

# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ENSAIOS E COMPARAÇÕES DE COLETORES SOLARES PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA

**Fábio Niemezewski da Rosa** – fabio.rosa@mecanica.ufrgs.br

**Tiago Francisco Manea** – tiagomanea@mecanica.ufrgs.br

**Arno Krenzinger** – arno.krenzinger@ufrgs.br

Laboratório de Energia Solar, PROMEC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Resumo.** Para uma melhor utilização dos coletores solares para aquecimento de água é necessário conhecer suas potencialidades, o que pode ser feito através de testes de eficiência térmica que determinem suas características de operação. Para estes testes, são necessárias instalações que possibilitem ensaios dos modelos de coletores existentes no mercado, e que atendam às normas vigentes para os devidos ensaios. Em 2009 a norma brasileira que regulamenta ensaios de coletores solares foi atualizada, trazendo novos requerimentos quanto a precisões de instrumentos. Desta forma, instalações mais antigas ficaram defasadas, sendo necessária a modificação ou construção de novas instalações para os testes. O artigo trata sobre o projeto e construção de uma instalação para testes de coletores com base na norma vigente no Brasil. Esta norma, a NBR 15747-2, determina alta precisão nas medidas da temperatura em ensaios de coletores solares para aquecimento de água. Para atender esta especificação foi necessário o estudo, projeto, análise, montagem e calibração de um dispositivo para medição do diferencial de temperatura do fluido entre as seções de entrada e saída em coletores solares com a precisão especificada. Este dispositivo é composto por um circuito baseado na ponte de Kelvin que utiliza sensores de platina, resistores de alta precisão e é alimentado por uma fonte de alta estabilidade. O trabalho descreve o desenvolvimento desta bancada e de sua instrumentação para um sistema de testes e de comparações de coletores solares para aquecimento de água. Além disso é apresentado um o resultado de um ensaio de eficiência térmica para um coletor de tubos a vácuo.

**Palavras-chave:** coletor solar, ponte de Kelvin, bancada de testes.

## 1. INTRODUÇÃO

O aquecimento de água para consumo doméstico no Brasil utiliza-se em grande parte de energia elétrica. Esta cultura de uso excessivo da eletricidade para este fim ocasiona de imediato problemas referentes à geração de energia e sobrecarga das linhas de transmissão, e em longo prazo problemas ambientais quando a energia não é vinda de uma fonte renovável.

Os recursos de irradiância no Brasil estão entre os maiores do mundo, além de apresentar uma boa uniformidade e pequena variabilidade anual (Pereira, 2006 *apud* Napolini, 2011). Com isto, afirma-se que se pode ter uma ótima utilização da energia solar em todo território nacional.

O aquecimento de água utilizando a energia solar é sem dúvida uma forma alternativa para obter energia térmica com impactos menores ao meio ambiente, e a sua empregabilidade no aquecimento de água para uso doméstico já é algo bastante comum em alguns países, porém na América Latina de uma forma geral esta tecnologia ainda está se difundindo.

O sistema de aquecimento de água residencial utilizando energia solar pode ser economicamente atrativo, pois se dimensionado corretamente conforme o consumo e a localidade, a substituição do sistema de aquecimento elétrico pelo solar tem um retorno econômico em curto ou em médio prazo. O dimensionamento destes sistemas passa pela seleção dos coletores, que por sua vez devem ter seu desempenho térmico determinado dentro de rigorosos parâmetros que são especificados por normas. Neste contexto, torna-se importante se adequar as regras normativas para avaliar adequadamente estes coletores e poder realizar comparações sobre o comportamento de diferentes marcas, tipos, e inclusive tecnologias de coletores.

A utilização desta tecnologia para aquecimento de água ocorre em grande expansão em todo o mundo. Na América Latina o aquecimento de água utilizando energia solar para aplicações domésticas e industriais é comumente feito com coletores planos metálicos. No entanto a conversão de radiação solar em energia térmica para este fim pode ser feita com outros tipos de coletores como, por exemplo, os de tubos a vácuo ou coletores que utilizam materiais poliméricos como absorvedor. Para escolha do tipo de coletor e o dimensionamento de uma determinada instalação é necessário conhecer o seu desempenho térmico e as suas características físicas.

Os coletores solares que utilizam superfícies seletivas no seu elemento absorvedor e vácuo para melhor isolamento térmico já são conhecidos há décadas, mas o alto custo no mercado brasileiro restringia sua utilização somente para casos em que se necessitavam temperaturas superiores a 80°C. Ultimamente esses tipos de coletores têm se proliferado principalmente devido à participação massiva de coletores fabricados na China a custos significativamente mais baixos, estendendo sua participação inclusive para aquecimento de água para uso doméstico. Na maior parte dos países onde é

empregado, o coletor solar tubular com isolamento a vácuo é preferido ao coletor convencional por sua operação adequada nos meses de inverno, quando as perdas térmicas praticamente inviabilizam a utilização de um coletor solar plano (Manea *et al.*, 2010).

O Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSOL-UFRGS) já pratica ensaios de desempenho de coletores solares há muitos anos, tendo utilizado inclusive, no passado, um sistema com simulador solar para esta finalidade (Zilles, 1988), o qual está atualmente desativado. Uma bancada externa vinha sendo utilizada por Marroquin, (1989) atendendo às normas então existentes. Visando atender às mudanças constantes na norma brasileira em vigor NBR 15747-2 (ABNT, 2009) para testes de coletores solares para aquecimento de água, foi necessário desenvolver uma bancada específica de testes bem como adequar equipamentos como os medidores de temperatura e de vazão.

### 1.1. Objetivos

O presente trabalho descreve o projeto, construção e instrumentação de uma bancada para ensaio e caracterização de coletores solares para aquecimento de água baseada nas especificações da norma brasileira NBR 15747-2 (ABNT, 2009) construída no LABSOL. Esta bancada possibilita o ensaio experimental simultâneo de dois coletores solares térmicos montados, desta forma, podendo realizar comparações precisas sobre o comportamento de diferentes marcas, tipos, e inclusive tecnologias de coletores, ensaiados simultaneamente, sob as mesmas condições.

O trabalho também descreve a instrumentação para medida das temperaturas de entrada e saída, com medidas que atendem as exigências da norma.

## 2. PROJETO E CONTRUÇÃO

O primeiro passo da bancada de ensaios foi o projeto de uma estrutura capaz de suportar dois coletores solares montados, e que permitisse o seu giro, para ser capaz de realizar o teste em diferentes horários do dia. Conforme a norma NBR 15747 (ABNT, 2009), o ângulo máximo de incidência solar não pode ser superior a 20°, portanto para possibilitar o teste em vários horários do dia, a estrutura deveria ser capaz de girar. Depois de analisada as diferentes possibilidades para permitir o giro da mesma em 180°, ou seja, capacidade de apontar os coletores para o sol em todos os horários do dia esta estrutura definitiva foi esboçada em software CAD, como mostra a Fig. 1a.

A estrutura esboçada possui quatro pés (C), uma plataforma retangular (A) fixada sobre um trilho circular (B). O giro ocorre porque sobre o trilho há rodízios fixados na parte superior dos pés possibilitando o giro de toda a plataforma em 360°. A estrutura foi projetada para suportar o peso próprio somado ao de dois coletores montados com água mais duas pessoas (para manutenção e operação do sistema). A estrutura pronta pode ser vista na Fig. 1b.

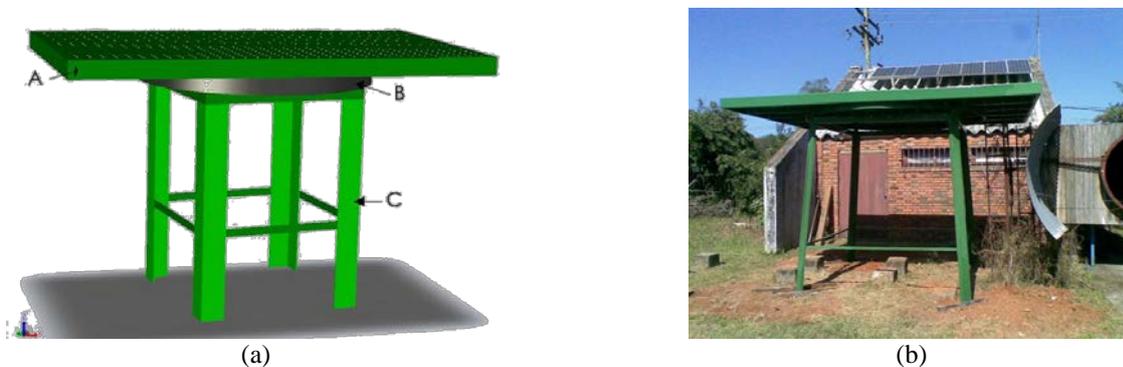


Figura 1 – (a) Modelo de estudo da plataforma giratória. (b) plataforma construída para ensaios de coletores solares térmicos.

A estrutura foi construída em aço com a plataforma no tamanho de 4,20 m x 2,90 m com uma altura de 2,60 m do solo para se evitar sombreamento e influencia de objetos, pessoas e veículos que poderiam passar próximos durante um ensaio.

