

## CONSTRUÇÃO DE UM APARATO EXPERIMENTAL PARA TESTES EM COLETORES SOLARES

João Victor Martins Perosso, joaovmartinsp@gmail.com  
Erick Santos Bez Fontana, ericksantosfontana@gmail.com  
Kaciane Aparecida Basilio, ka\_basilio@hotmail.com  
Guilherme Antonio Bartmeyer, gabartmeyer@hotmail.com  
Rogério de Oliveira Souza, rogerio.2016@alunos.utfpr.edu.br  
Pedro Leineker Ochoski Machado, pedmac@alunos.utfpr.edu.br  
Yara de Souza Tadano, yarataadano@utfpr.edu.br  
Thiago Antonini Alves, antonini@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Câmpus* Ponta Grossa, Av. Doutor Washington Subtil Chueire, 330, Jardim Carvalho, Ponta Grossa/PR, 84.017-220

**Resumo.** *Esse trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um aparato experimental, o qual servirá como ferramenta para futuros experimentos com coletores solares. O sistema é composto por um conjunto de componentes hidráulicos como: reservatório de água fria e quente, caixa d'água, bomba pressurizadora da seção de água fria, bomba de circulação para seção de água quente, encanamento de cobre, PVC e CPVC, válvula de expansão, válvulas de bloqueio, registros, medidores de vazão, pressão e temperatura e, finalmente, um computador com sistema de aquisição de dados. O aparato experimental encontra-se instalado nas dependências interna e externa do Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR) vinculado ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) do Câmpus Ponta Grossa. O sistema desenvolvido apresenta a possibilidade de realizar testes experimentais em todos os tipos de coletores solares, uma vez que pode operar tanto à baixa quanto à alta pressão, além de permitir testes em vazões de água distintas. A partir de sensores, o sistema permite uma coleta de dados completa acerca dos testes experimentais, coletando dados de temperatura e pressão nas extremidades do coletor solar, vazão de água e também temperatura nas regiões próximas ao reservatório térmico. Além disso, a partir de um controlador o sistema pode operar de forma automática, levando-se em consideração medidas de temperatura ao longo do sistema e temperatura final desejada da água.*

**Palavras chave:** *Coletores Solares. Energia Solar. Montagem Experimental. Circuito Fechado.*

**Abstract.** *This work aims to develop an experimental apparatus, which will serve as a tool for future experiments with solar collectors. The system consists of a set of hydraulic components such as: cold and hot water reservoir, water tank, pressurizing pump for the cold water section, circulation pump for the hot water section, copper plumbing, PVC and CPVC, valve expansion valves, shut-off valves, registers, flow, pressure and temperature meters and, finally, a computer with a data acquisition system. The apparatus is installed in the internal and external dependencies of the Solar Energy Laboratory (LabSOLAR) linked to the Department of Mechanical Engineering (DAMEC) of the Federal University of Technology - Paraná (UTFPR) of the Campus Ponta Grossa. The developed system offers the possibility to carry out experimental tests on all types of solar collectors, since it can operate at both low and high pressure, in addition to allowing tests at different water flows. Using sensors, the system allows a complete data collection about the experimental tests, collecting temperature and pressure data at the ends of the solar collector, water flow and also temperature in the regions close to the thermal reservoir. In addition, from a controller the system can operate automatically, taking into account temperature measurements throughout the system and the desired final water temperature.*

**Keywords:** *Solar Collectors. Solar Energy. Experimental Assembly. Closed circuit.*

### 1. INTRODUÇÃO

A energia está em toda parte e o acesso dos indivíduos a ela se deve, principalmente, pelo desenvolvimento de tecnologias que proporcionam novas maneiras de extraí-la do ambiente em que vivemos (Walisiejewicz, 2007). O sol pode ser considerado como uma fonte de energia inesgotável para o planeta Terra, porém há muito ainda a se desenvolver para explorar de forma adequada essa fonte alternativa para que seja possível suprir todas as demandas energéticas. Sendo uma fonte nova, com grande potencial e pouco utilizada no cenário energético, a energia solar vem motivando a procura por inovações tecnológicas para melhor aproveitar essa fonte abundante e barata (Kabir *et al.*, 2018).

