

# SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA UTILIZANDO TUBOS ABSORVEDORES DE PEAD

**Luiz Guilherme Meira de Souza** – lguilherme@dem.ufrn.br

**José Ubiragi de Lima Mendes** – ubiragi@ct.ufrn.br

**Eduardo José Cidade Cavalcanti** – e-mail

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica

**Márcio Rodrigues Gomes** – marciogomes@ifba.edu.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Santo Amaro

**Roberto Silva de Souza** – robertosilva@ifrn.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Central

**Alexandre Boleira Lopo** – alexandrelopo@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Física

## 2- Conversão Térmica da Energia Solar

**Resumo.** Estudou-se a viabilidades de utilização de um sistema de aquecimento solar de água (SAS) de baixo custo. O coletor é composto por 12 tubos de PEAD (polietileno de alta densidade) preto, apoiados sobre quatro telhas de fibrocimento de 2,44m x 0,50m, sobrepostas duas a duas e intercaladas por um recheio de lã de vidro, perfazendo uma área exposta à radiação global incidente de 2,44m<sup>2</sup>, com as duas telhas de cima pintadas de preto fosco. O custo total desses SAS ficou em torno de R\$ 150,00. O regime de funcionamento do coletor foi termosifão. O estudo demonstrou que o sistema proposto tem boa eficiência térmica, é de fácil instalação e manuseio e, tem baixo custo em relação aos convencionais. O SAS apresenta viabilidade de utilização para o fim proposto, aquecimento de água para uma família de quatro pessoas para um banho diário.

**Palavras-chave:** Energia solar, Coletor solar, Aquecedor solar, Baixo custo.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2007, 45 % do consumo de energia elétrica no Brasil é direcionado para o setor de edificações, sendo 80,0 % correspondente a empresas e residências e 20 % a administração pública, com cifras alcançando 13,8 % do Produto Interno Bruto do país. O setor residencial responde por 23 % do consumo nacional de energia e o consumo do chuveiro elétrico é o segundo maior em uma residência, correspondendo a 25%, perdendo apenas para o refrigerador/freezer que corresponde a 30 %. Sua utilização atinge o horário de pico das 18:00 às 19:00 horas, correspondendo a 8,5 % da demanda nacional de energia neste horário (**Lopo, 2010**).

Estes dados apontam a importância das energias alternativas para o aquecimento de água destinada ao banho em substituição aos chuveiros elétricos para propiciar a diminuição do consumo de energia elétrica, trazendo alívio à matriz energética brasileira.

Preocupado com a situação econômica das famílias brasileiras que têm renda entre um e três salários mínimos, e que têm gasto significativo com a utilização do chuveiro elétrico resolveu-se estudar um sistema solar de aquecimento de água alternativo, visando à redução do gasto doméstico com energia elétrica.

Numa experiência de sucesso, implementada pelo governo de Minas Gerais através do Programa Lares Habitação Popular (PLHP), comprovou-se uma redução do consumo de energia elétrica entre 30% e 40%. Esse é o percentual aproximado da economia que a instalação do aquecedor solar proporciona a uma família de quatro pessoas, dois adultos e duas crianças, moradora de um conjunto habitacional do PLHP.

Em dinheiro, a economia mensal pode chegar a até R\$ 80,00, e a família beneficiada pode usar esta economia em outras despesas domésticas, melhorando a sua qualidade de vida na alimentação, compra de material escolar, vestuário, no pagamento da prestação da casa e até na aquisição de aparelhos eletroeletrônicos.

Os dispositivos utilizados para a produção de água quente através da utilização da energia solar são os coletores que podem ser divididos em dois grupos: os planos e os alternativos, sendo os planos mais utilizados. Tais coletores geralmente são constituídos por tubos absorvedores de cobre, chapa absorvedora de cobre ou alumínio, cobertura de vidro e isolamento térmico de lã de vidro. A grade absorvedora é confeccionada na configuração em paralelo.

Os sistemas de aquecimento são geralmente constituídos por mais de um coletor, ligados geralmente em paralelo, trabalhando em regime de termosifão ou fluxo forçado, sendo a primeira opção a mais empregada; por um armazenador térmico geralmente de cobre ou inox e de tubos para a condução de calor, geralmente o CPVC. Tais sistemas são de preço ainda relativamente caro, não estando acessível à maioria da população. Para uma residência com quatro pessoas, o sistema fica acima de R\$ 2.000,00.