A estrutura C é fixa ao solo, em base de concreto. Foram utilizados perfis de viga U, em dimensão adequada para suportar o peso do trilho e da base giratória, adicionados ao peso dos coletores, instrumentação e pessoal necessário para manipulação dos equipamentos. A estrutura B, é o trilho responsável pelo giro da plataforma. A estrutura C recebeu diversas rodas com rolamentos duplos que deslizam em baixo do trilho (estrutura B). As rodas foram distribuídas uniformemente sob o círculo do trilho. A plataforma (estrutura A) foi construída com vigas de perfil U, com chapa de 3 mm sobre a mesma, furada para possibilitar a montagem dos equipamentos e de diferentes estruturas de coletores solares. O giro da estrutura é controlado manualmente por um operador do solo. O sistema permite que apenas um operador consiga girar a estrutura, mesmo com dois coletores montados sobre a mesma. Para evitar que a plataforma acabe saindo do trilho, ou, caso um peso maior seja concentrado em uma das pontas, foram colocadas travas

de segurança que impedem o movimento vertical da estrutura, mantendo-a sempre em contato com as rodas. Também foi adicionado um sistema de freio que impede o giro acidental da estrutura, para maior segurança dos operadores.

### 3. NORMAS

Para realizar a montagem adequada da instrumentação, incluindo aquisição de novos equipamentos ou modificação dos equipamentos atuais, foi necessário um estudo comparativo da norma antiga (NBR 10184, 1988) e da vigente (NBR 15747, 2009), principalmente na parte que se referem às precisões das medições.

Para as medidas de vazão de líquido a norma anterior recomendava precisões de  $\pm 2\%$  enquanto que na nova norma a precisão da medida de vazão deve ser de  $\pm 1\%$  do valor medido. Na norma anterior era recomendada uma vazão ajustada em  $1 \text{ l/min}$  ( $0,0167 \text{ kg.s}^{-1}$ ) para cada  $\text{m}^2$  de área do absorvedor. Na norma atual, a vazão recomendada é de  $0,02 \text{ kg.s}^{-1}$  por  $\text{m}^2$  para coletores com cobertura e de  $0,04 \text{ kg.s}^{-1}$  por  $\text{m}^2$  para coletores sem cobertura.

A norma atual também exige que a medida da diferença de temperatura da água entre as seções de entrada e a de saída do coletor deve ser feita com uma precisão menor que  $0,05 \text{ }^\circ\text{C}$ . Este é um dos pontos críticos da norma atual, onde são necessários equipamentos com capacidade de medição muito boa. Os sensores Pt100 padrão do mercado com classe A, tem um resistência padrão de  $100 \text{ ohms}$  a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  e de acordo com a norma internacional IEC 60751, a tolerância é de  $\pm 0,15 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Este valor se encontra acima do mínimo estabelecido pela norma atual, portanto, é necessário um dispositivo melhor que o melhor Pt100 padrão de mercado.

A precisão na medida da temperatura depende dos equipamentos e do elemento sensor. A maioria dos sensores padrões de mercado não atingem esta precisão, sendo necessário buscar equipamentos específicos ou desenvolver um medidor de temperatura que possa atingir estes requisitos.

### 4. INSTRUMENTAÇÃO

Utilizando um circuito em ponte de Kelvin associado a uma fonte de alta precisão e estabilidade com resistências de alta precisão, foi possível desenvolver um circuito para medir diferenças de temperatura com alta precisão, Manea *et al.* (2011).

Foram utilizados três sensores para medida da temperatura: um para medida da temperatura ambiente, um para medida da temperatura da água na seção de entrada e outro na saída do coletor. As medições são efetuadas através de um equipamento de aquisição de dados da marca Agilent, modelo 34970A ligado a um computador para armazenamento dos dados ao longo de todo o período de testes.

A bomba para a circulação de água utilizada é da marca Texius modelo TBHX-BR, de potência nominal de  $100\text{W}$  com vazão máxima de  $45 \text{ litros/min}$ . O medidor de vazão é da marca Signet 2000 Micro Flow Sensor, tipo turbina, com capacidade máxima de medição de vazão de  $2,6 \text{ l/m}$ . O medidor de vazão foi cuidadosamente calibrado com uma bateria de ensaios, comparando a massa de água circulante (medida em balança de precisão) com o sinal em frequência obtido do sensor.

A bancada conta com uma medição de radiação direta através de um pireliômetro modelo NIP da marca Eppley e a radiação total através de um piranômetro modelo CM11 da marca Kipp&Zonen. A medida da velocidade do vento é realizada com um anemômetro de conchas.