De acordo com Fontana (2019), a energia solar pode ser aproveitada como fonte de energia térmica e elétrica, por meio do aquecimento de fluidos e da conversão a partir de painéis fotovoltaicos. Também é possível utilizar a fonte solar para outras aplicações como iluminação e aquecimento passivo, onde é aproveitada a irradiação solar para suprir tais necessidades e obter uso mais eficiente através de técnicas envolvendo diversas áreas como Arquitetura, Engenharia Civil e Engenharia Mecânica.

Os coletores solares são dispositivos que recebem irradiação solar e transferem energia para o fluido de trabalho. Eles devem ser construídos de acordo com as especificações das normas da ABNT, levando-se em consideração as especificações do projeto, como faixa de temperatura, pressão e resistência de exposição à irradiação solar (Espírito Santo, 2017). Existem diferentes tipos de coletores solares, como os coletores solares planos, além de coletores de tubo à vácuo de alta e baixa pressão.

Os coletores planos são de simples fabricação e compostos por um caixote para posicionar e proteger os componentes em seu interior, sendo esses a flauta ou serpentina de cobre por onde a água circula, uma camada absorvedora, uma cobertura transparente (normalmente vidro), isolamento e vedações. Ao passar pela camada transparente e atingir as superfícies absorvedoras, parte da radiação solar é refletida e a parcela absorvida será transferida para o fluido. A cobertura transparente e a tubulação de cobre são muito importantes quando se almeja uma ótima eficiência do equipamento, pois o vidro cria o efeito estufa e o cobre transfere de maneira eficaz a energia para o fluido, em razão de suas propriedades físicas, principalmente, da sua condutividade térmica (Oliveira, 2014).

Os coletores solares de tubo à vácuo de baixa pressão consistem em estruturas compostas por tubos com parede dupla e concêntrica de vidro, onde a parede interna de vidro é pintada com uma tinta seletiva para melhor absorver a energia proveniente do sol. A região entre a parede interna e externa é evacuada, tendo a função de se comportar como isolante térmico e dificultar a troca de calor com outros meios a não ser a água (Rosa, 2012). Também conhecido por aquecimento passivo, a circulação da água é realizada sem a necessidade de bombeamento. A água preenche o interior dos tubos de vidro e absorve a energia solar. Após aquecido, o fluido tende a subir devido à diferença de massa específica entre o fluido quente e frio, consequência do gradiente de temperatura (Manea *et al.*, 2012).

Os coletores solares de tubos à vácuo de alta pressão operam com algumas diferenças quanto aos outros modelos encontrados no mercado. Sua estrutura consiste em um invólucro tubular evacuado onde dentro é instalado um tubo de calor assistido pela gravidade chamado de termossifão. Como no coletor solar de baixa pressão, tais coletores solares possuem uma pintura ou placa absorptiva para aproveitar ao máximo a exposição ao sol e seu invólucro evacuado tem a função de inibir a perda de calor para o ambiente externo pela convecção e condução. Esse modelo de coletor solar permite alcançar temperaturas mais altas de fluido do que os demais por apresentar melhor eficiência. Esse resultado é consequência do princípio de funcionamento de termossifões que operam alternando as fases do fluido de trabalho, motivo pelo qual intensifica a transferência de calor do equipamento por meio do calor latente de vaporização (Rosa, 2012).