Esse trabalho apresenta as viabilidades térmica e econômica de um sistema de aquecimento solar de água que utiliza um coletor construído a partir da utilização de telhas de fibrocimento usadas em coberturas de residências e tubos absorvedores de PEAD. Esse coletor poderá ser usado no telhado de uma residência, proporcionando o aquecimento da água a ser consumida pelos seus habitantes. Apresenta-se também um reservatório térmico alternativo de menor custo que os reservatórios de cobre ou inox.

Utilizou-se um tambor de polietileno de 200 litros utilizado para depósito de água e/ou lixo, de custo equivalente a R\$ 50,00 como reservatório térmico para armazenamento de água quente. Tal reservatório não possuía isolamento térmico utilizado e não apresenta isolamento térmico. O sistema de aquecimento em estudo é destinado à obtenção de água quente destinada ao banho de uma família com quatro pessoas em substituição ao chuveiro elétrico.

## 2. ESTADO DA ARTE

O principal objetivo do estudo de coletores alternativos é a redução do custo de fabricação, buscando a socialização do seu uso em sistemas de aquecimento de água doméstico e industrial.

Com este objetivo, vários trabalhos foram desenvolvidos, demonstrando que os coletores solares plásticos de baixo custo têm sido estudados desde os anos 70.

Os aquecedores solares domésticos de água (SDHW - solar domestic hot water) são largamente utilizados atualmente para a produção de energia térmica solar a baixas temperaturas. Estes tipos de coletores têm sido objeto de numerosos estudos e pesquisas desde 1950. A seguir serão apresentados alguns recentes trabalhos com coletores alternativos realizados no Brasil.

Javier (2008) determinou a eficiência de dois coletores, um convencional e outro com materiais alternativos abundantes na sua região. Avaliou-se o desempenho utilizando um simulador solar e depois em condições reais de operação. Demonstrou que o coletor com materiais alternativos funciona tão bem quanto um coletor construído com materiais convencionais.

Neto *et al* (2008) apresentou análises técnicas e econômicas, para dois coletores solares não convencionais de plástico e quatro coletores convencionais. Os dados desses coletores foram obtidos de seus fabricantes e utilizados nas análises técnicas e econômicas. Foi fabricado um coletor não convencional para testes no laboratório. Um dos coletores de plástico apresentou índices econômicos compatíveis com um coletor convencional. Foram relacionadas neste trabalho três variáveis: a produção mensal específica de energia, a durabilidade e o custo inicial dos coletores.

Fasulo *et al* (2008) estudaram as vantagens e limitações que possuem o policarbonato celular. Concluíram que este material não está apto para trabalhar em contato permanente com a água. Os resultados mostraram que o material mantém suas propriedades dentro das 500 horas de exposição.

Santos (2008) construiu um coletor alternativo utilizando garrafas pet, latas de cervejas e refrigerantes e tubos de PVC de ½". A grade absorvedora era formada por oito tubos de PVC, ligados através de conexões T do mesmo material e diâmetro. No interior das unidades aquecedoras em número de 48, formadas por duas garrafas pet, com o tubo no interior, foram colocadas duas aletas, fabricadas com as latas de cerveja e refrigerantes, envolvendo o tubo para aumentar a área de absorção da radiação solar. Os resultados Demonstrou que tal coletor alternativo apresenta viabilidade térmica, econômica e de materiais.

Reis (2009) estudou um sistema para aquecimento de água destinada ao banho cujos resultados foram satisfatórios. O sistema tinha como principal característica seu baixo custo. O coletor consistia de cinco placas de forro de PVC de 10 mm de espessura, 200 mm de largura e 1400 mm de comprimento com área correspondente a 1,40 m<sup>2</sup>.

Abreu (2009) estudou um coletor alternativo de cobertura transparente plana de 3,0 mm de espessura; a chapa absorvedora é uma chapa de alumínio de 0,5 mm ondulada com oito aletas: a grade absorvedora é formada por oito tubos de PVC com diâmetro externo de 20 mm, ligados em paralelo através de joelhos e conexões em "T" do mesmo material e mesmo diâmetro e isolante térmico composto de raspa pneu, com caixa do coletor construída em compensado de 15 mm de espessura que apresentou resultado satisfatório para banho de famílias composta de quatro pessoas.