#### 4.1. Projeto e montagem de sistema de medição de temperatura

Uma forma simples de medir a diferença de temperatura entre a entrada e a saída do coletor, pode ser feita utilizando sensores de temperatura instalados na entrada e na saída do coletor, e a partir destes valores, subtraindo uma temperatura da outra, tem-se a diferença. Termômetros de dilatação de mercúrio não são adequados porque não tem saída elétrica e dificultam a tarefa de aquisição de dados. Termistores podem ser muito sensíveis, mas tem pouca estabilidade, podendo variar décimos de graus em alguns meses (Jones, 1985). Termopares também necessitariam frequente calibração e sua baixa sensibilidade exige muita proteção contra ruídos eletromagnéticos. Os sensores de resistência de platina são mais estáveis e considerados de alta qualidade para a determinação de temperatura. Este método, porém, com sensores resistivos de platina comerciais, não atinge a precisão especificada pela norma, pois de acordo com a norma IEC60751 os sensores de platina tipo Pt100 classe A possuem uma incerteza padrão de aproximadamente  $0,2^\circ\text{C}$  na faixa de  $-50^\circ\text{C}$  a  $50^\circ\text{C}$ , não alcançando o grau estabelecido pela norma NBR 15747.

Com base nestes fatos, realizou-se uma análise de um dispositivo para medir o diferencial de temperatura com alta precisão e sensibilidade para ser utilizado na bancada, descrita com mais detalhes em Manea *et al.* (2011).

Entre os métodos possíveis está a utilização de um circuito de resistências, como a ponte de Wheatstone ou a ponte de Kelvin. Nestes circuitos a variação de tensão medida no voltímetro varia com a diferença de resistência entre os resistores, ou seja, no caso da ponte de Kelvin, se  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$  forem idênticos entre si a tensão sobre o medidor depende da diferença de resistência entre o sensor  $R_t$  e o resistor  $R_5$ . Se ao invés de um resistor fixo, fosse utilizado outro sensor no lugar de  $R_5$ , ter-se-ia um dispositivo que mediria a diferença de temperatura entre os sensores. Se os dois sensores estiverem à mesma temperatura, a diferença de resistência teórica será  $0 \text{ ohms}$ , e portanto ter-se-á uma medida de tensão teoricamente nula ( $0 \text{ Vdc}$ ). Conforme a temperatura varia em um dos lados da ponte, a resistência

deste lado também varia e, portanto, a saída da ponte apresenta uma leitura de tensão diferente de 0 Vdc e proporcional à diferença de temperatura entre os dois sensores.

Estes circuitos além de medirem temperatura com maior precisão, também são compensadores devido à ligação a quatro fios, o que anula as diferenças devidas ao comprimento dos cabos, permitindo medidas a longas distâncias.

O circuito do dispositivo foi construído com base na ponte de Kelvin como mostra a Fig. 2, este possui quatro sensores de temperatura de platina Pt100 classe A, quatro resistores de 250  $\Omega$ , uma fonte de 2,5V e cabos de ligação.

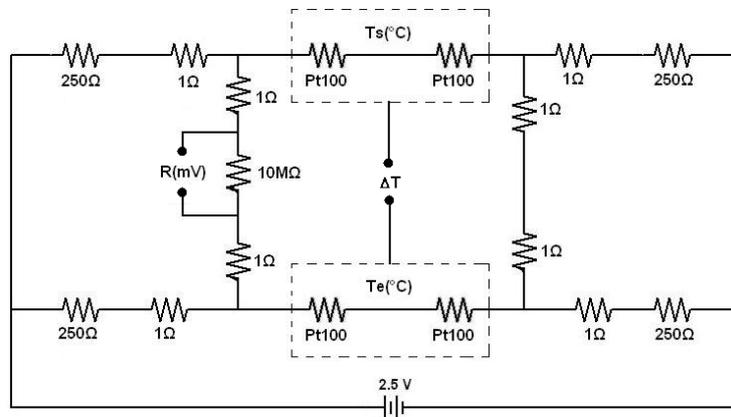


Figura 2 – Circuito da ponte de Kelvin modificada.

Os resistores da ponte têm alta precisão, com tolerância de 0,05 %, e um baixo coeficiente de temperatura, 13 ppm/°C segundo especificações do fabricante. A resistência de 1  $\Omega$  foi atribuída aos cabos somente para realizar a análise teórica. A medida de tensão da resposta do circuito é feita com instrumento com impedância interna de 10 M $\Omega$ .

Os sensores de temperatura foram instalados em cápsulas de passagem de água conforme mostra a Fig. 3. Estas cápsulas são instaladas uma na entrada e outra na saída do coletor, onde são envolvidas por um material isolante de baixa condutividade térmica.

As cápsulas permitem aos sensores Pt100 ficarem no meio da corrente de água sem contato direto, encapsulados com baixa inércia térmica como mostra o item 1 na figura 3b. A figura 3c mostra um corte transversal da cápsula, onde o item 2 indica o sentido do fluxo de água, e o item 3 o posicionamento dos sensores. Foram utilizados três sensores de temperatura, dos quais, os dois das extremidades estão ligados em série com objetivo se obter uma média mais uniforme da temperatura. Estes estão conectados ao circuito do dispositivo para medir a diferença de temperatura da água entre entrada e saída do coletor solar. O sensor central mede a temperatura do fluido.