Apesar de existir um aumento significativo na participação da energia solar na matriz energética brasileira, essa forma de energia representa aproximadamente 0,06% e 0,23% do total da energia renovável gerada no Brasil nos anos de 2017 e 2018, respectivamente (MME, 2019), indicando que a exploração da energia solar ainda apresenta lacunas que podem ser exploradas visando elevar sua influência na produção de energia. Portanto, desenvolver uma ferramenta para testes experimentais desses equipamentos nos quais permite-se a variação de parâmetros para execução de estudos significativos é válido quando se deseja avaliar e investigar tal tecnologia, visando elevar sua eficiência e aproveitar ao máximo a energia fornecida pelo sol.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é desenvolver e implementar um sistema de circulação fechado de água que permita a realização de testes experimentais em coletores solares, permitindo que dados experimentais sejam coletados, utilizando-se de diferentes parâmetros, e que sejam identificados possíveis pontos de aprimoramento em tais dispositivos térmicos.

## 2. MATERIAIS & MÉTODOS

Todos os equipamentos responsáveis pela operação do sistema de circulação fechado foram posicionados no interior do Bloco J1 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Câmpus* Ponta Grossa, mais especificamente sobre um mezanino metálico presente no Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR). A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático com os principais componentes do aparato experimental, enumerados de 1 a 11: (1) caixa d'água *Fortlev™* com capacidade de 310L, (2) vaso de expansão *Hioda™* com capacidade de 24L e pressão máxima de 10bar, (3) pressostato *Hioda™*, (4) bomba d'água *HP500* de 1/2CV de potência, (5) painel elétrico, (6) leitor digital do medidor de vazão, (7) sistema de aquisição de dados *Agilent™ 34970A* com multiplexador de 20 canais *Agilent™ 34901A*, (8) reservatório térmico (*boiler*) *Ribersol™* com capacidade de 100L, (9) medidor de vazão eletromagnético *Khrono™*, (10) circulador de água *Hioda™ HBS/100* e (11) sensores de temperatura do tipo K *Omega Engineering™*.

A caixa d'água possui como principal função armazenar a água fria proveniente da rede municipal de saneamento, simulando o uso em uma residência. O pressostato atua de forma a regular a pressão na rede, uma vez que, ao detectar diferenças de pressão em suas extremidades esse é responsável pelo acionamento da bomba d'água, que irá então permitir a circulação de água do reservatório frio para o reservatório térmico. O vaso de expansão atua como um dispositivo de segurança, tendo como objetivo proteger o sistema de circulação de variações bruscas de pressão.

O painel elétrico contém disjuntores e dispositivos de segurança para a realização da instalação elétrica de todos os equipamentos. Nesse painel é acoplado um controlador *Tholz™ TLZ*. Esse controlador tem como função, a partir da configuração do usuário, realizar o acionamento dos demais equipamentos elétricos, no caso, o circulador de água e a resistência interna do reservatório térmico. O usuário então configura um determinado valor desejado de temperatura da água do interior do reservatório térmico em algum horário específico. A partir de leituras de temperatura em pontos estratégicos do sistema (interior do reservatório térmico, saída de água do reservatório para os coletores e na saída de água dos coletores), o controlador identifica a necessidade de se acionar as diferentes formas de aquecimento. Primeiramente aciona-se o circulador de água para que ocorra o aquecimento via energia solar nos coletores solares. Caso seja necessário, posteriormente aciona-se o aquecimento auxiliar realizado por uma resistência elétrica no interior do reservatório térmico ou apoio a gás (se existir).

As tubulações apresentadas na Figura 1 em azul representam a circulação de água fria, ao passo que as tubulações em vermelho representam a circulação de água quente. Para a rede fria entre a caixa d'água e o reservatório térmico foram utilizadas tubulações de PVC (policloreto de vinila) soldável, ao passo que as demais tubulações conectadas ao reservatório térmico (*boiler*) foram montadas a partir de tubos de cobre de 22mm de diâmetro. As conexões em PVC foram feitas a partir de cola para PVC, ao passo que as conexões de cobre foram realizadas a partir do processo de brasagem com estanho. As tubulações de água quente entre o reservatório térmico e o ponto de consumo (torneira) foram de CPVC (cloreto de polivinilo clorado). As conexões em CPVC foram executadas com cola para PVC. Todas as tubulações de circulação de água quente foram isoladas com isotubos de lã de rocha e alumínio refletivo, de forma a evitar trocas térmicas com o ambiente externo.

