Proposta de Estudo da Eficiência e Potência do Fogão Solar Tipo Caixa: Analogia com Trocadores de Calor

José Guimarães de Carvalho Neto – **ze.ambiental@gmail.com**
Paulo Mário Machado Araújo – **paulo_mario@unit.br**
Ashton Osiris Vital Brazil – ashton@vital.srv.br
Gerson Antas Porto – **porto_gap@hotmail.com**
Universidade Tiradentes, Laboratório de Energias e Materiais, Instituto de Pesquisas e Tecnologia

2.4 - Coletores de Concentração e Fogões Solares

Resumo. *Os modelos utilizados para o cálculo de eficiência e potência do fogão solar tipo caixa revelam complexidade, devido a necessidade de se obter variáveis térmicas de difícil acesso. Este trabalho procura mostrar o fogão solar tipo caixa como uma espécie de trocador de calor, para mensurar a potência e eficiência do fogão. No estado de Sergipe, igualmente ao demais estados do nordeste do Brasil, o consumo de lenha para cozinhar ainda é intenso, sobretudo na população de baixa renda o que ocasiona degradação ambiental (processos de desertificação, devastação da caatinga e matas ciliares), poluição em ambientes fechados e outros fatores negativos. Para tanto optou-se pela pesquisa do fogão solar tentando melhorar a qualidade de vida das pessoas mais necessitadas da região, através da tentativa de substituição da lenha e minimização dos problemas sócio-ambientais. O procedimento aqui explicitado mostrou que o fogão tipo caixa apresenta eficiência e potência conforme os resultados da literatura para o mesmo tipo de fogão.*

Palavras-chave: *Fogão Solar tipo Caixa, Energia Solar, Potência, Eficiência.*

1. INTRODUÇÃO

O fogão solar tipo caixa é um equipamento de tecnologia simples, de fácil dominação e baixo custo, enquadrado no grupo das tecnologias sociais. Essas tecnologias visam melhorar a qualidade de vida da população carente, através da sua apropriação. Fogões solares se dividem em três grupos: os concentradores, de painel e o tipo caixa. Este último foi eleito enquanto objeto de análise para o presente trabalho, por possuir melhores resultados (Onyano, 2006) de custo-benefício dentre os outros dois. O fogão solar tipo caixa funciona com o princípio do efeito estufa, onde o calor é retido em uma caixa, onde é utilizado vidro para permitir a entrada da radiação solar e reter o calor, visando a cocção dos alimentos. Os raios solares são direcionados, através de refletores revestidos por materiais de boa reflexão -fora e dentro do fogão-, a uma placa preta que irá absorver o calor, favorecendo o aumento da temperatura.

Várias formulações podem ser utilizadas para determinar a potência e eficiência de um fogão solar. Suboth Kumar (2005) estudou a estimação de performance térmica do equipamento solar através de um procedimento simples, porém com variáveis de difícil acesso, trabalhando a eficiência óptica e a capacidade calorífica que são calculados a partir de uma análise experimental da regressão linear. De outro lado, Paul Funk (2000) introduziu uma avaliação internacional mais abrangente e prática, onde a avaliação de potência do fogão solar atingiu a maior simplicidade e objetividade física-matemática, analisando fatores limitantes controlados e não-controlados. O objetivo deste estudo é propor uma analogia simples para indicar a potência e o rendimento do fogão solar tipo caixa. Utilizou-se as leis que governam o trocador de calor, uma vez que este equipamento favorece a

troca térmica entre dois fluidos, normalmente separados por uma fronteira, analogamente ao equipamento solar.

O presente trabalho apresentará na seção 2 os Antecedentes do fogão solar e suas perspectivas de uso; em seguida, na seção 3, a Metodologia utilizada, mostrando as teorias e cálculos que fundamentam este trabalho; na seção 4 será apresentado como se deu o experimento e os materiais do equipamento; expor os resultados do teste na seção 5 e, por fim, terminar o trabalho expondo as considerações finais na seção 6.

2. ANTECEDENTES

Este estudo está contido no trabalho "Projeto de Desenvolvimento e Adaptação de Fogões Solares Aplicados na Comunidade Revoada", que é financiado pelo Fundo de Amparo do Estado de Sergipe, e vem sendo realizado pelo laboratório de Energias e Materiais da Universidade Tiradentes, e tem como objetivo principal a transferência da tecnologia de confecção do fogão para pessoas carentes de uma comunidade chamada "Luiz Alves", ou "Revoada", situada na periferia de Aracaju-SE. O fogão solar nasce com o propósito de minimizar os problemas ambientais, atenuando a coleta de madeira, favorecendo melhoria da saúde daquela comunidade, uma vez que segunda a Organização Mundial de Saúde (José Goldemberg, 2001) queima de biomassa é a causa principal para problemas de saúde em ambientes fechados. E mais, o fogão pode proporcionar o tempo antes empregado na coleta da lenha para outras atividades econômicas.