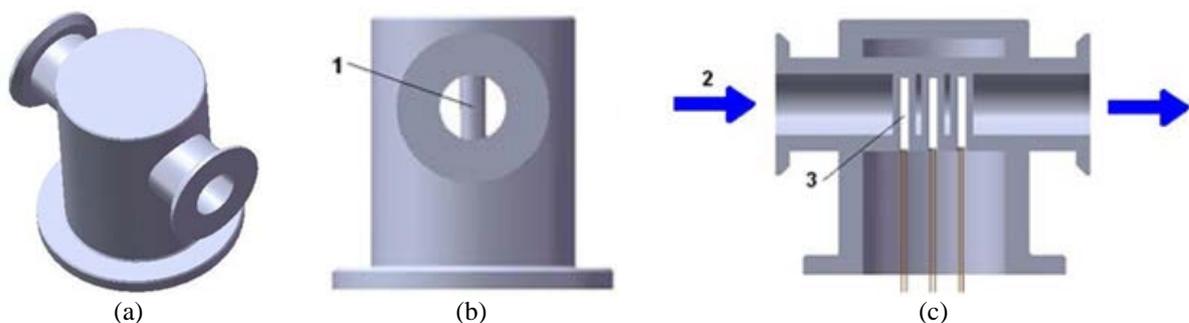


Figura 3: (a) vista em três dimensões da cápsula; (b) vista lateral; (c) vista de corte mostrando os sensores.

Foi necessário construir uma fonte de alta estabilidade para alimentar o circuito da ponte, pois a grande maioria das fontes comerciais não tem a estabilidade requerida pelo projeto. A fonte de alimentação foi construída com um circuito de referência de tensão da marca Maxim modelo MAX6133, com coeficiente de temperatura de 3ppm/°C, capacidade de saída de corrente 15 mA e regulação de 0,05 mV/mA.

#### 4.2. Análise teórica

Para determinar o procedimento de calibração fez-se necessária uma análise teórica do dispositivo para simular seu comportamento em situações de operação real, em que um sensor estará a uma temperatura  $T_e$  na entrada do coletor e o outro a uma temperatura mais elevada  $T_s$  na saída. Para tanto foram aplicadas as leis de Kirchhoff no circuito do dispositivo mostrada na Fig. 2. Segundo estas leis o somatório das tensões sobre os resistores em uma malha fechada é igual a zero e o somatório das correntes em cada nó do circuito também é nula. Com este equacionamento foi possível

traçar uma curva simulando uma variação da temperatura  $\Delta T$  entre os sensores e observar a consequente resposta do dispositivo  $R$  como mostra a Fig. 4.

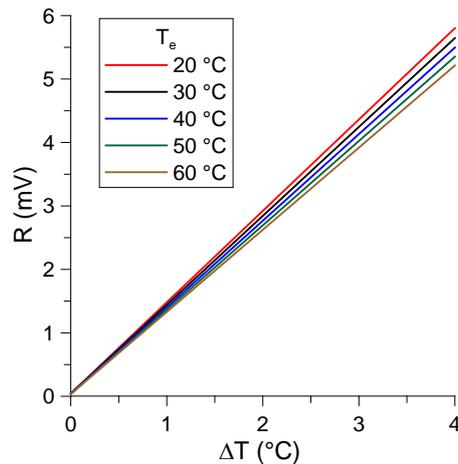


Figura 4 – Resposta do dispositivo em função da diferença de temperatura para algumas faixas de temperatura.

Pode-se observar com esta análise que a resposta do dispositivo é linear com a diferença de temperatura entre os sensores, e que uma reta com coeficiente angular  $\alpha$  e termo independente  $\beta$ , para cada temperatura de entrada, seria o melhor ajuste de calibração do dispositivo.

A notável variação da inclinação das retas à medida que a temperatura de entrada aumenta levou a outra análise, desta vez sobre o comportamento do coeficiente angular  $\alpha$  destas curvas com a temperatura de entrada no coletor. Observando que o coeficiente angular decresce linearmente com a temperatura de entrada no coletor é possível ajustá-lo com a equação de uma reta dependente da temperatura de entrada.

Além da avaliação do coeficiente angular é importante também analisar o comportamento do termo independente  $\beta$  das retas de resposta do dispositivo. Este coeficiente representa a tensão de resposta da ponte quando a diferença de temperatura entre os sensores é zero. Seus valores teóricos são maiores que zero devido à influência da resistência do voltímetro inserida no circuito, porém nas faixas analisadas estes valores são suficientemente similares para que se adote um único valor médio. Este coeficiente depende também da diferença de resistência entre os componentes do circuito.

