, F. J. et al. Use of parabolic trough solar collectors for solar refrigeration and air-conditioning applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 103–118, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. vol. 4. 8 ed. Editora LTC, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Technology roadmap: concentrating solar power**. 2010. Disponível em: http://www.solarpaces.org/wp-content/uploads/csp_roadmap.pdf. Acesso em: 15 jan. 2020.

PARKER SEALS. **Manual de o’ring**. 1997. Disponível em: https://www.parker.com/literature/Brazil/seals/catalogo_5700_br.PDF. Acesso em 03 mar. 2020.

INCROPERA, Frank P. et. al. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros técnicos e científicos Editora Ltda, 2008. 1 v. 978-85-216-1584-2.