Com o uso do fogão solar somos capazes de cozer alimentos da região (macaxeira, inhame e cuzcuz), arroz, feijão, doce de banana e caju e outros alimentos. Sendo assim, sabemos que o fogão solar é capaz de suprir a lenha, minimizando seu consumo.

O objetivo de estudar este equipamento é o de investigar as condições de possibilidades reais de se desfazer da grande dependência do uso de combustíveis fósseis, seja o gás liquefeito do petróleo ou mesmo a biomassa das lenhas, utilizados largamente por processos de cocção. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (2005), no ando de 2004 o consumo de lenha correspondeu a 37,8% do consumo energético nacional e cerca de 13% das residências que dispõem de fogão convencional (a base de gás liquefeito de petróleo), também possuem uma alternativa de lenha. Ainda, no ano de 2004 foram consumidas 26 milhões de toneladas de lenha em residências, representando um acréscimo de 1,4% em relação ao ano anterior.

Há outros trabalhos de difusão do fogão solar pelo mundo, podemos citar as iniciativas realizadas no Taiti, onde Sheraga *et al.* (2000)relata a apropriação dos fogões pela comunidade do país. Bashir Ahmad (2001) realizou um lindo trabalho sobre as causas do uso e desuso dos fogões solares na Índia, enquanto que Herliyani Suharta *et al.* (1999) mostra resultados preliminares das tendências de aceitação do fogão na Indonésia, o que chegou a ultrapassar 28%.

3. METODOLOGIA

3.1 Teoria

A eficiência de um fogão solar é definida como sendo a relação entre a energia útil e a energia total solar incidente no fogão. Sendo *Qp* a energia perdida pelo fogão.

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_T} = \frac{Q_T - Q_P}{Q_T} = 1 - \frac{Q_P}{Q_T} \qquad (1)$$

A energia útil é utilizada essencialmente para aquecer a água contida no becker no interior do fogão solar. Esta energia é calculada através da equação fundamental da calorimetria:

$$Q_u = m.c.\Delta T \quad (2)$$

Onde: Q_u é a energia útil, m a massa de água a será aquecida, c o calor específico da água e ΔT é a variação de temperatura da água entre o início e o final do experimento.

A energia total incidente será considerada proveniente apenas da radiação direta dos raios solares no interior do fogão. Seu cálculo é dado pela equação:

$$Q_T = \overline{R}.A_f.\Delta t \quad (3)$$

Onde: Q_T : energia solar direta incidente no fogão solar;

$\overline{R}$: radiação média durante o experimento (W/m^2);

A_f : área do fogão solar (m^2);

Δt : intervalo de tempo entre o início e o final do experimento.

De modo análogo a um trocador de calor a temperatura da água no interior de um fogão solar varia continuamente desde o início até o fim do experimento, conforme se iremos observar no gráfico 1. Como em um trocador de calor, definimos uma diferença média logarítmica de temperatura ($\Delta T_{\ln}$) para o fogão solar e através desta diferença, calculamos o seu coeficiente global de transferência de calor U. O procedimento adotado neste trabalho para o cálculo de $\Delta T_{\ln}$ e de U é mostrado abaixo.

$$\Delta T_{\ln} = \frac{\Delta T_{máx} - \Delta T_{mín}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{máx}}{\Delta T_{mín}}\right)} \quad (4)$$

Onde: $\Delta T_{\ln}$: diferença média logarítmica de temperatura;

$\Delta T_{máx}$: Máxima diferença de temperatura entre o fogão solar e a água;

$\Delta T_{mín}$: Mínima diferença de temperatura entre o fogão solar e a água.

A equação de projeto de um trocador de calor é tomada de modo análogo para um fogão solar. Esta equação é dada por

$$Q_u = UA_f \Delta T_{\ln} \quad (5)$$

Onde: Q_u : é a energia efetivamente utilizada para aquecera água;

U : é o coeficiente global de transferência de calor do fogão solar;

A_f : é a área de abertura do fogão solar;

$\Delta T_{\ln}$: é a diferença média logarítmica de temperatura do fogão solar.

Com a equação (2) em (5) obtemos o coeficiente global de transferência de calor:

$$U = \frac{m.c.\Delta T}{A_f.\Delta T_{\ln}} \quad (6)$$

Agora podemos obter a eficiência do fogão solar substituindo as equações (3) e (5) em (1). Assim, tem-se a Eq. (7):

$$\eta = \frac{U.\Delta T_{\ln}}{\overline{R}.\Delta t} \qquad (7)$$

Esta fórmula simples permite calcular a eficiência de um fogão solar sem muita dificuldade e com relativamente poucas informações experimentais.

