

XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

ESTUDO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EM MATERIAIS ISOLANTES DE MATRIZ CELULÓSICA UTILIZADOS EM SISTEMAS FOTOTÉRMICOS

**Nathália Fernandes Telles Martins⁽¹⁾ ; Felipe Adan de Freitas dos Santos⁽²⁾; Vera Lúcia Alves de
Oliveira⁽³⁾ João Vicente Zampieron⁽⁴⁾**

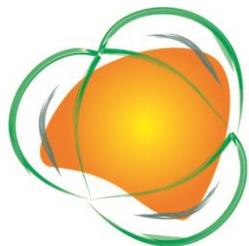
⁽¹⁾ Departamento de Engenharia Civil; Laboratório de Materiais e Energia - Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG Campus de Passos; Passos-MG; e-mail: eng.nathaliafernandes@gmail.com; ⁽²⁾ Departamento de Engenharia Civil; Laboratório de Materiais e Energia - Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG Campus de Passos; Passos-MG; e-mail: felipe.adfreitas@gmail.com; ⁽³⁾ Centro de Ciências- UEMG Campus de Passos; Passos-MG; e-mail: vera.oliveira@uemg.br; ⁽⁴⁾ Departamento de Engenharia Civil; Prof. Dr.; Laboratório de Materiais e Energia - Centro de Ciências - Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG Campus de Passos - Passos-MG; e-mail: joao.zampieron@uemg.br

Eixo temático: Gerenciamento de Recursos Hídricos e Energéticos.

RESUMO - Diante da escassez de recursos hídricos e altos custos dos combustíveis fósseis não renováveis, a energia solar tornou-se fonte alternativa, visando atender demandas de comunidades, destacando-se por ser abundante e renovável. Pesquisas têm sido realizadas para otimizar sua conversão através de aquecedores solares utilizando materiais alternativos, colaborando com a energia elétrica. O presente trabalho apresenta formas de contribuir através da descentralização de fontes tradicionais de energia, a partir da proposta construção de sistemas de aquecedores solares de baixo custo. Sendo assim, foram montados *boilers* em bases retangulares com fundo estruturado, cujas dimensões estavam em concordância com a quantidade de placas requeridas para a geração de energia térmica utilizando materiais de matriz celulósica, conjugados com serragem, cana de açúcar, casca de banana e casca de coco. O boiler que apresentou a melhor eficiência de retenção de calor foi o construído com matriz celulósica conjugado com serragem e cana de açúcar. Observou-se que o fluido atingiu temperaturas médias de 391 K, mostrando a viabilidade de integração do projeto em sistemas construtivos voltados à comunidades carentes visando a sustentabilidade e equilíbrio ambiental.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Energia Solar. Meio Ambiente.

ABSTRACT - Given the scarcity of water resources and high costs of non-renewable fossil fuels, solar energy has become an alternative source, to meet the demands of communities, especially for being abundant and renewable. Research has been carried out to optimize their conversion through solar heaters using alternative materials, collaborating with electricity. This paper presents ways to contribute through decentralization of traditional energy sources, from the proposed construction of solar heaters low-cost systems. Thus, boilers were mounted on rectangular bases with structured background, the dimensions of which were in agreement with the number of



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

plates required for thermal power generation using cellulosic matrix materials, in conjunction with sawdust, sugar cane, banana peel and peel coconut. The boiler that showed the best heat retention efficiency was built with cellulose matrix combined with sawdust and sugarcane. It was observed that fluid reached an average temperature of 391 K, showing the integration of the project feasibility in building systems aimed at poor communities to sustainability and environmental balance.

Key words: Sustainability. Solar energy. Environment.

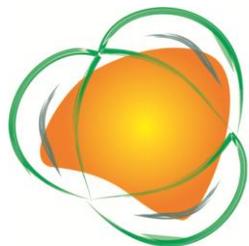
Introdução

Pesquisas têm sido realizadas para dimensionamento de sistemas de aquecimento solar, que atendam unidades rurais e urbanas sem acesso a energia elétrica convencional. Tal sistema é baseado em aquecimento de fluidos, através do uso de coletores ou concentradores solares. O uso de tal tecnologia apresenta uma demanda significativa em outros setores como, edifícios públicos, restaurantes, hospitais, hotéis, etc.. (MOGAWER; SOUZA, 2004).