Lopo (2010) estudou um sistema de aquecimento solar de água para banho para uma família com quatro pessoas cuja grade absorvedora era formada por tubos de PVC ligados em paralelo através de conexões do mesmo material. Foram estudadas várias configurações para o coletor, para dois volumes do reservatório térmico armazenador da água aquecida pelo sistema. Avaliou-se a contribuição de aletas absorvedoras fabricadas com latas de cervejas e refrigerantes acopladas aos tubos absorvedores. O sistema de baixíssimo custo mostrou-se capaz de promover o aquecimento de água para o fim desejado.

Gonçalves (2010) estudou um sistema de aquecimento solar para piscina em duas configurações: com e sem cobertura transparente. O sistema para duas configurações trabalhava em regime de fluxo forçado com apenas uma passagem de água no interior da serpentina absorvedora, formada por tubos de PEAD enrolados. A configuração sem cobertura mostrou-se a mais viável considerando-se parâmetros térmicos e econômicos.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 SAS (sistema de aquecimento solar)

O SAS (sistema de aquecimento solar) é composto por um coletor, formado por uma grade absorvedora com tubos de PEAD em paralelo e um reservatório para armazenamento de água quente. A grade absorvedora tem doze tubos de

PEAD, pretos de fabricação, de 25mm de diâmetro externo, em paralelo, interligados por tês de PVC de mesmo diâmetro, pintados de preto fosco, conforme Figura 1.



Figura 1. Detalhe das conexões dos tubos de PEAD com os T(tês) de PVC pintados de preto.

A grade absorvedora é apoiada em uma placa absorvedora constituída por duas telhas de fibrocimento, com uma área (A) para captação de radiação solar incidente de 2,44 m<sup>2</sup>. Pode-se observar também que esse coletor não possui a tampa de vidro para gerar o efeito estufa.

A escolha da telha de fibrocimento como placa absorvedora se deu pelo fato da mesma ser ondulada, o que aumentaria a superfície de contato com os tubos da grade absorvedora e diminuiria a troca térmica por convecção, já que os tubos estão dispostos nas depressões das ondulações das telhas.

Outra característica importante dessa placa é o isolamento térmico entre a placa superior e a inferior, à base de lã de vidro, conforme mostrado na Figura 2, para minimizar as perdas térmicas pela parte de baixo do coletor.



Figura 2. Detalhes do isolamento térmico do coletor.

### 3.2 Etapas de fabricação e montagem do SAS

**Escolha do local.** Onde ocorre maior incidência de radiação solar durante o maior tempo possível.

**Suporte do coletor.** Corte dos tubos de alumínio para confecção dos suportes; montagem do suporte (Figura 3) com inclinação de aproximadamente 22° com a horizontal.

**Placa absorvedora.** Telhas de fibrocimento com isolante térmico a base de lã de vidro, disposto entre elas, tendo sua telha superior pintada com tinta preto fosco, resistente às intempéries.

**Formação da Grade Absorvedora.** Os tubos de PEAD são cortados com as seguintes especificações: 12 tubos de 2,4 m cada, para formação da grade absorvedora (Figura 4); 1 tubo de 3,0 m, para fazer a conexão de entrada de água no coletor; 1 tubo de 1,5 m, para conexão de saída de água quente do coletor (Figura 5). Conectar os tubos de PEAD com os tês, curvas e joelhos de PVC, utilizando cola epóxi (Figura 6). Teste de vedação da grade absorvedora. Pintar as conexões de PVC (T, curvas e joelhos) com tinta preta fosca, resistente às intempéries (Figura 7).



Figura 3. Detalhes da montagem do suporte em alumínio.



Figura 4. Detalhe dos 12 tubos de PEAD da grade absorvedora.



Figura 5. Detalhe das conexões na parte inferior do coletor.



Figura 6. Detalhes das conexões na parte superior do coletor.



Figura 7. Detalhe das conexões de PVC pintadas de preto fosco.

