

O EMPREGO DE COLETOR SOLAR DE FUNIL COMO SISTEMA DE PRÉ AQUECIMENTO DE ÁGUA

Fernando Toniazzo - ftoniazzo@bol.com.br

Marcelo Ghizzi - ghizzi39@hotmail.com

Adelino Carlos Maccarini – maccarini@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Pato Branco

Alexandre Guetter - alexandreguetter@gmail.com

Universidade Federal do Paraná - UFPR

Resumo. O trabalho que se segue, tem a finalidade de estudar um sistema de pré aquecimento de água para caldeiras industriais tendo como fonte de aquecimento a energia solar. O sistema, desde seu projeto até sua criação (protótipo), foi baseado no coletor solar com formato afunilado, proposto por Jones et al. (1996). Do sistema original, foram realizadas algumas alterações, como por exemplo, o método de acumulação de energia térmica, materiais empregados, entre outros. A elaboração do coletor e dos concentradores solares foi efetuada com materiais específicos para melhor aproveitamento e isolamento térmico além de dispor de uma estrutura peculiar para segurança de operação. A qualificação do sistema e obtenção de dados pertinentes ao aquecimento de água foram obtidas a partir de equipamentos de medição como: termômetro digital (tipo espeto), termohigrômetro, anemômetro e medidor de radiação de energia solar. Os testes foram elaborados na cidade de Francisco Beltrão, no estado do Paraná.

Palavras-chave: Coletor Solar de Funil, Energia Solar, Aquecimento de Água.

1. INTRODUÇÃO

A demanda de energia nos dias atuais atinge um nível preocupante. O desperdício e consumo descontrolado bem como o consumo de energia per capita aumentam influenciados principalmente pelo crescimento da densidade demográfica, em que, quanto maior o número de pessoas numa certa região, maior será a necessidade energética para manutenção da qualidade de vida. Em termos gerais, a sociedade está habituada ao consumo dos combustíveis fósseis e muito dependente da geração hidrelétrica de energia. Porém, o custo dessa dependência está aumentando em níveis financeiros e principalmente em recursos ambientais.

Tundisi (1994) aborda que a sociedade moderna necessita de energia para sobreviver, muito mais que antigamente. Os países com menor índice de industrialização buscam seu desenvolvimento para proporcionar melhor padrão de vida à população, conseqüentemente ocasionando um aumento de consumo energético.

O sol brilha a cada dia, fornecendo para a Terra uma grande quantidade de energia, que se fosse utilizada de forma coerente, supriria as grandes demandas tanto residenciais como industriais.

A finalidade desse trabalho é obter dados sobre o coletor solar de funil e desfrutar do potencial térmico solar para pré-aquecimento de água.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As fontes utilizadas para geração de energia podem ser de origem renovável e não renovável. De acordo com AGENEAL (1999), as fontes de energias não renováveis, como por exemplo, o carvão, petróleo e gás natural, encontram-se limitadas na natureza e, uma vez esgotadas não poderão se regenerar. Em contrapartida, as fontes renováveis como, por exemplo, a energia solar, eólica, hidráulica, entre outras, não é possível de estabelecer um fim temporal à sua utilização. Em outras palavras são inesgotáveis, conhecidas como energia limpa, pois sua geração não emite poluentes.

2.1 Energia solar

Tundisi, (1994) cita que a energia solar é a energia irradiada pelo Sol sobre a Terra. Do total de energia enviada, boa parte é refletiva pela atmosfera - em torno de 60%. Do restante, 11% é refletida pelo solo, oceanos e cobertura vegetal, 16% é consumida pela evaporação contínua da água, 9% é absorvida pelo solo, 3% utilizada na fotossíntese de plantas terrestres e 1% na fotossíntese marinha. Todavia, complementa o autor, que somente 4% da energia solar que atinge a Terra é convertida em matéria orgânica na fotossíntese. Em outras palavras, a energia absorvida pelas plantas é armazenada sob a forma de carboidratos e outros tecidos vegetais.

A energia solar que incide constantemente sobre a Terra representa um potencial energético que, conforme Mourão (2000), a cada minuto é suficiente para atender as necessidades energéticas da civilização mundial durante um ano inteiro. Complementa o autor que cada metro quadrado da superfície terrestre posicionada ortogonalmente em relação ao sol, recebe aproximadamente 1000 watts de radiação solar em um dia claro. Segundo Cometta (1978), se for considerado o potencial total de energia solar que a Terra recebe, anualmente chegam 10^{18} kWh.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Baseando-se no método de aquecimento solar proposto por Jones *et al.* (1996), o qual idealizou um sistema de coletor solar designado “coletor solar de funil” para preparo de alimentos, aqui será utilizado para pré aquecimento de água, no qual um sistema peculiar será elaborado.