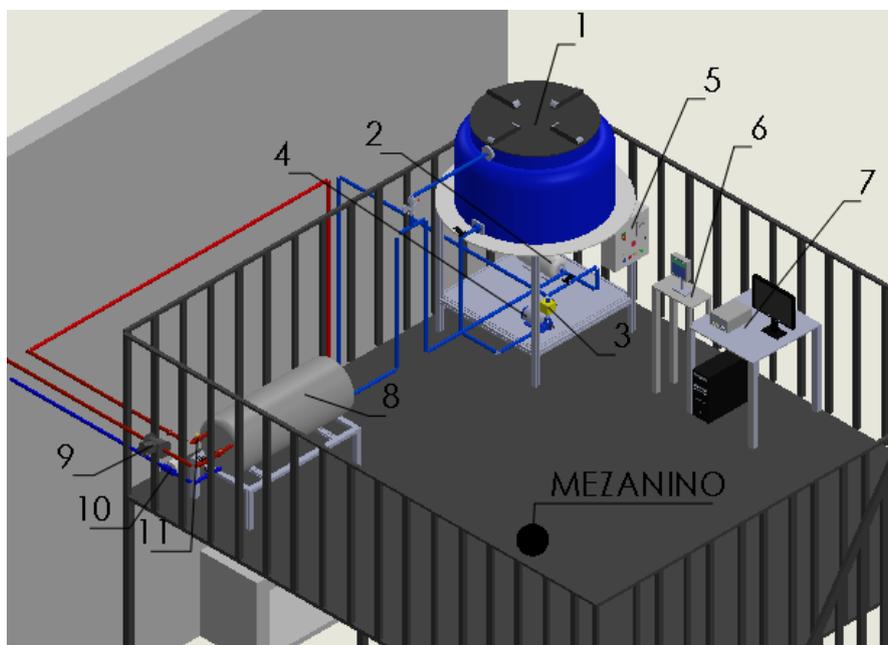


Figura 1. Diagrama esquemático do sistema de circulação fechado do aparato experimental

Como pode ser observado na Figura 2, as tubulações de saída do reservatório térmico (*boiler*) são posicionadas até o exterior do prédio onde se encontra o mezanino metálico, mais precisamente em um ambiente de utilidades, chamado de “Pátio Solar”, local em que serão posicionados os diferentes coletores solares utilizados nos estudos. A circulação de água entre o reservatório térmico e os coletores solares será então permitida a partir da ação do circulador presente na saída de água do reservatório térmico (*boiler*). Com isso, a água presente no reservatório térmico circula pelos coletores solares, é aquecida e então retorna ao reservatório térmico. No diagrama esquemático da Figura 2, a região destacada em azul representa a parte interna do aparato experimental (mais detalhes podem ser vistos na Figura 3) enquanto que a região destacada em amarelo representa a parte externa (“Pátio Solar”) do aparato experimental (maiores detalhes podem ser observados na Figura 5). Maiores informações podem ser encontradas em Perosso (2020).