Crises energéticas tem se tornado frequentes, causando perdas materiais e transtornos. A criação de um sistema autossuficiente se faz necessária à implementação de novos princípios construtivos e novas tecnologias adaptáveis ao ambiente e a aquisição econômica da população, usando como principal elemento os recursos naturais. Assim, o aproveitamento de energia solar para aquecimento de água torna-se viável, uma vez que seu custo é relativamente baixo, se comparado com os demais aquecedores tradicionais. Para cada 1m² de coletor instalado, evita-se a inundação de 56m² de terras, na construção de novas usinas hidrelétricas ou permite economizar 55Kg de GLP, por ano, ou 66L de diesel ou ainda 215Kg de lenha/ ano (BARBOSA et al., 2004; ASSIS, 2004).

Trabalhos realizados por centros tecnológicos para o desenvolvimento de aquecedores solares econômicos mostraram que estes podem ter um custo em torno de 10% de um aquecedor solar tradicional com uso de técnicas de bricolagem. Tal tecnologia prevê a redução de cerca de 80% da energia consumida nos chuveiros elétricos, além das vantagens de redução de CO₂, alta portabilidade e baixa manutenção (WOELZ, 2002).

Fazendo vistas à preservação do meio ambiente tem sido realizadas pesquisas, tanto com sistemas fototérmicos, quanto com sistemas fotovoltaicos, através dos quais pode-se verificar que, dos 100% da energia solar, que chega à Terra, 4% são refletidas pela superfície, 20% pelas nuvens, 6% pela atmosfera, 19% absorvidas pela atmosfera e nuvens e 51% absorvida na superfície. Sendo assim, justifica-se o investimento em tais sistemas devido aos benefícios, quanto ao custo e quanto aos benefícios que a energia solar representa como uma fonte limpa com amplas possibilidades de aplicação (SANTOS, FRANCISCO, 2012; GOMES, 2012).



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

Com o propósito de realizar dimensionamento de sistemas solares foram realizadas análises energéticas, a fim de obter uma comparação entre sistemas dimensionados pela norma brasileira NBR-15569 de 2008, permitindo a certificação de eficiência energética dos sistemas integrados em edifícios residenciais. Tal trabalho mostrou que a substituição do chuveiro elétrico pelo sistema solar provocou uma redução média de 70% no consumo doméstico de energia elétrica (ALTOÉ, OLIVEIRA FILHO, CARLO, 2012).

Como resultado do crescimento populacional alguns países tiveram um aumento considerável do consumo de energia aumentando a demanda por recursos como carvão e gás natural. Neste sentido, vários tipos de sistema de aquecimento de água têm sido propostos por países como Austrália, uma alternativa para os combustíveis fósseis, fazendo vistas à redução de emissão de gases poluentes (CRAWFORD; TREOLAR, 2004).

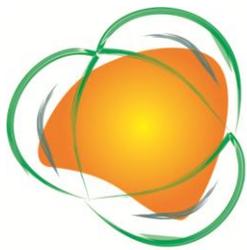
No segmento de construção civil tem sido analisados na Europa esquemas de certificação e regulação para integração de projetos de energia durante a edificação, a fim de controlar e limitar o consumo de energia nesse setor. Leis têm sido aprimoradas, a fim de tornar mais eficiente o uso de energia com o objetivo de colaborar com a redução do aquecimento global, estabelecendo limites aceitáveis de CO₂ emitidos para a atmosfera (CASALS, 2006).

Pesquisas recentes tem mostrado que alguns fatores favorecem a instalação de sistemas fototérmicos, tais como: altas temperaturas médias diárias, iluminação solar bem distribuída durante todos os meses, pressão de água adequada, simplicidade e preço baixo dos ductos utilizados para instalação, o que trás como benefício a substituição do chuveiro elétrico minimizando custo de residências, refletidos na renda familiar (BARBOSA, et al, 2004).

Ensaio com materiais alternativos, que são de uso comum na construção civil, como forros modulares e tubos de PVC rígido, mostraram uma eficiência térmica de 67% em relação aos 75% dos coletores convencionais com tubos de cobre e cobertura de vidro, permitindo com isso propostas de projetos com custos muito mais baixos, do que os convencionais (PEREIRA, SHIOTA, MELLO, ASSIS Jr., BARTOLI, 2006).

Projetos de construção de aquecedor solar com concentrador têm sido propostos como uma opção para o aumento da eficiência na captação de energia solar. Os aspectos negativos observados foram: o rendimento mais baixo que o sistema convencional, o posicionamento do sistema, que deve ser corrigido de forma constante, devido à mudança de posição do sol e a sombra do condutor do fluido no concentrador parabólico, que provoca perda de energia da superfície refletora, em relação ao fluido (HO, ITO, 2007).