Por sua vez, o princípio de funcionamento de um coletor solar de funil (Fig. 1), se resume na captação de radiação solar, refletida e concentrada ao centro, com sua face interna espelhada (aço inoxidável). A região de captação dos raios solares foi fabricada de material com superfície negra e boa condutibilidade térmica, devidamente isolada para formação do efeito estufa, transferindo o calor para algum fluido em seu interior, aquecendo-o continuamente por convecção natural (efeito termossifão).



Figura 1 – Coletor solar de funil, com detalhes de seu interior (esquerda) e instalado para teste (direita).

Os testes do sistema de pré aquecimento proposto foram realizados no município de Francisco Beltrão (latitude $-26^{\circ} 03' 58.5''$, longitude $-53^{\circ} 03' 08.32''$ de altitude 570m). A região é de clima subtropical (cfa), possui invernos amenos (maiores que -3°C), verões quentes (maiores que 22°C), insolação anual de 2352 horas e média anual de radiação solar de $2,30\text{ kWh/m}^2$ (Iapar, 2011).

As medições de temperatura foram efetuadas com um termômetro digital da marca Incoterm de escala $-50/150^{\circ}\text{C}$ com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ e resolução $0,1^{\circ}\text{C}$. As medições de radiação solar, temperatura do sol, umidade no local e velocidade do vento, foram obtidas com os respectivos instrumentos: Instruterm, modelo MES-100, Escala: 2000 W/m^2 , $634\text{ Btu}/(\text{ft}^2 \times \text{h})$; Instruterm, faixa de medição -30 até 70°C , precisão $\pm 1^{\circ}\text{C}$, Umidade: 20% a 99% ; Instruterm, modelo AD-250, escala 0.4 a 30.0 m/s , $< 20\text{ m/s}$: $\pm 3\%$ da escala cheia.

As medições foram obtidas por amostragem, em um período de até três horas, com coletas de cinco em cinco minutos e leitura do termômetro acoplado na tampa de vedação do reservatório de água. A quantidade de água empregada nos testes foi de três litros. Nos testes em que a quantidade de água empregada era de 23 litros, as coletas foram de 30 em 30 min.

A coleta de dados foi feita com a utilização de uma tabela elaborada para registros de campo. Nela continha alguns itens referentes à temperatura da água, do sol, umidade no local, valores de energia solar (Watt/m^2), velocidade do vento (m/s), condições do tempo, horário/tempos parciais, que facilitavam futuras leituras e comparativos com outros registros.

Os testes foram efetuados com o sistema definitivo, composto por um cone de aço inoxidável (dimensões de $2,50\text{ m}$ de largura, $1,25\text{ m}$ de altura e raio inferior de $0,5\text{ m}$). A área do bocal do coletor é de $0,5\text{ m}^2$. O procedimento foi separado em duas etapas: sistema fechado contendo um reservatório de três litros de água; sistema contínuo (termossifão) contendo um reservatório de 20 litros (Fig. 1).

O acumulador térmico foi revestido com vidro (com dimensões de $0,3\text{ m}$ de altura e base $0,3\text{ m} \times 0,28\text{ m}$) para provocar o efeito estufa. Os condutores internos de água, fabricados com tubos de cobre (bitola $5/8$ de polegadas) por onde passa a água a ser aquecida, foi deixado em forma de serpentina e pintados de preto fosco para melhor absorção de energia solar. Para aumentar a área de absorção solar e aumentar a taxa de transferência de energia, no centro da serpentina foi colocado um cilindro de chapa de aço, também pintado de preto fosco (Fig. 2).



Figura 2 - Acumulador 1 antes e depois da montagem.

Dispondo de todos esses acessórios, foi necessária a fabricação de uma estrutura em cantoneiras de aço de 15 mm, para sustentar o peso de todo o sistema, tanto do cone (funil), como também do reservatório receptor de raios solares localizado em seu centro. Sabendo que a posição do sol muda de acordo com as estações do ano, como também ao longo do dia, foi necessário elaborar um método que possibilitasse o movimento do cone e do acumulador para melhor aproveitamento da energia solar. Assim, foi utilizada uma barra circular de aço de 5 mm de diâmetro atravessando a parte inferior do cone. Esta barra possibilitou que o coletor ficasse suspenso entre dois suportes soldados na estrutura, com grau de liberdade rotacional. O suporte do acumulador foi fabricado com cantoneiras formando um quadro para fixar a barra que sustenta o cone, conforme a Fig. 3.



