

DESENVOLVIMENTO DE UM COLETOR SOLAR UTILIZANDO RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES

DEVELOPMENT OF A SOLAR COLLECTOR USING RECYCLED FLUORESCENT LAMPS

**Alberto Kazushi Nagaoka¹, Carlos Augusto de Paiva Sampaio², César Eduardo Boff³,
Altamir Antônio Rosa Araldi⁴**

Recebido em 02/08/2005; aprovado em 07/04/2006.

RESUMO

O uso de coletores solares para aquecimento de água ainda é pouco difundido no Brasil. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um coletor solar plano para aquecimento de água utilizando lâmpadas fluorescentes queimadas. O coletor foi avaliado medindo-se a evolução da temperatura diária da água e calculando o seu rendimento térmico em três períodos distintos (12 a 16 de fevereiro, 12 a 15 de julho e 12 a 15 de dezembro de 2001). As medidas da radiação solar foram realizadas com actinógrafo bimetalico e das temperaturas de interesse realizadas com termômetro de mercúrio. O estudo estatístico consistiu em análise de regressão. Os resultados mostraram que o coletor solar apresentou maior rendimento térmico em dias de menor radiação solar e que a temperatura máxima da água ocorreu por volta das 16 horas, atingindo um máximo absoluto de 51,5°C, 41,0°C e 55,0°C nos meses de fevereiro, julho e dezembro, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Coletor solar alternativo, materiais reaproveitáveis, baixo custo.

SUMMARY

The adoption of solar collector to water heating is limited in Brazil. The objective of this research was to develop an alternative solar collector to water

heating using recycled fluorescent lamps. The collector was evaluated measuring the daily evolution of water temperature from 8:00 a.m. to 6:00 p.m. The measurements were performed from February 12 to 16, July 12 to 15 and December 12 to 15 of 2001. The statistics studies consisted of regression analysis. The results showed that the solar collector presented high thermal yield, especially in days with low solar radiation. The water maximum temperature inside the collector occurred around 4:00 p.m. The maximum absolute temperature values were 51.5°C, 41.0°C and 55.0°C in February, July and December, respectively.

KEY WORDS: Solar alternative collector, recycled materials, low cost.

INTRODUÇÃO

A discussão em torno de energias alternativas tem sido alvo de debates devido à preocupação com a demanda energética mundial, a caminho da saturação. Atualmente, com os elevados custos energéticos, as instalações de aquecimento de água por energia solar surgem como uma excelente opção de economia, sendo adequada ao clima tropical e não é poluente, e no nosso País seria uma maneira de minimizar a dependência da energia convencional. Diversos autores, (HIRSCHEBERG, 1990; ZILLES e CORBELLA, 1990) destacam a importância da energia solar como estratégia para o desenvolvimento dos Paí-

¹Professor Dr. Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV/UDESC). Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages, SC. (0xx49)3221-2211, e-mail: a2akn@cav.udesc.br

²Professor Dr. CAV/UDESC, e-mail: a2caps@cav.udesc.br

³Aluno de Agronomia, CAV/UDESC

⁴Matemático Dr. Professor Substituto, CAV/UDESC

ses.

Aikawa et al. (1983) descrevem que no Brasil chega a cada ano uma quantidade energética solar equivalente a 745×10^{15} kWh, correspondendo aproximadamente a $1,36 \text{ kWh.m}^{-2}$ a 160 km de altura e a um fluxo energético ao nível do solo de 233 W.m^{-2} , representando 2×10^9 MW em todo o país, evidenciando a viabilidade do uso desta energia para fins diversos.

De acordo com Sinício (1989), o uso de coletor solar é uma tecnologia que exige materiais de construção simples, sendo que o aproveitamento da energia solar não causa poluição nem corrosão no sistema de coleta e é uma fonte inesgotável, entretanto cita como desvantagens a disponibilidade não constante desta energia e os baixos coeficientes de transferência de calor nos materiais de captação do coletor.