4. EXPERIMENTO E MATERIAIS

Os testes foram realizados no pátio do laboratório, situado a latitude de 10,9ºsul. O primeiro passo do experimento foi deixar o fogão vazio ao Sol, e esperar a temperatura do ar estabilizar. Isto ocorreu após 30 minutos, com a temperatura a 80ºC. Em seguida colocamos no interior do 250gramas de água destilada em um becker. As temperaturas de início foram coletadas, e então a cada 5 minutos até atingir os primeiros 30 minutos de experimento. Em seguida a coleta foi feita a cada 10 minutos.

Utilizamos termômetros convencionais de mercúrio para a aquisição da temperatura. A radiação foi coletada em intervalos de 10 minutos, e depois uma média foi retirada.

O fogão solar utilizado no experimento foi feito com apenas uma folha de papelão, figura 1, sendo possível compor duas paredes, uma externa e interna, e papel alumínio, uma placa de alumínio pintado de preto fosco e o vidro que cobre o fogão, aprisionando o calor. As dimensões do fogão eram: 57cm, 57cm e 29cm de altura, com 0,2116m² de área de abertura.

Figura 1- Fogão Solar Tipo Caixa

5. RESULTADOS

Os resultados mostrados nos gráficos abaixo mostraram que a potência do fogão solar é compatível com aqueles apresentados na literatura. A metodologia adotada para o cálculo da eficiência mostrou-se bastante simples e facilmente reprodutível para qualquer ouro tipo de fogão solar fechado. O conhecimento de $\Delta \boldsymbol{T_{ln}}$ para o fogão solar tornou bastante simplificado o modo de obtenção do rendimento térmico do fogão solar. Os valores obtidos do aumento da temperatura com o tempo são representados na Fig. 2, onde é percebido que a temperatura do fogão foi mantida estável, enquanto que a da água aumentava em função da energia cedida pelo fogão ao longo do tempo.

O valor da diferença média logarítmica de temperatura $\Delta \boldsymbol{T_{ln}}$ = 15,8 °C. A média da radiação solar foi de 880W/m².

Pode-se perceber que a temperatura do fogão solar se manteve constante ao longo do experimento, enquanto que a temperatura da água aumentava, uma vez que esperou-se a temperatura do fogão estabilizar para então por o recipiente contendo água. Desta maneira, a perda de água por evaporação será minimizada e oferecendo pouca influencia teórica nos cálculos.

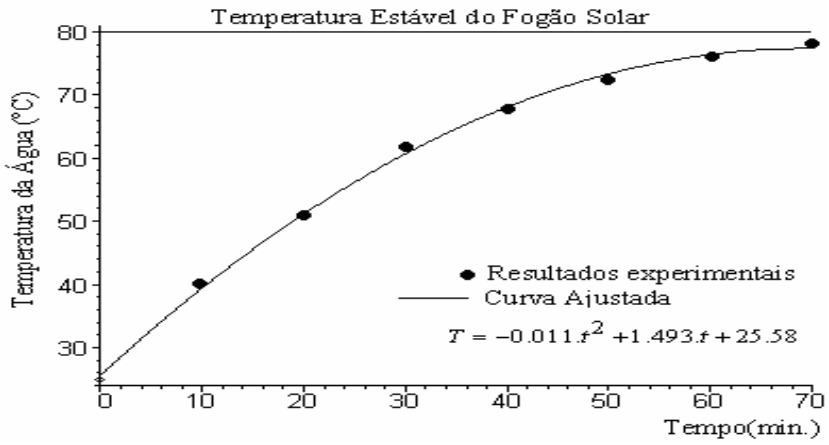

Figura 2- Variação da temperatura da água no interior do fogão.