Figura 3 - Suporte do cone e do acumulador térmico.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos foram inseridos em uma planilha e em uma tabela modelo para anotações de dados. Os gráficos foram elaborados com base nas condições do tempo e quantidade de água empregada.

De todos os testes realizados, um deles teve destaque pela temperatura alcançada, conforme mostra a Fig. 4. Realizado no dia 18 de novembro de 2011, dispunha de três litros de água no sistema, média dos ventos de 0,5 m/s e radiação média de 1224 W/m².



Figura 4 - Gráfico de maior temperatura (3 litros).

Os resultados observados nesse teste mostraram-se muito significativos em relação à temperatura alcançada pela água (Fig. 5), pois chegou provocar sua ebulição.



Figura 5 - Interior do cone e detalhes do termômetro.

Dentre todas as medições efetuadas com relação à umidade relativa do ar, os resultados obtidos foram relativamente semelhantes. Conforme a temperatura local aumentava em função do tempo, a umidade relativa diminuía.

Em virtude da falta de insolação ocorrida nos primeiros testes, foram obtidos alguns valores que mesmo sendo baixos, demonstraram que com a radiação difusa (período nublado), o sistema mostrou sua funcionalidade.

Na última etapa, o coletor solar foi submetido a um teste diferente do anterior, empregando uma quantidade maior de água, correspondente a 23 litros (20 do reservatório, mais três do acumulador). O sistema proposto funcionou sob o efeito do fenômeno termossifão para fluxo de água entre o acumulador e o reservatório, o qual apresentou a característica mostrada na Fig. 6. Desta forma, pode-se em estudos posteriores, interpolar estes dados para saber qual será o aumento de temperatura para uma quantidade maior de água.

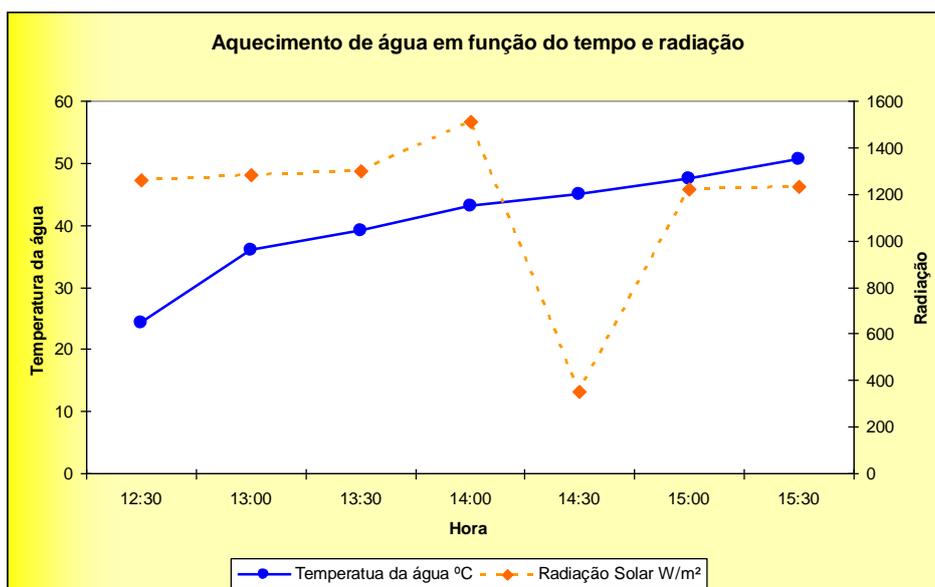


Figura 6 - Gráfico do teste com 23 litros.

4.1 Cálculo da eficiência (aproximada) do coletor solar de funil

O coletor solar de funil, com incidência solar média de 924 W/m^2 , aqueceu em três horas, 23 litros de água desde a temperatura inicial de $22 \text{ }^\circ\text{C}$, até os $52 \text{ }^\circ\text{C}$. Para as três horas utilizadas, a energia absorvida pelo coletor foi de $924 \cdot 3 = 2.772 \text{ Wh/m}^2$. Se o coletor ficasse o dia todo exposto ao sol, utilizando parâmetros da ANEEL (2000) na Fig. 7, no mês de novembro a incidência solar no Sul do Brasil foi em torno de 5.500 W/m^2 , incidiria sobre ele 2.728 Wh ($5.500 \cdot 2.772 = 2.728 \text{ Wh}$) a mais de energia (nas três horas monitoradas, incidiu sobre o coletor aproximadamente a metade da energia do dia).