### 3.3 O reservatório

O reservatório de água quente foi constituído de um tambor de polietileno azul, sem isolamento térmico, e tem capacidade para 200 litros, conforme Figura 8. Foi aberto na parte superior através de uma tampa que encaixa perfeitamente no tambor, na qual existe um suspiro para entrada e saída de ar.



Figura 8. Tambor de PE para armazenamento de água quente.

### 3.4 Etapas de fabricação e montagem do reservatório

- Fazer quatro furos no tambor e colocar os adaptadores de PVC: um para entrada de água fria da rua; um para entrada de água quente proveniente do coletor; um para saída de água para o coletor; um para saída de água quente para banho;
- Colocar uma bóia na entrada de água da rua para controlar o nível de água no reservatório;
- Colocar um tubo, da bóia até o fundo do reservatório, para que a água fria entre direto no fundo do reservatório, diminuindo o efeito convectivo no interior do reservatório, devido à diferença de densidade;
- Instalar uma mangueira flexível, por dentro do reservatório, na conexão de saída de água para banho, que fica a 1/3 da altura do tambor, a partir da sua base; prender na outra extremidade uma garrafinha de água mineral vazia e fechada, para garantir que a captação de água quente seja sempre da superfície, o que garantirá que a água que está saindo para o banho tenha a maior temperatura possível;
- Instalar uma válvula solenóide na saída de água para banho, ligada a um programador de horário, o qual comandará a abertura da válvula nos horários pré-determinados: 6:00 h, 7:00 h, 19:00 h e 20:00 h;
- Executar um furo na tampa do reservatório para funcionar como respiro;
- Encher o reservatório e testar sua estanqueidade.

### 3.5 Detalhes de coleta de dados

O sistema de aquecimento proposto funciona em regime de termossifão, para um volume de água correspondente a 200 litros e foi ensaiado para o diagnóstico de sua eficiência térmica, sendo levantados os parâmetros que o caracterizam e são necessários para a análise do seu desempenho térmico (Duffie, 1991, Souza, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007), bem como o processo de degradação térmica e foto-oxidativa do PEAD (Tigre S/A Tubos e Conexões – Joinville/SC). O coletor foi inclinado de 22,0°S em função da latitude do local, no caso, Santo Amaro correspondente a 12,0°S.

Foram medidas as temperatura de entrada e saída do fluido do coletor, a temperatura da água contida no reservatório, temperatura ambiente e radiação solar global. Foi também medido o tempo necessário para a uniformização da temperatura da massa fluídica no reservatório térmico.

As temperaturas de entrada e saída do fluido foram medidas no período entre 08:00 e 15:00 horas, em intervalos de 30 minutos; as temperaturas do coletor e tubos absorvedores foram medidas de 30 em 30 minutos entre 11:00 e 13:00 horas, período de radiação máxima e constante, onde avalia-se a perda máxima apresentada pelo coletor; a temperatura da massa fluídica foi medida após as sete horas de funcionamento. As temperaturas foram medidas com termopares tipo K (cromel-alumel) acoplados a dois termômetros digitais. Os ensaios foram realizados em dias consecutivos, todos com bons índices de radiação e baixa nebulosidade.

As medições de temperatura foram realizadas utilizando-se termopares do tipo K(cromel-alumel), instalados em locais estratégicos, conforme descrição abaixo e como mostram as Figuras 9 e 10.

Os termopares foram assim designados:

- TP 1** - Termopar que irá medir a temperatura da água fria que entra na grade absorvedora.
- TP 2** - Termopar que irá medir a temperatura da água no meio da grade absorvedora.
- TP 3** - Termopar que irá medir a temperatura na superfície superior da telha (placa absorvedora).
- TP 4** - Termopar que irá medir a temperatura na superfície inferior da telha (placa absorvedora), após o isolamento térmico.
- TP 5** - Termopar que irá medir a temperatura da água que sairá para banho, captada da parte superior do reservatório.
- TP 6** - Termopar que irá medir a temperatura da água no fundo do reservatório.
- TP 7** - Termopar que irá medir a temperatura da água quente na saída da grade absorvedora.
- TP 8** - Termopar que irá medir a temperatura ambiente próxima ao coletor.
- VS** - Válvula solenóide que será ativada por um programador de horário, simulando a utilização de água quente para banho, nos seguintes horários: 6:00h, 7:00h, 19:00h e 20:00h. Cada ativação da válvula levará 1 minuto, a uma vazão de 34,8 litros/minuto, ou seja, a cada abertura serão liberados 34,8 litros de água.