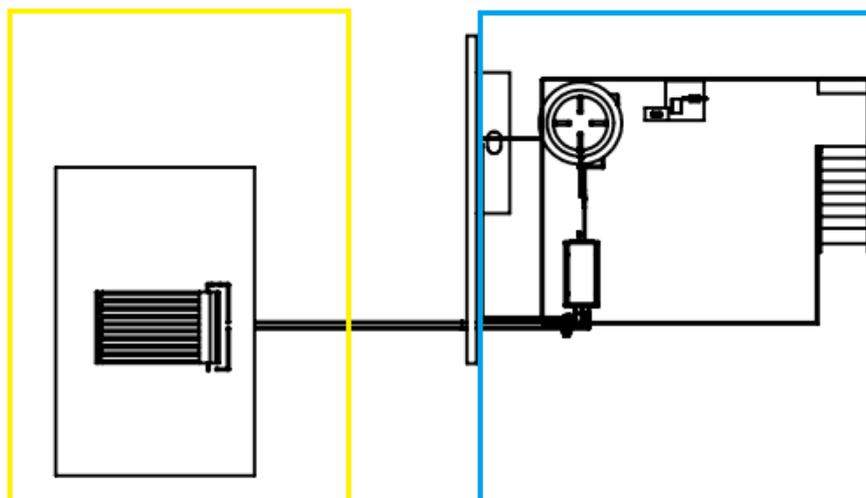


Figura 2. Diagrama esquemático de uma vista superior do aparato experimental

### 3. RESULTADOS & DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o resultado da instalação dos equipamentos no mezanino interno presente no Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR), seguindo as mesmas numerações apresentadas na Figura 1. Entre o reservatório de água fria (caixa d'água) e o reservatório térmico (*boiler*) foi instalado um sifão de maneira a permitir a passagem de água para o *boiler* sem a necessidade de acionamento da bomba d'água e também sem o retorno de água quente do reservatório para o sistema de circulação de água fria. Além disso, uma válvula de segurança de até 4bar foi instalada.

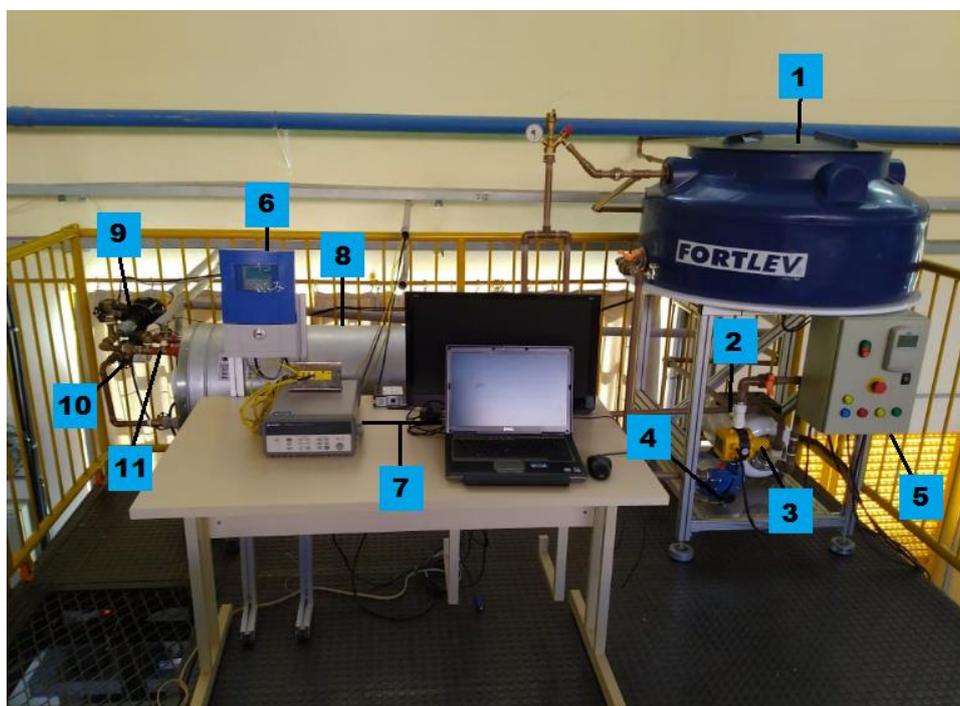


Figura 3. Montagem interna do sistema de circulação fechado do aparato experimental