Trabalhos têm sido desenvolvidos visando minimizar o custo dos reservatórios de água quente chamados *boilers*, os quais são, em geral, fabricados em aço inoxidável, cobre ou aço-carbono, com isolamento térmico à base de lã de vidro, dos



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

quais pode-se observar que utilizando reservatório de menor capacidade, houve um aumento da eficiência do sistema (SOUZA, MIRANDA, SILVA, 2010).

De acordo com estudos econômicos, o chuveiro elétrico é o item de maior participação no consumo energético residencial, chegando a 24% do total consumido, o que justifica as pesquisas a fim de minimizar o custo do sistema fototérmico e da sua implementação em projetos de casas populares, rural e urbana (PENNEREIRO, MELO, CORADI, 2010; BASSO et al, 2010).

Diante do exposto acima, o presente trabalho pretende dar a sua contribuição desenvolvendo projeto de sistemas fototérmicos de baixo custo, que serão integrados em projetos de residências populares, o que irá refletir na minimização de custos da manutenção de uma residência popular, urbana e/ou rural.

Materiais e Métodos

Foram desenvolvidos coletores solares, que viabilizaram uma maior eficiência na captação da luz solar e sua conversão em energia térmica, a partir de materiais disponíveis comercialmente de baixo custo, ou seja, tubos de PVC, placas de forro, garrafas PET, embalagens cartonadas, dentre outros, reduzindo custos e simplificando a montagem e manutenção em construção residencial rural e urbana, popularizando o acesso a tal sistema.

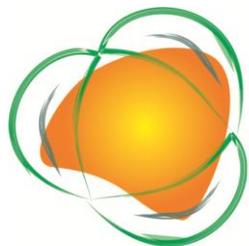
Quanto à construção dos boilers, foram utilizados materiais comercialmente econômicos e recicláveis, como tubos de PCV e reservatório cilíndrico de alumínio.

Montagem de coletores solares e boilers

Os coletores solares foram montados em bases retangulares com um fundo estruturado, cujas dimensões estavam em concordância com a quantidade de placas requeridas para a geração de energia térmica, para uma família de cinco integrantes e comparados com os sistemas comerciais. Foram montados vários coletores com diferentes materiais, tais como: tubos de PVC, garrafas PET, garrafas Tetra Park, PVC modulares, mangueira automotiva, ductos, tinta preto fosco, com vistas à redução de custos.

Considerando que o sistema de conservação de temperatura da água (*boiler*), é o fator de maior impacto na implantação dos aquecedores solares, devido ao corpo interno ser constituído de cobre, inox ou termoplástico com isolamento de poliuretano, é ele o responsável por gerar um alto custo no projeto final. Foram montados protótipos de armazenamento de baixo custo utilizando materiais dielétricos conjugados de matriz celulósica, como casca de banana, casca de coco e cana de , viáveis no tocante a disponibilidade e custo, medindo a transferência de energia térmica para verificar a que apresentava melhor capacidade de retenção de calor.

Foram analisados vários tipos de materiais isolantes, quanto a sua eficiência energética, quanto à capacidade de retenção de calor, identificando qual o mais



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

adequado, a fim de integrá-los em projetos das residências populares, com o intuito de minimizar as tarifas de energia, reduzindo custos, simplificando sua montagem e manutenção em construção, popularizando o acesso a tal sistema.

Foram projetados quatro protótipos de boilers, todos conjugados com matriz celulósica sendo estes, respectivamente, com casca de banana, casca de coco, cana de açúcar e com serragem, introduzindo a menor dentro de uma maior, devidamente com seus materiais compactados, conforme mostrado na figura 1.

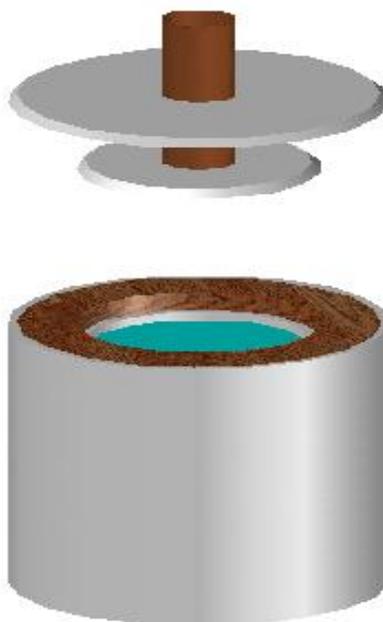


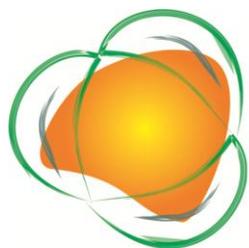
Figura 1: Construção do protótipo.

Fonte: Próprio autor.