Figura 9. Detalhes da instalação dos termopares

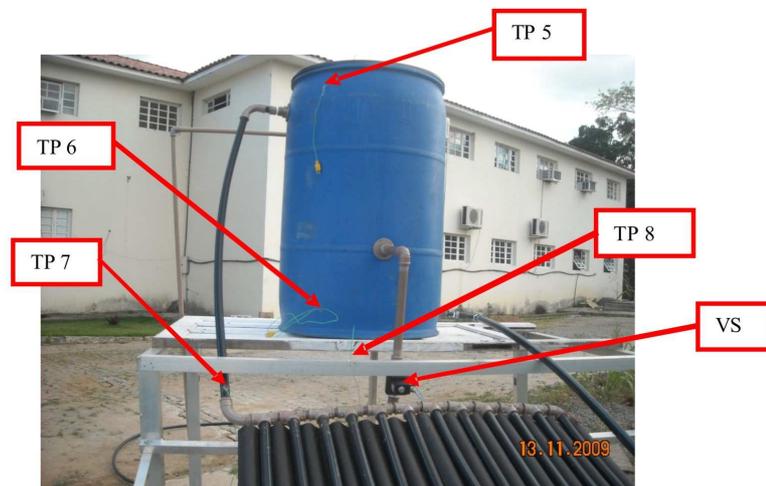


Figura 10. Detalhes da instalação dos termopares e da válvula solenóide.

Os termopares foram ligados em dois termômetros digitais, tipo *dataloggers*, que fizeram a leitura e o registro das temperaturas durante seis dias consecutivos, de meia em meia hora.

Os parâmetros que melhor caracterizam a eficiência térmica de um coletor solar são a *rendimento térmico*, a *potência perdida* e o *coeficiente global de perdas*.

### 3.5 Coeficiente global de perdas

O coeficiente global de perda pode ser determinado indiretamente através do conhecimento dos parâmetros potência absorvida pelo coletor ( $P_{abs.}$ ), potência transferida ao fluido de trabalho ( $P_u$ ), temperatura média de placa ( $T_{pm}$ ) e temperatura ambiente ( $T_a$ ), da área do coletor ( $A$ ), da vazão mássica ( $\dot{m}$ ), do calor específico do fluido ( $c_p$ ) e da diferença de temperatura do fluido obtida no sistema ( $\Delta T$ ), conforme as equações (1) a (4).

$$P_{abs} = \tau_v \cdot \alpha_p \cdot I \cdot A \quad (1)$$

$$P_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$P_p = P_{abs} - P_u \quad (3)$$

$$U_{loss} = \frac{P_p}{A \cdot (T_{pm} - T_a)} \quad (4)$$

### 3.6 Determinação do rendimento térmico

O rendimento térmico do coletor solar estudado pode ser calculado utilizando-se a equação abaixo apresentada.

$$\eta_t = \frac{P_u}{A \cdot I} \quad (5)$$

Onde:

$P_u$  = potência total útil transferida ao fluido de trabalho, em kW.

$I$  = radiação solar global, em kW/m<sup>2</sup>.

$A$  = área do coletor (área exposta à radiação solar), em m<sup>2</sup>.

$\dot{m}$  = vazão mássica, em kg/s.

$c_p$  = calor específico da água, em KJ/kg °C.

$\Delta T$  = gradiente de temperatura entre entrada e saída do fluido, em °C.

$\tau_p$  = Transmissividade da cobertura

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra os resultados médios gerais obtidos para seis dias de testes realizados com o sistema de aquecimento proposto.

Tabela 1. Resumo dos dados do coletor no período de 13 a 18/01/2010.