Na extremidade esquerda do reservatório térmico foram instalados sensores de temperatura, compostos por sensores do controlador *Tholz™* e também termopares do tipo K *Omega Engineering™* para aquisição de dados (Figura 4). Os sensores de temperatura (1), (2) e (4) consistem em termopares do tipo K para aquisição própria de dados, localizados na saída de água para consumo, retorno de água para o reservatório térmico (*boiler*) e saída de água para os coletores solares, respectivamente. Enquanto os sensores de temperatura (3) e (5) são próprios do controlador, posicionados no interior do reservatório térmico e na saída de água para os coletores solares, respectivamente.

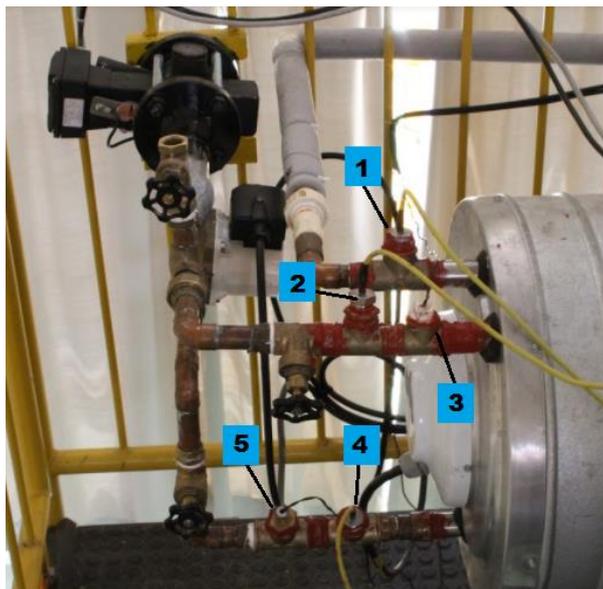


Figura 4. Sensores de temperatura presentes reservatório térmico (*boiler*)

A Figura 5 apresenta o ambiente de utilidades externo, denominado de “Pátio Solar”, externo ao Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR), indicando o posicionamento dos coletores solares. Essa região externa garante aos coletores solares uma área completamente ensolarada e sem sombreamentos durante o período da manhã e da tarde, fornecendo um amplo horário para execução de testes experimentais. A inclinação recomendada para esses testes experimentais é de aproximadamente  $25^\circ$  referente à latitude da cidade de Ponta Grossa/PR.



Figura 5. Área externa ao Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR)

Os coletores solares são conectados às tubulações do reservatório térmico a partir de mangueiras hidráulicas *HPB Fuel & Oil™ WP* de até 20bar com diâmetro de 22mm (7/8") e abraçadeiras metálicas. Entre os coletores solares e as mangueiras hidráulicas foram instaladas conexões que contém sensores para aquisição de dados, como pode ser observado na Figura 6. Em (1) estão representados os transdutores de pressão *IFM™ PN2024*, permitindo a coleta de dados de queda de pressão no escoamento pela passagem nos coletores solares. Em (2) tem-se um sensor de temperatura do controlador *Tholz™* e, em (3), termopares do tipo K *Omega Engineering™*. Toda a aquisição de dados será realizada a partir dos itens (7) sistema de aquisição de dados *Agilent™ 34970A* e *notebook Dell™*, apresentados na Figura 3.