Desta forma tem-se uma equação teórica geral de resposta do dispositivo em função da diferença de temperatura entre os sensores para cada temperatura de entrada, descrita na Eq. (1).

$$R = \alpha(T_e)\Delta T + \beta \quad (1)$$

onde  $R$  é a resposta do dispositivo,  $\alpha$  e  $\beta$  são os coeficientes de ajuste para a temperatura de entrada  $T_e$ , e  $\Delta T$  é a diferença entre as temperaturas dos sensores.

### 4.3. Calibração

Conhecendo o comportamento teórico do dispositivo pode-se realizar a sua calibração da seguinte forma: circulou-se água a temperatura constante e controlada por dois equipamentos de banho termostático, um mantendo os sensores que ficam na entrada do coletor a uma temperatura  $T_e$  e outro que manteve os sensores da saída a uma temperatura de maior valor  $T_s$ .

Estabeleceram-se três pontos de diferença de temperatura entre os dois sensores e mediu-se a tensão de resposta do dispositivo. Variou-se a diferença de temperatura entre os sensores de  $1^{\circ}\text{C}$  a  $3^{\circ}\text{C}$  com as temperaturas de entrada estabelecidas aproximadamente em 20, 30, 40, 50 e  $60^{\circ}\text{C}$ .

As temperaturas  $T_e$  e  $T_s$  foram medidas nos equipamentos de banho termostático utilizando o mesmo termômetro de precisão para cada faixa de temperatura, diminuindo assim a influência da medida da temperatura na incerteza do dispositivo. O tempo de estabilização de cada ponto da mesma faixa foi de 20 minutos, e na troca de faixa de 50 minutos.

Os termômetros utilizados para a medida de temperatura nas faixas de  $20^{\circ}\text{C}$  e  $30^{\circ}\text{C}$  são da marca Incoterm com resolução de  $0,01^{\circ}\text{C}$ . Para as faixas de 40, 50 e  $60^{\circ}\text{C}$  foram utilizados termômetros da mesma marca, porém, com resolução de  $0,05^{\circ}\text{C}$ . A tomada de dados foi feita por um equipamento de aquisição da marca Agilent, modelo 34970A ligado a um computador para armazenamento dos dados. Os equipamentos de banho térmico são da marca Lauda modelos E200 e MG-M3, que mantêm a temperatura do banho com uma estabilidade de  $0,01^{\circ}\text{C}$  e  $0,05^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

## 5. RESULTADOS

O procedimento de calibração foi repetido quatro vezes e para cada uma foi traçado uma curva correspondente expressando a diferença de temperatura entre os sensores versus a resposta do dispositivo, para faixas de 20°C a 60°C como mostra a Fig. 7a correspondente a um destes procedimentos. A Fig. 7b mostra a variação experimental do coeficiente angular  $\alpha$  com a temperatura de entrada  $T_e$ , bem como a reta de ajuste correspondente aos quatro procedimentos experimentais.

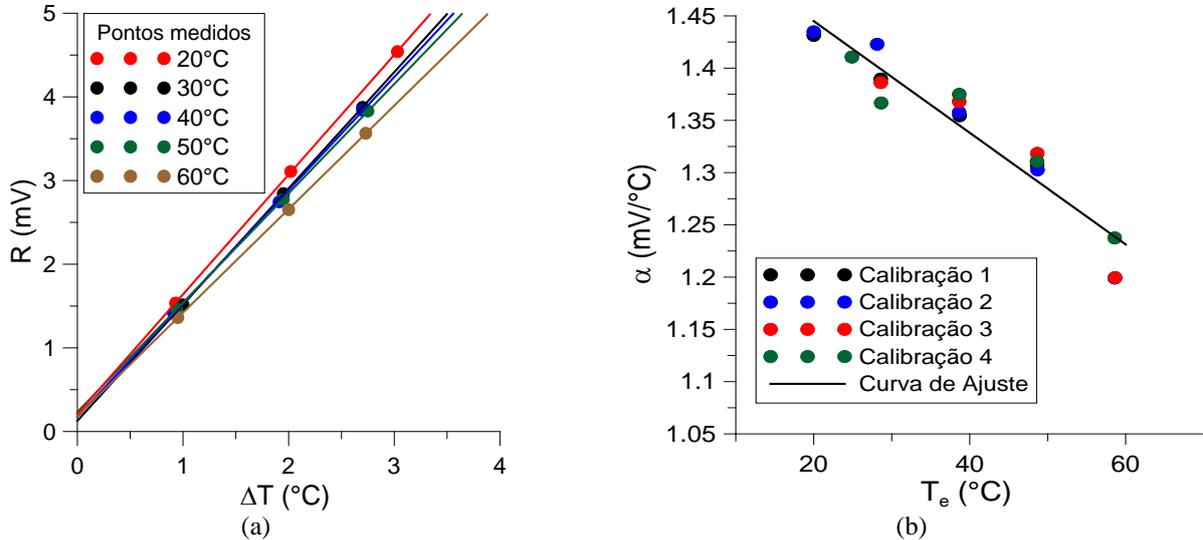


Figura 5 – (a) pontos medidos e curvas de tendência para uma das calibrações; (b) Variação experimental do coeficiente  $\alpha$  com a  $T_e$  para os quatro procedimentos de calibração.