A Fig. 3 representa o comportamento da potência do fogão solar, que se dá de maneira decrescente com o tempo, em função da diferença de temperatura da água, que aumenta ao longo do experimento:

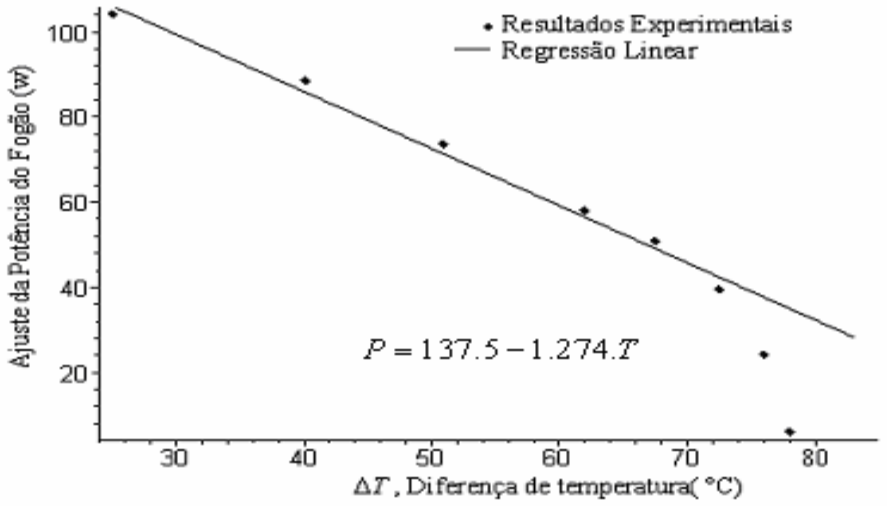

Figura 3- Potência do Fogão Solar

Este comportamento aparentemente não linear é explicado pelo aumento da perda calor por processos de radiação em elevadas temperaturas, segundo Paul Funk (2000), ao passo que em pequenas temperaturas predomina as perdas por processos de convecção e condução.

O rendimento é obtido através divisão da fração de fato utilizada no processo de transferência de calor pelo total de energia recebida pelo equipamento solar. Tal cálculo está embasado na metodologia proposta.

$$U.\Delta T_{\ln} = 250.473 \frac{cal}{s.m^2} \qquad \frac{Q_T}{A_f} = \overline{R}.\Delta t = 884.211 \frac{cal}{s.m^2}$$

$$\eta = \frac{250.473}{884.211} = 0.2833 \quad \text{ou} \quad \eta = 28.33\,\%$$

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A curva ajustada da potência do fogão solar é compatível com aquelas obtidas em testes internacionais de performance térmica do fogão solar, o mesmo acontece para os dados de eficiência, que giram em torno de 30%. A facilidade da técnica descrita neste trabalho mostra que este procedimento é bastante adequado para estimar a eficiência e comparar diversas dimensões do fogão solar tipo caixa de maneira rápida e segura.

Trabalhos futuros serão a garantia de que esta proposta é uma boa escolha para laboratórios e pessoas que se interessam pelo equipamento solar, de uma maneira de se acreditar em um bem maior, que é o Sol e seus benefícios gratuitos.

Agradecimentos

Agradecemos ao apoio financeiro da FAPITEC e ao suporte da OGRAMAC metalização.

REFERÊNCIAS

Ahmad, Bashir 2001 .Users and disusers of box solar cookers in urban india, implications for solar cooking projects. Solar Energy, vol. 69, pp. 209–215.

Bird, R. B. ; Stewart, W. E; Lightfoot, E. N. , Fenômenos de Transporte. Editorial Reverté S.A., 1980

Brasil, Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional. 2005

Funk, P.A. 2000. Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance. Solar Energy, vol. 68, n, 1, pp.1–7.

Kumar, Suboth 2005. Estimation of design parameters for thermal perfomance evaluation for box-type solar cooker. Renewable Energy 30: 1117-1126.

Onyano, Charles 2006. The special challenges of solar cooking.

Sheraga, Carl A. et al. 2000. Lead users and technology transfer to less developed countries: analysis, with an aplication to Haiti. Technology in Society, vol. 22, pp.: 415-425.

Suharta, Herliyani et al. 1999. The social acceptibility of solar cooking in Indonesia. Renewable Energy, vol. 16, pp. 1151-1154.

Proposal of Study for Calculation of Efficiency and Cooking Power of the Box Type Solar Cooker: Analogy with Heat Exchangers

Abstract: *The models used for the calculation of efficiency and power of the box type solar coooker reveals complexity, due the necessity of getting thermals variables of difficult access. This work intends to show to the box type solar cooker like a heat exchanger, to measure the power and efficiency of the cooker. In the state of Sergipe, equally to the others states of the northeast in Brazil, the consumption of firewood to cook is still intense, especieally in the low income population, what causes ambient degradation (deforestation of the native caatinga, desertification process), pollution in closed environments and some others negative factors. So it was opted the research of the solar sooker in order to try to improve the quality of life of the humble people on the region, by the attempt of the substitution of the firewood and minimização of the social and environmental problems. The procedure here explaneid shows that the box type solar cooker had presented efficiency and power in agreement with some results of the literature for that type of cooker.*

Key words: Box Type Solar Cooker, Solar Energy, Cooking Power, Efficiency