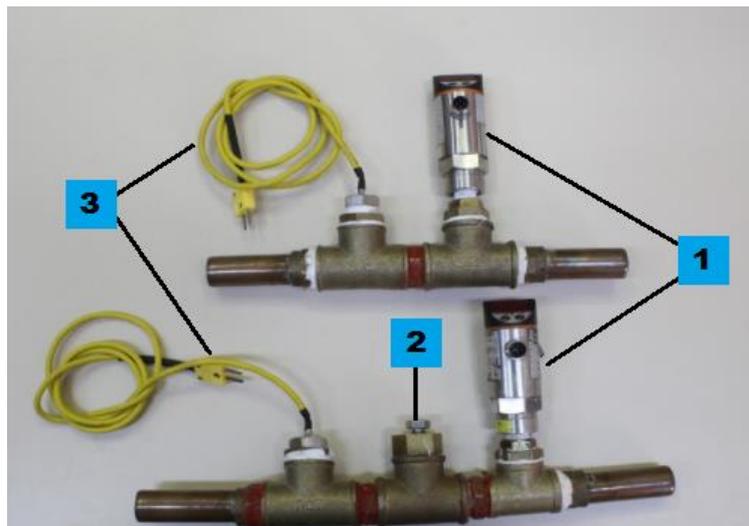


Figura 6. Sensores de pressão e temperaturas posicionados nas extremidades dos coletores solares

O sistema de circulação fechado foi testado, operando de forma esperada, sem presença de vazamentos ou qualquer outro evento que possa impedir o seu uso para testes experimentais em coletores solares. Com a construção finalizada, tem-se então um sistema de circulação de água fechada que permite a circulação de água forçada em três vazões volumétricas distintas a partir do circulador de água, podendo operar em alta ou baixa pressão pela ação do pressostato e bomba d'água, permitindo a coleta de dados de temperatura e pressão nas extremidades dos coletores solares e também de temperatura nas regiões próximas ao reservatório térmico (*boiler*). Outro fator de destaque é a presença do controlador *Tholz™*, que permite o funcionamento automático do sistema de circulação. Dessa forma, considera-se que o sistema está apto para realização de testes experimentais em coletores solares dos mais diversos tipos, podendo realizar investigações acerca de diferentes tipos de coletores, diferentes vazões volumétricas de água, níveis de irradiação solar e também associações em série ou paralelo entre esses dispositivos.

#### 4. CONCLUSÕES

Esse trabalho descreve a concepção de um sistema de circulação fechado de água para testes experimentais em coletores solares, descrevendo os equipamentos que o compõe e também sua funcionalidade. O sistema desenvolvido apresenta a possibilidade de realizar testes experimentais em todos os tipos de coletores solares, uma vez que pode operar tanto à baixa quanto à alta pressão, além de permitir testes em 3 vazões volumétricas de água distintas. A partir de sensores, o sistema permite uma coleta de dados completa acerca dos testes experimentais, coletando dados de temperatura e pressão nas extremidades do coletor solar, vazão de água e também temperatura nas regiões próximas ao reservatório térmico. Além disso, a partir de um controlador o sistema pode operar de forma automática, considerando medidas de temperatura ao longo do sistema e temperatura final desejada da água.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são prestados às Pró-Reitorias de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG) e de Graduação e Educação Profissional (PROGRAD) da UTFPR, às Diretorias de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPG) e de Graduação e Educação Profissional (DIRGRAD), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM) e ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Espírito Santo, M., 2017. *Análise experimental de diferentes configurações de termossifões para aplicação em coletor solar*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- Fontana, E.S.B., 2019. *Concepção de um sistema de circulação fechado para estudo experimental de coletores solares*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A.A., Kim, K.H., 2018. "Solar energy: potential and future prospects". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, p. 894-900.
- Manea, T.F., Rosa, F.N., Krenzinger, A., 2012. "Determinação dos parâmetros de desempenho de um coletor solar de tubos de vidro a vácuo". *Revista Brasileira de Energia Solar*, Vol. III, p. 39-46.
- Ministério de Minas e Energia (MME), 2017. Balanço energético nacional (BEN). Brasília: MME.

- Perosso, J.V.M., 2020. *Montagem de um sistema de circulação fechado de água para testes experimentais em coletores solares*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa.
- Rosa, F.N., 2012. *Aplicabilidade dos coletores solares à vácuo no Brasil*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Walisiewicz, M., 2008. Energia alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis. São Paulo: Publifolha.

## **7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

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