Para a devida compactação dos materiais conjugados ao protótipo, foi realizada sua trituração e preparação, a partir de aparelhos contidos no laboratório, para evitar a ocorrência de vazios que possam vir a prejudicar a eficiência do sistema. Os protótipos foram projetados justamente como substituição ao *boiler*, para fins de redução de custos.

Armazenagem de calor

O coeficiente de condutividade térmica é determinado pelo método de Lee, que consiste na preparação de um regime permanente na condutividade térmica. O valor do coeficiente de condutividade é obtido a partir da Lei de Fourier usado para constatar a melhor capacidade isolante. Através das equações abaixo foi determinada a



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

quantidade de calor (1), a taxa de transferência de calor por unidade de tempo (2) e a condutividade térmica (k), através de Lei Fourier (3) para cada material empregado:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$q = Q / \Delta t \quad (2)$$

$$q = - k \cdot A \cdot \Delta T / x \quad (3)$$

onde:

Q = quantidade de calor num intervalo de temperatura

q = taxa de transferência de calor;

k = condutividade térmica;

A = área de transferência de calor;

ΔT = variação de temperatura;

x = espessura da parede.

M = a massa de água

C = calor específico da água

Para constatar a eficiência do sistema fototérmico foram realizados estudos de temperaturas do fluido em condições ambientes, temperatura do ambiente e da placa coletora, os quais posteriormente foram tabelados, a fim de calcular a condutividade térmica de cada material, utilizando termômetros de imersão marca INCOTERM e modelo L-054/07 e termômetro infravermelho, marca ICEL Manaus e modelo TD-950, conforme figura 2, comparando as perdas de calor, com os isolantes utilizados.

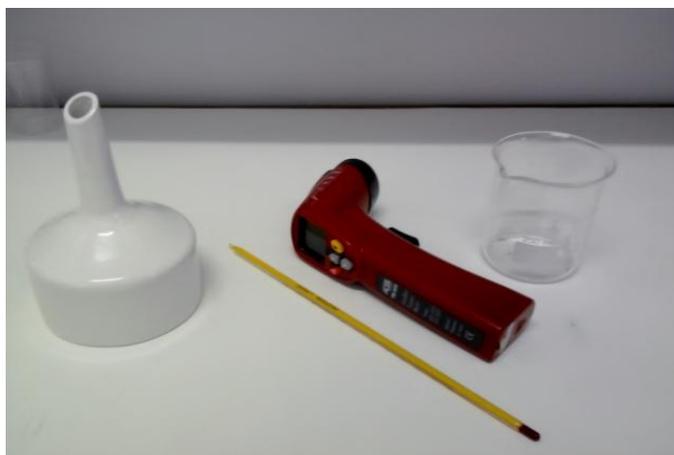
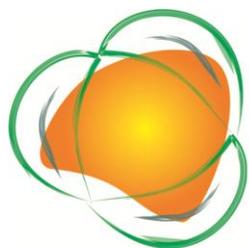


Figura 2: Termômetro de imersão e termômetro infravermelho.

Fonte: Próprio autor.

Resultados e Discussão



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

O sistema fototérmico comercial ainda apresenta um custo pouco acessível à maioria das famílias, principalmente às do meio rural e urbano de baixa renda, uma vez que este é proporcional à quantidade de água a ser aquecida, para estabelecer as dimensões do reservatório, ductos e quantidade dos demais materiais necessários para a completa construção e instalação do sistema de aquecimento, na temperatura e quantidade definida.

Sendo assim, o projeto de sistemas com materiais alternativos mostrou que é possível construir aquecedores com materiais recicláveis, utilizando-os nas placas coletoras, diminuindo o impacto no meio ambiente devido a descartes inadequados.

Sabe-se que as medidas de temperatura possuem relação entre a radiação diária e a temperatura final da água no sistema. Portanto, verifica-se que o principal fator para o aquecimento de água no sistema é a radiação solar.

É importante que a tubulação de retorno da água dos coletores tenha uma inclinação sempre crescente em direção ao reservatório, para que não ocorra acúmulo de ar, interrompendo a circulação natural da água (figura 3). Assim, também é necessário que haja água corrente no sistema, para evitar possíveis danos que a radiação possa provocar no aquecedor de baixo custo.

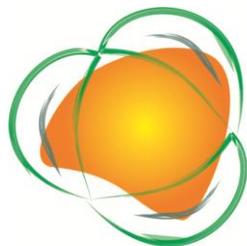


Figura 3: Aquecedor Solar.

Fonte: próprio autor.

A presente pesquisa mostrou que a inclinação dos coletores, bem como a pintura utilizando esmalte sintético preto fosco otimizou o sistema, quanto a captação de energia o que está de acordo com os trabalhos de pesquisas como SANTOS, FRANCISCO, 2012; GOMES, 2012.