Leite (1997) descreve que no caso do Brasil, o aquecimento por via solar direta teria papel relevante porque poderia substituir em parte a inconveniente carga representada pelos chuveiros elétricos, cujo consumo é estimado em mais de 2% do total nacional. A ABRAVA (1996) (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento) em suas publicações cita que mais de 6% de todo consumo nacional de energia elétrica, três vezes mais que as estimativas referenciadas por Leite (1997), são utilizadas para alimentar chuveiros elétricos. Este contraste de percentual deixa dúvida quanto à exatidão numérica, porém deixa clara a relevância do impacto.

De acordo com Pereira et al. (2000), vários fatores contribuem para o aproveitamento eficiente da radiação solar que chega a uma determinada superfície e que devem ser considerados no projeto e na construção de um coletor solar, como a utilização de materiais apropriados, a inclinação e o posicionamento, de modo a favorecer o denominado efeito estufa, que é o responsável pela elevação da temperatura no interior do coletor. O efeito estufa é obtido utilizando-se uma superfície negra na base do coletor e uma superfície transparente acima, de modo que a radiação incidente tenha seu comprimento de onda modificado ficando confinada, sendo absorvida e emitida sucessivamente

pela superfície negra, como mostra a Figura 1.

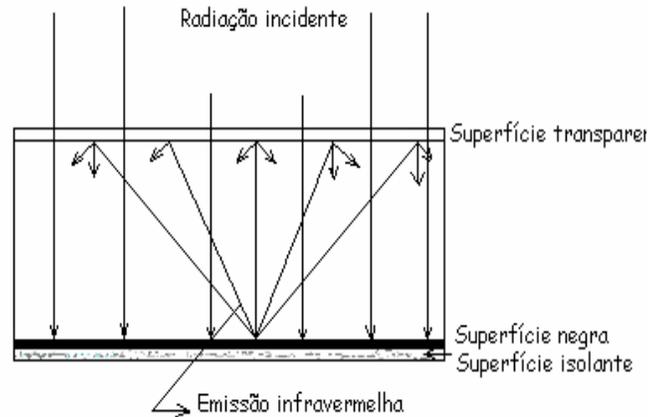


Figura 1- Esquema de coletor solar plano e o efeito estufa resultante.

Segundo Bezerra (1979), os coletores solares são formados por uma caixa isolada termicamente nas partes inferior e lateral, de forma que a inferior seja uma superfície enegrecida e a parte superior seja fechada por um material transparente, geralmente o vidro. As perdas de calor que podem ocorrer neste sistema são predominantemente por convecção e em menor quantidade por trocas de radiação, entretanto quando o rendimento energético é alto, as perdas por radiação são significativas, devendo-se para isso utilizar uma superfície de máxima transparência aos raios solares de onda curta e opaca à radiação de onda longa emitida pela superfície enegrecida.

O rendimento térmico do coletor pode ser definido pela relação entre o aumento da temperatura da água (desempenho térmico) e a radiação recebida pelo mesmo, segundo a expressão:

$$\eta = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{R_{st} \cdot A}$$

onde: η = rendimento térmico do coletor (%); m = massa de água no coletor (kg); c = calor específico médio da água líquida ($\text{J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$); ΔT = variação de temperatura (°C); R_{st} = radiação solar total (J.m^{-2}) e A = área de captação do coletor (m^2) (Bezerra, 1979; Palz, 1995).

Pereira et al. (2000) avaliaram o desempenho de um coletor solar alternativo na cidade do

Rio de Janeiro, utilizando-se dos seguintes materiais reaproveitáveis: cobertura de vidro, caixa de madeira isolada termicamente, placa de fórmica, tubos de plástico e para a superfície trocadora de calor foram experimentados os seguintes materiais: três latas de óleo de 900 mL (arranjo1), três garrafas de plástico rígido de 1500 mL (arranjo2) e três garrafas de plástico do tipo "big coke" de 2000 mL (arranjo3), os quais tiveram a superfície externa pintada de negro. Verificou-se que o arranjo1 foi o mais eficiente, pois além de não deformar, apresentou fácil montagem e os resultados obtidos nos meses de junho e julho conduziram a um valor médio de temperatura no reservatório de 35,4°C, conforme mostra a Tabela 1.

Este trabalho teve como finalidade o desenvolvimento de um coletor solar alternativo para o aquecimento de água, usando como superfície trocadora de calor lâmpadas fluorescentes queimadas no intuito de reaproveitá-las, melhorar o rendimento e diminuir o custo do coletor.