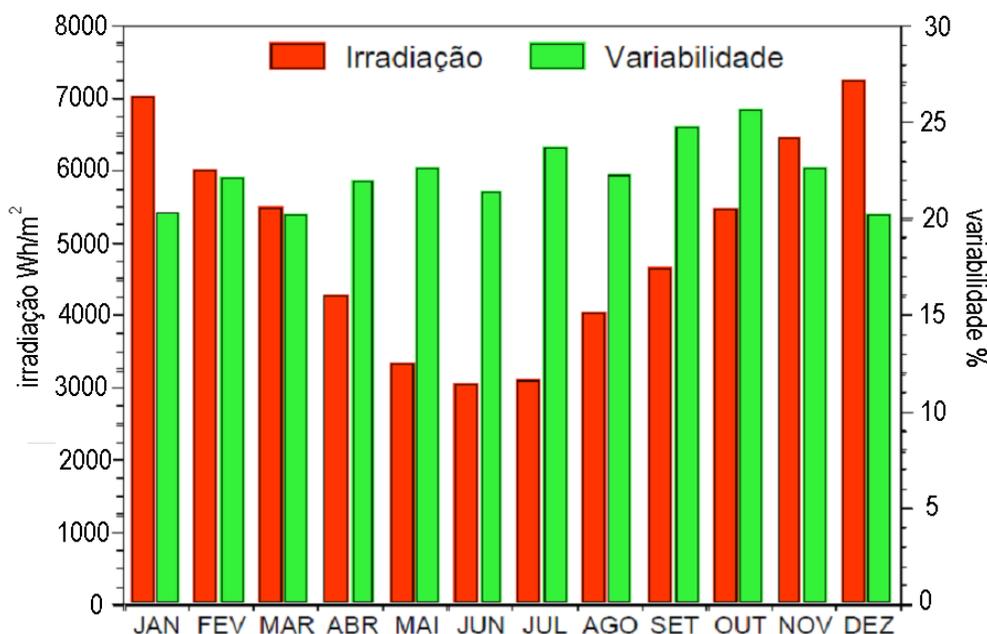


Figura 7 – Irradiação solar mensal na Região Sul do Brasil em Wh/m^2 .
Fonte: ANEEL 2000.

A sua eficiência é obtida pela quantidade de calor absorvida, dividida pela quantidade de calor incidente. A quantidade de calor absorvida por hora é dada pela equação:

$$Q_a/h = m \cdot C \cdot \Delta T / 3h \tag{1}$$

Onde:

Q_a = quantidade de calor absorvida pelo coletor, em joules;

m = massa de água em kg (neste caso, para fins de simplificação, foi utilizado 1 kg/dm³);

C = Calor específico da água em J/kg*°C;

ΔT = variação média da temperatura em K em três horas.

Fica então de acordo com a Eq. (1):

$$Q_a/h = 23\text{kg} * 4,18\text{kJ/kgK} * (273,15+52-(273,15+22))\text{K}/3\text{horas} = 961,4 \text{ kJ/h}$$

$$Q_a = 961,4 \text{ kJ.}$$

Sendo a área do coletor igual a 0,8 m² e a quantidade média de energia incidente por três horas foi de 924 Wh/m², a quantidade de calor incidente no coletor foi de $Q_i = 924 \text{ (Wh/m}^2) * 0,80 \text{ m}^2 = 739 \text{ Wh} = 2.660 \text{ kJ}$.

$$Q_i = 2.660 \text{ KJ}$$

Para o cálculo da eficiência do coletor se utilizou a Eq. (2):

$$\eta = 100 * Q_a / Q_i \quad (2)$$

Assim, a eficiência aproximada (grosso modo) do coletor solar de funil estudado, com dados coletados em um dia, ficou em torno de:

$$\eta = 961,4 \text{ kJ} / 2.660 \text{ kJ} = 36,1 \%$$

$$\eta = 36,1 \%$$

Esta eficiência poderá ser aumentada se forem aplicadas técnicas mais elaboradas para a coleta da energia solar, como por exemplo, a instalação de um vidro para formar o efeito estufa, trocadores de calor com formatos mais adequados, isolantes térmicos entre as paredes, entre outras técnicas. Fica aqui a proposta para estudos futuros.

4.2 Custos do coletor solar de funil

Para a fabricação do coletor se gastou em média de R\$ 665,00 conforme Tab. 1.