<b>TEMPO (HORA)</b>	<b><math>T_{ec}</math> (°C)</b>	<b><math>T_{sc}</math> (°C)</b>	<b><math>\Delta T</math> (°C)</b>	<b><math>I</math> (KW/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\eta_t</math> (%)</b>
8:00 – 9:00	29,6	35,8	6,2	0,23	37,0
9:00 – 10:00	32,5	41,4	8,8	0,34	36,0
10:00 – 11:00	34,6	42,3	7,8	0,48	22,5
11:00 – 12:00	36,0	44,5	8,4	0,59	19,8
12:00 – 13:00	35,0	44,6	9,6	0,66	20,4
13:00 – 14:00	36,5	45,7	9,2	0,80	16,1
14:00 – 15:00	34,6	44,1	9,5	0,73	18,2
<b>MÉDIA</b>			<b>8,9</b>	<b>0,55</b>	<b>24,3</b>

A eficiência média do coletor para essa configuração ficou em torno de 24%, um pouco abaixo da maioria dos coletores alternativos, com eficiência térmica em torno de 30 a 35%.

Com relação aos níveis de temperatura na massa de água aquecida percebeu-se que houve uma significativa uniformização, e os níveis atingidos foram superiores à temperatura requerida para o banho.

Apesar dos significativos níveis de temperatura e da relativa uniformidade da massa fluídica, esses parâmetros podem ser otimizados isolando-se termicamente o reservatório e, o tubo que liga a saída do coletor ao reservatório (Figura 3.11). A falta desses isolamentos gerou uma perda térmica de, aproximadamente, 18% em relação à saída do coletor.

No que diz respeito à temperatura da placa absorvedora, para o cálculo da energia perdida pelo coletor, foram realizadas várias medições de temperatura para a determinação da sua temperatura média.

O valor médio encontrado para esse parâmetro correspondeu a 43,1°C. Foram medidas, também, as temperaturas da superfície da telha inferior do coletor. O gráfico da Figura 11 mostra o comportamento assumido pelas temperaturas das telhas superior e inferior e da ambiente.

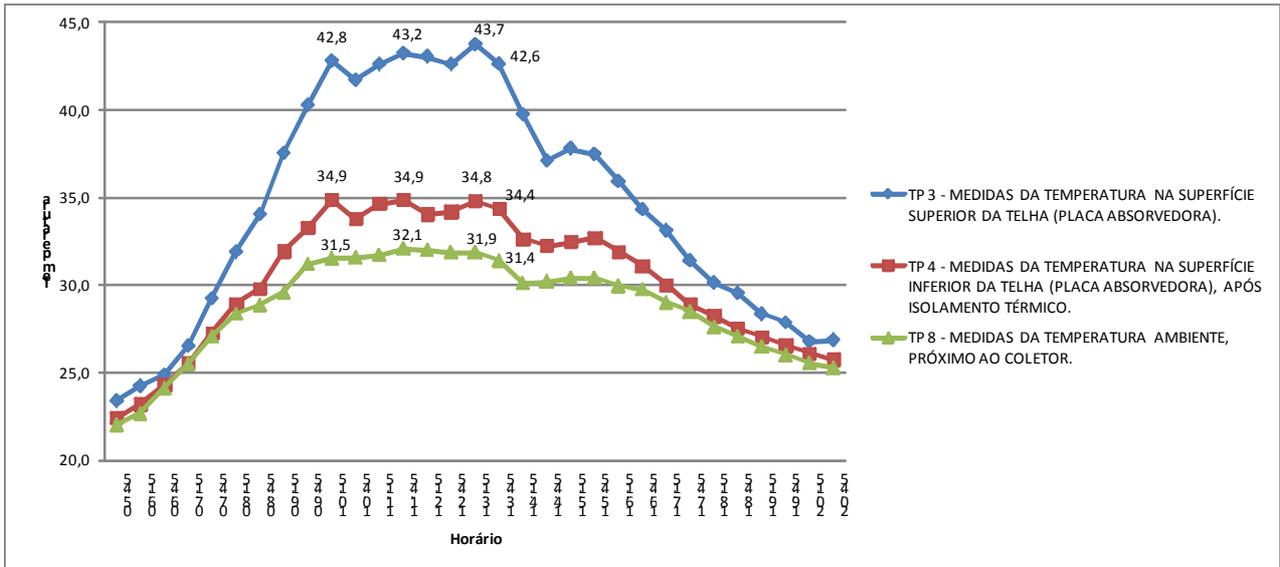


Figura 11. Comparação das médias das temperaturas nas superfícies superior e inferior da placa absorvedora entre os dias 13/01/2010 e 18/01/2010.