Uma reta de tendência que ajusta os coeficientes angulares das curvas obtidas experimentalmente com a temperatura de entrada foi considerada como fonte para determinar o coeficiente  $a(T_e)$  da curva de calibração do dispositivo. O coeficiente  $\beta$  foi estimado como sendo a média dos coeficientes de cada curva. Desta forma tem-se determinados os dois coeficientes de ajuste da resposta do dispositivo que pode ser expressa pela Eq. 2.

$$R = (-0.005343 T_e + 1.5518)\Delta T + 0.1907 \quad (2)$$

A incerteza associada do dispositivo foi analisada e descrita em Manea *et al* (2011). O dispositivo tem uma incerteza na medida da diferença de temperatura entre os sensores de 0,042 °C.

Com os sensores de diferença de temperatura devidamente calibrados e corretamente instalados na bancada, montou-se um coletor solar de tubos a vácuo, e assim efetuaram-se uma série de ensaios com base na norma brasileira NBR 15747-2 (ABNT, 2009). Esta mesma norma solicita um ajuste quadrático para a curva resultante, a menos que o coeficiente do termo quadrático seja negativo, quando se utiliza um ajuste linear, o que ocorreu no ensaio apresentado neste trabalho. A Fig. 6a mostra o coletor montado na bancada e a Fig. 6b mostra a curva de eficiência obtida.

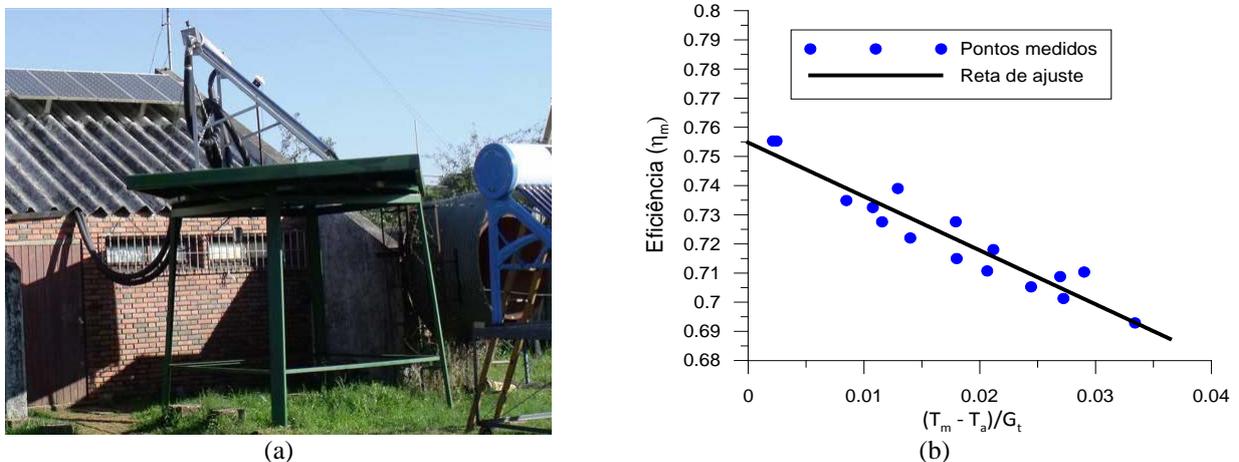


Figura 6 – (a) Coletor solar de tubos a vácuo sendo ensaiado. (b) Curva de eficiência do coletor ensaiado.

## 6. CONCLUSÕES

Os dados obtidos com a bancada mostram que ela atende as especificações da norma brasileira, e permite que o ensaio dos coletores seja realizado conforme estabelecido. O movimento de rotação da bancada dá mais flexibilidade para realizar ensaios com diferentes medidas de radiação de maneira rápida e eficiente, permitindo a obtenção de dados em diversos momentos do dia.

O sistema de acoplamento da bancada com os coletores permite uma troca rápida de coletores, bem como a montagem simultânea de dois coletores, podendo ser ensaiado apenas um, ou um par de coletores diferentes e inclusive de tecnologias diferentes. Por exemplo, é possível comparar um coletor de tubo evacuado com um coletor plano com cobertura, obtendo assim diferenças de comportamento entre os mesmos e também para se obter as suas curvas de desempenho sob as mesmas condições.