Os *boylers* construídos com materiais dielétricos, serragem e cana de açúcar, conjugados com matriz celulósica, mostraram-se os mais eficientes, apresentando



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS
21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

menor condutividade térmica, o que pode ser verificado na tabela 1, evidenciando a melhor capacidade de retenção de calor, o que vem de encontro com trabalhos desenvolvidos com objetivos de redução de custos, conforme PEREIRA, SHIOTA, MELLO, ASSIS JR., BARTOLI, 2006.

Tabela 1: Parâmetros de captação de energia.

Materiais conjugados	Parâmetros de captação de energia		
	Q (calorias)	q (Watts)	k (W/m.K)
Matriz celulósica + Cana de açúcar	24598,1735	16,8007133	-0,1616193491
Matriz celulósica + Serragem	31911,1440	21,7955199	-0,1616193487
Matriz celulósica + Casca de banana	41909,3180	28,6243381	-0,2782024042
Matriz celulósica + Cana de açúcar + Casca de banana + Casca de coco	57149,0700	39,0331883	-0,1721822005

Fonte: Próprio autor.

Conclusões

É importante que o sistema seja alimentado de forma constante, pois a ausência de água na tubulação pode reduzir a vida útil dos coletores.

O boiler constituído de matriz celulósica, serragem e cana de açúcar, foram os que apresentaram os melhores resultados, em relação à condutividade térmica ($k=0,16$ W/m².K), mostrando uma viabilidade de integração do projeto em sistemas construtivos sustentáveis.

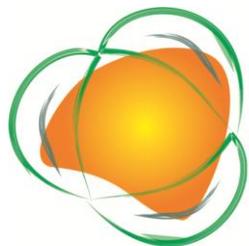
Referências

ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D.; CARLO, J.C. Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 75-87, 2012.

ASSIS, I.C. Energia solar para aquecimento de água e expurgo microbiológico de solos. Monografia ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras. Orientador: Carlos Alberto Alvarenga, Lavras-MG, 2004.

BARBOSA, M.J.; PETRUCCI, A.L.; SILVA, S.C.P.; TREVISI, C.H.G.; HOFFMANN, J.R., RAFAEL R.T. Projeto Integrado para Uso de Recursos Naturais em Residências Rurais. Anais do 2º Congresso Brasileiro de Extensão Universitária, Belo Horizonte, 2004.

BASSO, L.H.; SOUZA, S.N.M.; SIQUEIRA, J.A.C.; NOGUEIRA, C.E.C.; SANTOS, R.F. Análise de um Sistema de Aquecimento de Água para Residências Rurais Utilizando Energia Solar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 14-21, 2010.



XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

www.meioambientepocos.com.br

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

CASALS, X.G. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 381-392, 2006.

CRAWFORD, R.H.; TREOLAR, B.D. Net Energy Analysis of Solar and Conventional Domestic Hot Water Systems in Melbourne, Australia. **Solar Energy**, v. 76, n.13, p. 159-163, 2004.

GOMES, C.P. Energia Solar: Utilização como fonte de energia alternativa. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobrás e IF Fluminense**, v.2, n.1, p.159-163, 2012.

HO, D.A.; ITO, E.A. Projeto e construção de um aquecedor solar com concentrador. Trabalho de formatura – Escola Politécnica da USP.: Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, p.102, 2007.

MOGAWER, T.; SOUZA, T.M. Sistema Solar de Aquecimento de Água para Residências Populares. Anais 5º Encontro Energia Meio Rural, 2004.

PENEREIRO, J.C.; MELO L.P.; CORADI, T.B. Construção de um aquecedor solar de baixo custo sem cobertura: análise experimental da eficiência térmica para vários ensaios. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Campinas-SP, v. 10, n. 1, p. 18-34, 2010.

PEREIRA, R.C.; SHIOTA, R.T.; MELLO, S.F.; ASSIS JUNIOR, V.; BARTOLI, J.R. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu – PR, Brasil, 2006.

SANTOS, A.C.S.; FRANCISCO, J.C. Uso de painéis solares e sua contribuição para a preservação do meio ambiente. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobrás e IF Fluminense**, v.2, n.1, p.147-150, 2012.

SOUZA, K.T.; MIRANDA, L.S.; SILVA, M.A. Aquecimento de água através do uso de coletores planos. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 1, p. 51-57, 2010.

WOELZ, A.T. Aquecedor solar de baixo custo (ASBC): Uma alternativa custo- efetiva. In: Congresso Agrícola – AGRENER, São Paulo: Unicamp, 2002.