Uma vez que as temperaturas médias das telhas superior e inferior corresponderam a 43,1 e 33,1°C percebeu-se a significativa eficiência propiciada pelo isolante térmico utilizado, que se reflete pelo pequeno gradiente de temperatura entre a superfície da telha inferior e o ambiente.

A perda térmica do sistema pode ser avaliada calculando-se as potências absorvidas, útil e perdida, cujos valores são mostrados na Tabela 2. Os valores dos parâmetros utilizados para a determinação do coeficiente global de perda térmica foram medidos no intervalo entre 11:30h e 12:30h, período de radiação constante, em um dia de apropriadas condições solarimétricas.

Tabela 2. Parâmetros térmicos.

PARÂMETRO	VALOR OBTIDO
$P_{abs}$	1050,24 Watts
$P_u$	461,47 Watts
$P_p$	588,77 Watts
$U_{loss}$	19,94 W/m <sup>2</sup> .°C

A perda térmica do coletor correspondeu a 56,1% em relação à energia absorvida, enquanto que a potência útil correspondeu a 43,9%. Esse valor de perda térmica é significativo, porém não inviabilizou a obtenção de água quente para banho para famílias de baixa renda. O valor do  $U_{loss}$  foi muito superior ao obtido para os coletores convencionais, o que já era esperado.

A Tabela 3 apresenta os valores dos níveis de temperatura da água no reservatório térmico, para os dias de ensaios.

Tabela 3. Média dos dados coletados do reservatório entre os dias 13/01 e 18/01/10.

TEMPO (HORA)	$T_{em\ cima}$ (°C)	$T_{em\ baixo}$ (°C)	$\Delta T$ (°C)	$I$ (KW/m <sup>2</sup> )	$T_{ambiente}$ (°C)
8:00 – 9:00	29,5	27,3	2,1	0,23	28,6
9:00 – 10:00	32,8	28,1	4,7	0,34	30,2
10:00 – 11:00	35,3	29,1	6,2	0,48	31,2
11:00 – 12:00	38,9	30,5	8,4	0,59	31,8
12:00 – 13:00	40,6	31,5	9,2	0,66	31,5
13:00 – 14:00	43,3	33,0	10,3	0,80	31,5
14:00 – 15:00	41,4	33,4	8,0	0,73	29,9
<b>MÉDIA</b>			<b>7,0</b>	<b>0,55</b>	<b>30,7</b>

No ponto de coleta da água para banho, que é captada da parte de cima do reservatório, durante todos os dias ensaiados o sistema foi capaz de propiciar níveis de temperatura superiores aos ideais para essa operação,

Apesar do tambor não possuir isolamento térmico, o sistema teve autonomia para um dia, sendo que no dia seguinte pela manhã a temperatura tende a cair para cerca de 30°C, abaixo da temperatura de banho, que é em torno de 34°C.

A opção pela não utilização do isolamento térmico se deu na tentativa de construir um coletor com o menor custo possível. Porém, chegou-se à conclusão que será necessário isolar termicamente o reservatório, para conceder ao sistema uma maior autonomia.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base nos objetivos definidos serão apresentadas as conclusões a seguir, bem como algumas sugestões para possíveis trabalhos futuros, de modo a torná-los mais eficientes e competitivos com demais tipos de coletores.