As medições de temperatura se mostraram muito satisfatórias, obtendo resultados conforme a norma determina devido ao circuito composto de fonte e ponte de Kelvin modificada. Esta apresentou um resultado satisfatório e de acordo com o esperado para a faixa de operação a que se destina. Após a realização dos ensaios de calibração e análise da propagação de erros, foi possível determinar que o conjunto de circuito e sensores atende às especificações da norma brasileira NBR 15747-2, permitindo medições de diferenças de temperatura com uma incerteza inferior a 0,05°C. Portanto, o mesmo é adequado para as medições diferenciais de temperatura entre a entrada e a saída do coletor para os intervalos de temperatura considerados na calibração. A calibração foi efetuada dentro da faixa de operação da maioria dos coletores solares térmicos e dentro da faixa de operação dos ensaios de desempenho térmico.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem o apoio financeiro em auxílio à pesquisa e em bolsas por parte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq). O LABSOL é um laboratório associado ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT - EREEA).

## REFERÊNCIAS

- ABNT, 2009. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15747-2 - Sistemas Solares Térmicos e Seus Componentes - Coletores Solares Parte 2 - Métodos de Ensaio, Rio de Janeiro.
- ABNT, 1988. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10184 - Coletores Solares planos para líquidos - Determinação do rendimento térmico.
- Bestenlehner D., Drück H., Fischer S., Müller-Steinhagen H., 2009. Complete Test Facility For Solar Thermal Collectors And Systems. RIO 9 - World Climate & Energy Event.
- Cardoso, I. A., Rosa, F. N., Manea, T. F., Krenzinger, A., 2011. Comparação de parâmetros de desempenho entre tubos de coletores solares tubulares a vácuo, X CIBEM - 10º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Porto.
- IEC, 1995. International Electrotechnical Commission. IEC 60751 - Industrial Platinum Resistance Thermometer Sensors. Genebra.
- Jones E. B., 1985. Instrument Technology, Vol.2: Measure temperature and chemical composition, 4ª edição, Butterworths, London.
- Manea T. F., Rosa F., Perin A., Krenzinger A., 2011. Dispositivo para Medir o Diferencial de Temperatura em Coletores Solares para Aquecimento de Água, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 15, p. 08.61 - 08.66.
- Manea T. F., 2012. Determinação experimental dos parâmetros de desempenho térmico de um coletor solar de tubos de vidro a vácuo, Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Marroquin, A. I., 1989. Relação Custo Benefício para Coletores Solares Planos e Parâmetros de Opção. Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Napolini, Helena F., Rüther, R. 2011. Redução da demanda no horário de ponta proporcionada pelo preaquecimento solar da água para o banho, Revista Brasileira de Energia Solar, a. 2, v. II, n. 2, p. 138-148, 2011.
- Rosa, F. N., Manea, T. F., Perin, A. L. & Krenzinger, A., 2011. Projeto e montagem de uma bancada de testes para coletores solares no LABSOL-UFRGS, ASADES - XXXIV Reunión de Trabajo de Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, San Diego Del Estero.
- Souto W., Riffel D., Belo F., 2010. Sistema automatizado de testes de coletor solar plano. III Congresso Brasileiro de Energia Solar.
- Zilles, R., 1988. Comparação Experimental de Testes de Coletores Solares com Simulador e com Radiação Solar. Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.

## **DEVELOPMENT OF A SYSTEM TESTS AND COMPARISONS OF SOLAR COLLECTORS FOR WATER HEATING**

**Abstract:** *For a better use of water heating solar collectors it is necessary to know its potential through tests of efficiency and determination of its operating characteristics. For these tests, facilities are needed to enable testing of different types of collectors on the market as well as these facilities need to meet the current standards for the appropriate tests and comparisons. In the recent years, some standards have changed in Brazil, and older facilities were outdated, requiring the modification or construction of new facilities for testing purposes. This article discusses the design and construction of a facility for testing of these collectors in accordance with the new standard in use in Brazil. This standard, NBR 15747-2, provides high accuracy in temperature measurements for testing of water heating solar collectors. To meet this specification it was necessary to study design, testing, assembling and calibration of a device for measuring the differential temperature between inlet and outlet of the working fluid in the solar collectors with the accuracy specified. This device comprises a Kelvin bridge circuit using a high precision platinum sensor and is powered by a source of high stability. This paper describes the development of this bench and its instrumentation for a complete tests and comparisons system of water heating solar collectors to meet the Brazilian standard in use as well as perform other types of comparative testing.*

**Key words:** *solar collector, Kelvin Bridge, test bench.*