Tabela 1- Temperatura da água no coletor solar alternativo e gradiente de temperatura.

Hora	Coletor alternativo	Gradiente de temperatura
	$T_{\text{águaaq.}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\text{águaaq.}} - T_{\text{águaamb.}} (^{\circ}\text{C})$
10:00	25,0	0,0
11:00	32,0	7,0
12:00	37,0	11,0
13:00	38,5	12,5
14:00	38,5	12,5
15:00	38,0	12,0
16:00	39,0	13,0
Média	35,4	-

Fonte: Pereira et al. (2000).

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Centro de Ciências Agroveterinárias, em Lages/SC, com latitude de 27° 49' S, longitude de 50° 20' W e altitude de 920 m e nos seguintes períodos: de 12 a 16 de fevereiro, de 12 a 15 de julho e de 12 a 15 de dezembro de 2001. O clima predominante da região, de acordo

com KÖPPEN é Cfb (temperado úmido, sem estação de seca).

O coletor solar construído (Figura 2) constituiu-se por uma caixa metálica (aço zincado) de dimensões internas 1,32 m x 0,70 m x 0,09 m, enegrecida na sua parte inferior e lateral, correspondendo a uma área efetiva de captação de energia solar de aproximadamente 0,92 m² e a um volume de 83 litros, a qual foi envolta por uma caixa de madeira. As superfícies de contato entre a caixa metálica e a de madeira foram isoladas com poliuretano expandido para minimizar a perda de calor por condução e na parte superior da caixa foi colocado um vidro comum transparente de 5 mm de espessura, cujo rendimento óptico situa-se na faixa de 75 a 80% na incidência perpendicular de luz (Palz, 1995). Na parte inferior da caixa metálica foram incorporadas lâmpadas fluorescentes queimadas visando seu reaproveitamento e aumento de rendimento do coletor, sendo utilizadas vinte e uma (21) lâmpadas que foram abertas nas extremidades, limpas e pintadas externamente de preto.

As medições das temperaturas da água no coletor e da água ambiente foram realizadas em intervalos de 2 horas, entre 8 e 18 horas, usando termômetro de mercúrio. A radiação solar global foi medida com actinógrafo bimetálico (CHART N° 5-1050-AW, Belfort Instrument Company) que registrava a radiação solar em gráficos.

A radiação incidente no coletor foi obtida multiplicando-se a radiação solar total pela área da superfície transparente e o seu rendimento energético obtido pela equação proposta por Bezerra (1979) e Palz (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos representam o desempenho do coletor durante os meses de fevereiro, julho e dezembro que conduziram a médias de temperatura da água no reservatório de 40,0°C, 27,4°C e 38,0°C, respectivamente, conforme os dados da Tabela 2. Pode-se verificar que no início das medições, a temperatura da água no interior do coletor encontrava-se próxima da temperatura do ambiente, conforme constatou também Pereira et al.