Tabela 1 – Custos detalhados para a fabricação do coletor solar de funil.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	VALOR (R\$)
Chapa inox (2,5mX1,25m)	01	230,00
Tubo flexível de cobre diâm.5/8 pol.	01	80,00
Placa de vidro	01	40,00
Reservatório de três litros	01	40,00
Barra de aço diâm. 5/8 pol.	01	35,00
Solda e maçarico	01	65,00
Chapa de aço aluminizada	01	5,00
Silicone	01	5,00
Tinta	01	10,00
Reservatório de 20 litros	01	20,00
Abraçadeiras	05	10,00
Mangueira diâm. 5/8 pol.	01	5,00
Torneira 1/2 pol.	01	20,00
Mão-de-obra	02	100,00
TOTAL		665,00

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista os testes realizados pelo protótipo, os resultados foram satisfatórios em relação ao aproveitamento de energia térmica solar e aquecimento de água, mesmo em dias nublados. Levando em consideração o experimento de Joule, o qual nos diz que para elevar de 13,5 °C a 14,5 °C a temperatura de um grama de água gasta-se 4,2 Joules, o pré-aquecimento de água pode resultar em uma economia de energia, pois o fato da água entrar no sistema já pré-aquecida, iria substituir uma quantidade parcial de outras energias ou combustíveis utilizados para esse pré-

aquecimento. Esta água pode ser utilizada tanto para fins domésticos, quanto para indústrias como, por exemplo, para caldeiras ou outros fins. Do restante, no caso industrial, seria necessário o emprego de combustível somente para alcançar a temperatura de ebulição a partir da temperatura de entrada (pré-aquecida).

Pode-se evidenciar ainda que a utilização desse processo é baseada num recurso natural abundante e não poluente, onde seu emprego não gera subprodutos que possam degradar o meio ambiente.

Por fim, percebeu-se que certas aplicações envolvendo energias renováveis, comparadas às energias convencionais, muito têm que ser estudadas para reduzir perdas energéticas e aumentar a eficiência. Sendo assim, algumas melhorias são sugeridas para otimização do sistema em estudo:

- Realizar levantamento de dados com testes sazonais;
- Fabricar acumulador térmico com forma adequada ao cone (cilíndrico);
- Instalar um “seguidor solar” para melhorar a eficiência na coleta de energia;
- Construir cones com as faces refletoras composta de espelhos.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2000. Energia solar: radiação solar – Atlas solarimétrico do Brasil. Disponível na página http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_2.htm. Acessado em out. de 2011.
- Agência Municipal de Energia de Almadás - AGENEAL, 1999. Disponível em: <www.ageneal.pt>. Acesso em: Outubro de 2011.
- Central Intelligence Agency, United States of America, 2005. O relatório da CIA – Como será o mundo em 2020. 1 ed. Editora Ediouro, Rio de Janeiro.
- Cometta, E. Energia solar, utilização e empregos práticos, 1978. 1 ed. Editora Hemus. 127 p, São Paulo.
- Instituto agrônomo do Paraná – IAPAR, 2011. Média anual de radiação solar. Disponível em: <www.iapar.br>. Acesso em agosto de 2011.
- Jones, E. S. et al., 2011. O Fogão Solar de Funil. Disponível em: <<http://solarcooking.org/portugues/funnel-pt.htm>>. Acesso em maio de 2011.
- Mourão, R.R.F., 2000. Sol e energia no terceiro milênio. 1.ed. Editora Scipione, 114p, São Paulo.
- Palz, W., 2002. Energia solar e fontes alternativas. 1.ed. Editora Hemus, 358 p, Curitiba.
- Toniazzo, F., Guizzi, M., 2011. Coletor solar de funil para pré aquecimento de água. Relatório de Trabalho de Diplomação. UTFPR, Pato Branco.
- Tundisi, F.S.H., 1994. Usos de energia, sistemas, fontes e alternativas: do fogo aos gradientes de temperatura oceânica. 4 ed. Editora Atual, 73 p, São Paulo.

THE USE OF SOLAR FUNNEL COLLECTOR AS A SYSTEM OF PREHEATING WATER

Abstract. *The following study has as its purpose to study a system of preheating industrial boilers water having solar energy as its heating source. The system, since its plan until its creation (prototype), was based on solar funnel collector, proposed by Jones et al. (1996). From the original system, there were a few changes, such as, the method of thermal energy storage, applied materials, among other things. The collector and solar concentrator's elaboration were made with specific materials to utilize better and thermal isolation besides having out some peculiar structure to assure the operation. The system's qualification and data's acquisition relative to water heating were obtained from measure equipment as: digital thermometer (type skewers), thermo hygrometer, anemometer and solar energy radiation measurer. The tests were elaborated in Francisco Beltrão, Paraná state.*

Key words: Solar Funnel Collector, Solar Energy, Water Heating.