- O sistema solar de aquecimento estudado demonstrou-se viável para o aquecimento residencial de água destinada ao banho, para uma família de quatro pessoas;
- Para a obtenção de uma autonomia superior a um banho diário é necessária a colocação de isolamento térmico no tambor ou utilizar outro módulo de coletor em série ou paralelo, o que não representaria um custo adicional significativo, uma vez que o custo de fabricação do coletor é reduzido se comparado a outros coletores convencionais ou até mesmo alternativos utilizados para o fim proposto;
- A característica mais importante do sistema de aquecimento proposto é seu baixo custo em torno de R\$ 150,00;
- A perda térmica do coletor estudado é mais alta que a relativa aos coletores convencionais, como já era esperado;
- O sistema de aquecimento estudado pode contribuir para massificar o uso do aquecimento solar de água em comunidades de baixa renda, socializando o uso da energia;
- O coletor proposto apresenta as mais simples configuração para um sistema de aquecimento solar de água, podendo ser facilmente confeccionado por usuários de quaisquer níveis culturais;
- É necessário isolar termicamente o reservatório de água quente para diminuir sua perda térmica e conceder ao sistema autonomia para mais de um banho diário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, Rivaldo Ferreira, Estudo Térmico de um Sistema Solar de Aquecimento de Água Residencial para duas Configurações de Superfície Absorvedora, 2009. 71 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRN, Natal.
- DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, II edition, New York, John & Sons, 757 p.,1991.
- FASULO, A, et al. El uso del policarbonato em dispositivos solares. XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energia Solar, Vigo, Galicia, España, 2008.
- GONÇALVES, J., N., A. B., Análise da eficiência de aquecedor solar espiral para piscinas com e sem efeito estufa, 2010, Dissertação de Mestrado do PPGEM – UFRN, Natal, RN.
- JAVIER, F.F.R. Evaluación de La performance de diferentes colectores solares de placa plana usando um simulador solar, construídos com materiais no convencionales. XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energia Solar, Vigo, Galicia , España, 2008.
- LOPO, A. B., Análise do Desempenho Térmico de um Sistema de Aquecimento Solar de baixo custo, 2010, . Dissertação de Mestrado do PPGEM – UFRN, Natal, RN.
- NETO, J.H.M., et al. Análise técnica e econômica de coletores solares de baixo custo e convencionais utilizados para aquecimento de água de banho, CEBENS – ISES –CLA. II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Latino-Americana da ISES, Florianópolis/SC - 2008.
- REIS, Edmilson Pedreira dos, Análise do Desempenho Térmico de um Sistema de Aquecimento Solar utilizando coletor com Superfície Absorvedora em Chapas de Forro de PVC, 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- SOUZA, L.G.M., Alternative solar energy water heating system, COBEM 2007 – Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, Brasília- 2007.
- SOUZA, L.G.M., Análise comparativa entre coletor solar plano convencional e coletor solar alternativo composto por múltiplos tubos de PVC, IV CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém - PA, 2004.
- SOUZA, L.G.M., BEZERRA, J.M., Sistema Alternativo de Aquecimento Solar, CONEM – CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, Natal, 2000.
- SOUZA, L.G.M., Coletor solar não convencional, de baixo custo, composto por múltiplos tubos absorvedores de PVC, IV CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Belém - PA, 2004.
- SOUZA, L.G.M., et al. Sistema de aquecimento solar utilizando elementos recicláveis, CEBENS – ISES –CLA. II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência LatinoAmericana da ISES, Florianópolis/SC - 2008.

- SOUZA, L.G.M., Gomes, U.U., Coletor Solar Aletado com Tubos de PVC formando um Novo Modelo de Configuração em Série, CONEM, João Pessoa/Pb, 2002.
- SOUZA, L.G.M., Gomes, U.U., Coletor Solar em Labirinto com Tubos Absorvedores de PVC, CONEM, João Pessoa/Pb, 2002.
- SOUZA, L.G.M., Gomes, U.U., Viabilidades térmica, econômica e de materiais da utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores de um sistema de aquecimento de água por energia solar, Tese de Doutorado do Programa de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais, UFRN, 2002.
- SOUZA, L.G.M., Reservatório térmico alternativo para uso em sistemas solares de aquecimento de água. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006
- SOUZA, L.G.M., Sistema de aquecimento solar de água para aplicações residenciais utilizando materiais alternativos, V CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Recife-Pe, 2006.

### **WATER SOLAR HEATING SYSTEM USING PEAD ABSORBER TUBES**

**Abstract.** *We studied the viability of using a system of Solar Water Heating (SAS) with low cost. The collector consists of 12 black HDPE pipe, supported on four tiles of fibro-cement 2,44 m x 0,50 m, two by two overlapping and interspersed with a filling of glass wool, comprising an area exposed to the global radiation incident 2.44 m<sup>2</sup>, with the top two tiles painted matte black. The total cost of SAS was around \$ 150.00. The system of operation was thermosyphon collector. The study showed that the proposed system has good thermal efficiency, it is easy to install and handle and has low cost compared to conventional. SAS presents feasibility of use for the end proposed, heating water for a family of four for a daily bath*

**Keywords:** solar energy, solar collector, solar heater, low cost.