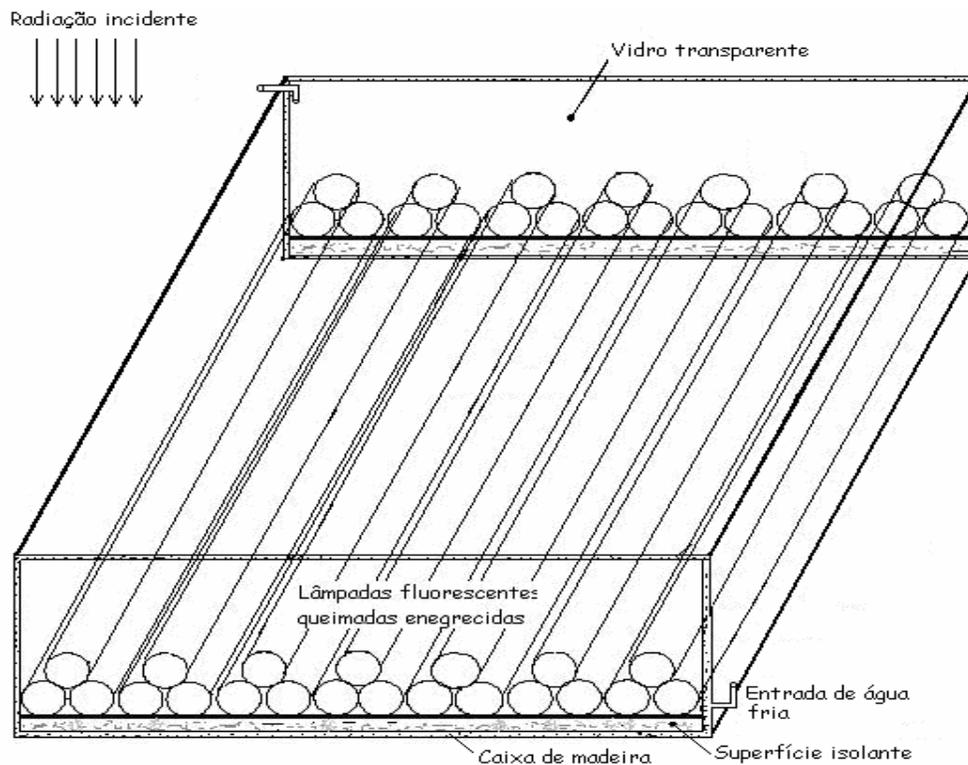


Figura 2- Disposição das lâmpadas fluorescentes queimadas no coletor solar alternativo (Lages, 2001).

Tabela 1- Temperatura da água no interior do coletor solar e gradiente de temperatura observado (Lages, 2001).

Hora	Fevereiro					Julho					Dezembro				
	Temperatura (°C)					Temperatura (°C)					Temperatura (°C)				
	T ₁ *	T ₂	T ₃	Med. **	Dif.***	T ₁	T ₂	T ₃	Med.	Dif.	T ₁	T ₂	T ₃	Med.	Dif.
10:00	29	25	26	26,7	6,7	12	11	15	12,7	2,7	27	33	23	27	7,0
12:00	42	31	39	37,2	7,2	24	22	26	24,0	4,0	32	41	33	35	15,0
14:00	49	39	44	44,2	11,2	33	30	38	33,7	13,7	40	48	41	43	22,0
16:00	45	45	51	47,2	16,2	35	34	41	36,7	16,7	42	55	32	43	22,0
18:00	42	42	50	44,7	14,7	28	28	34	30,0	10,0	43	51	32	42	21,0
Média geral	40,0					27,4					38,0				

*T₁, T₂, T₃ = testes.

**Med. = média horária.

***Dif. = diferença de temperatura entre a água aquecida no coletor e a água ambiente, em relação à média horária.

(2000), devido à baixa intensidade de radiação, e que no decorrer do dia houve um aquecimento crescente da água, com a máxima temperatura ocorrendo por volta das 16:00 h, variando conforme a distribuição da nebulosidade e à incidência de radiação solar global.

A estimativa do aquecimento da água em função do tempo encontra-se na Figura 3. Percebe-se que o padrão médio de aquecimento da água durante os testes foi semelhante, ajustando-se a função polinomial de 3º grau, com coeficientes de determinação de 99% para os três períodos avaliados.

A radiação solar global, a radiação recebida pelo coletor, a energia acumulada no líquido e o rendimento do coletor solar são mostrados na Tabela 3. Verifica-se que os mais altos rendimentos ocorreram em julho, possivelmente pelo maior número de horas de brilho solar (ausência de nuvens) e, conseqüentemente maior energia acumulada pelo líquido. Constata-se ainda que a água no interior do coletor alcançou temperatura acima de 35°C mesmo em Julho, onde se verifica temperaturas médias diárias por volta de 10°C na região, ficando evidenciado uma maior absorção de calor pelas lâmpadas fluorescentes e alta capacidade de

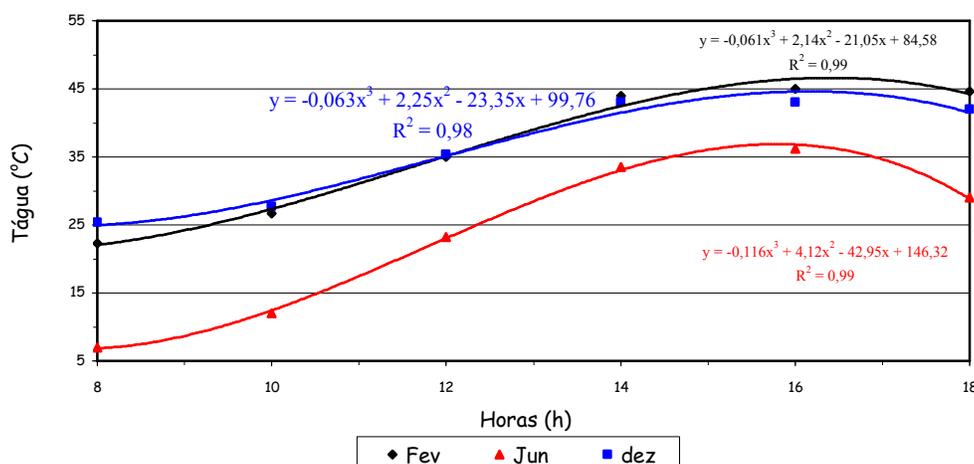


Figura 3 Comportamento temporal da temperatura média da água em diferentes épocas do ano (Lages, 2001).

Tabela 2- Variação diária da radiação solar total, radiação solar incidente no coletor, energia acumulada no líquido e rendimento do coletor solar (Lages, 2001).

Data	Radiação Solar total (cal/cm ²)	Radiação recebida pelo coletor (kcal)	Energia acumulada no líquido (kcal)	η (%)
Ensaio 1				
12/fev	462,0	4268,9	1577,0	37
15/fev	422,4	3903,0	1660,0	42
16/fev	528,0	4878,7	2324,0	48
Ensaio 2				
12/jul	335,0	3183,0	1826,0	57
13/jul	323,0	3009,0	1826,0	60
14/jul	351,2	3292,0	1577,0	48
15/jul	330,1	3149,0	2075,0	66
Ensaio 3				
12/dez	305,0	2898,0	1660,0	57
14/dez	286,1	2610,0	1760,0	67
15/dez	183,0	1739,0	830,0	48

O coletor solar apresentou em geral maior eficiência em dias com menor radiação solar global e com maior ganho de calor entre 11:00 e 14:00 h, devido à incidência da radiação solar perpendicular a sua superfície.

As mais altas temperaturas da água no coletor ocorreram por volta das 16:00 h, sendo decrescente após este horário.

O custo final do coletor solar (aproximadamente U\$150.00) ficou inferior ao custo de um coletor convencional devido à utilização de materiais reaproveitáveis.

ZILLES, R. ; CORBELLA, O.D. Comparação experimental de testes de coletores solares planos com simulador e com radiação solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 5., 1990. **Anais...** [s.l. : s.n.], 1990. v. 1, p. 236.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento. “O aquecedor solar de água para o setor elétrico e para o usuário final”. São Paulo, 1996. 23p.

AIKAWA, S.; MATA S. F. ; ROMANI, S. C. A importância dos coletores na viabilização da secagem de grãos com energia solar. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE PRODUTOS AGRÍCOLAS COM ENERGIA SOLAR, 1983, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 1983. p.30-87.

BEZERRA, A.M. **Aplicações térmicas de energia solar**. João Pessoa : Ed. Universitária/UFPb, 1979. 123p.

HIRSCHEBERG, J. Medidas das propriedades óticas e mecânicas dos vidros utilizados como isolantes em placas de captação solar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. 5., 1990. **Anais...** [s.l. : s.n.], 1990. v. 1, p. 354.

LEITE, A.D. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 450p.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 1995. 360p.

PEREIRA, R.G. et al. Desenvolvimento de um coletor solar alternativo utilizando materiais reaproveitáveis. **Mundo & Vida**, v.2, n.1, 57-60. 2000.

SINÍCIO, R. Manual de secagem de grãos em baixas temperaturas (ar natural ou aquecido por coletores solares). In: REUNIÃO SEMESTRAL DO PROGRAMA CYTED-D: SECAGEM SOLAR DE PRODUTOS BIOLÓGICOS, 1989, Colômbia. **Anais...** Colômbia: [s.n.], 1989. v.6, p. 5.