

T. 11/11/11



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE



Faculdade de Ciências

Departamento de Física

Energias Renováveis

Opção II

Fogão Solar Tipo Caixa

Docente
Dr. Boaventura Cuanha

Discente:
Machava, Luis Alberto

Maputo, Dezembro de 2011

Índice

Resumo.....	1
1- Introdução.....	2
2- Objectivos.....	2
1- Objectivo principal.....	2
2- Objectivos específicos.....	2
3- Fundamentos teóricos	
3.1. O sol. Radiação solar.....	2
3.2. Reações de produção de energia solar.....	3
3.3. Interação da radiação com a matéria.....	3
3.3.1. Reflexão do material.....	4
3.4. Tabela comparativa de alguns valores de reflexão de alguns materiais.....	4
3.5. Algumas leis de radiação.....	4
3.6. Tipos de raios.....	5
3.7. Radiação solar espaço terrestre e extraterrestre.....	6
3.8. Exigências de materiais do fogão solar.....	7
3.9. Princípio básico do funcionamento do fogão Solar.....	9
3.10. Transferência de calor.....	10
3.11. Tipos de fogões solares.....	11
3.11.1. Fogão solar Tipo Painel (Cookit):.....	12
3.11.2. Fogão solar Tipo Caixa:.....	12
3.11.3. Fogão solar Parabólico.....	13
3.12. Eficiência e potência do fogão solar tipo caixa.....	13
3.13 Teste do fogão	14
3.13.1 Procedimento do teste.....	14
4. Metodologia	
4.1. Material usado.....	14
4.2. Configuração esquemática do teste.....	15
4.3. Fórmulas usadas.....	15
4.5. Dados referentes à experiência.....	15
5 Resultados e Descrição.....	19
6 Referências bibliográficas.....	19
7 Conclusões.....	19

Resumo

O aquecimento do planeta terra nos últimos anos tem sido uma preocupação para todo o mundo, devido ao uso de energias que emitem gases do efeito estufa, o que põe em perigo a vida do próprio homem.

Uma forma de minimizar a taxa de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera terrestre é o uso de energias limpas, tal como a energia solar. A energia solar pode ser usada como combustível em fogões, em substituição de fogões convencionais.

A mudança de fogões convencionais para fogões solares é uma decisão ecologicamente genial pois, a energia solar é uma energia limpa, isto é, não destrói o meio ambiente.

O uso do fogão solar inclui vantagens tais como baixo custo e Minimização do desflorestamento.

O uso deste fogão abrange fins residenciais, urbanos e rurais.

Neste trabalho serão apresentados alguns aspectos importantes sobre a construção de um fogão solar, a conversão de energia do sol em energia de cozimento e a determinação da eficiência do mesmo fogão.

1 - Introdução

Um fogão solar é fogão que usa a energia proveniente do sol como combustível para o aquecimento da água ou para o cozimento de alimentos.

Aproveitando a energia que vem do sol, o fogão transforma a irradiação solar em calor para o preparo de alimentos reduzindo o esforço na busca da lenha e contribuindo ainda para a preservação da natureza possibilitando o aumento da capacidade de remoção de dióxido de carbono na atmosfera e a redução da concentração deste gás de efeito estufa na atmosfera.

A vantagem principal do uso do fogão solar é a disponibilidade gratuita de energia, para além de ser uma energia limpa.

Para a construção de um fogão solar são usados materiais como o vidro, caixa, papel, entre outros.

Um fogão solar tem uma construção bastante fácil e uso simples e necessita apenas de um acompanhamento do movimento aparente do sol.

O uso do fogão solar é uma via alternativa para a redução do pico da demanda de energia convencional e esta descoberta do uso da energia solar contribue para obtenção de uma matriz energética que menos "agrida" a nossa atmosfera.

2. Objectivos

2.1 - Objectivo principal

- ✓ Analizar a eficiência de um fogão solar box cooker.

2.2- Objectivos específicos

- ✓ Determinar o tempo necessário para ferver uma certa quantidade de água;
- ✓ Determinar a eficiência térmica do fogão;
- ✓ Determinar a potência do fogão;

3. Fundamentos teóricos

3.1. O sol. Radiação solar

O sol é uma esfera gasosa com diâmetro de $1,39 \cdot 10^9$ metros e está a uma distancia de $1,5 \cdot 10^{11}$ metros da terra.

O sol é um corpo negro (absorve toda a radiação nele incidente e emite de acordo com a sua temperatura), com uma temperatura efectiva de 5777K e uma temperatura no centro estimada em $8 \cdot 10^6$ K.

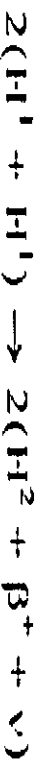
A frieza relativa da superfície externa do Sol é indicação de que a energia criada no interior é dissipada radiativamente pela superfície externa do Sol.

Somente uma pequena fração de energia do Sol atinge a Terra, em virtude da grande distância entre eles. A intensidade da radiação solar que atinge a atmosfera foi determinada muito precisamente por uma série de medidas feitas com o emprego de balões, de aviões, e de naves espaciais, de 1967 a 1970. A energia resultante é conhecida como a *constante solar GS*, e vale: $GS = 1.353 \text{ W/m}^2$

3.2. Reações de produção de energia solar

Várias reações de fusão foram sugeridas para fornecer a energia radiada pelo sol, mas a mais considerada importante reação é um processo no qual hidrogénio (i.é, 4 prótons) combinam-se para formar núcleo de hélio. A massa do hélio é menor em comparação com a de 4 prótons, e essa diferença de massa (perdida na reação) é convertida em energia. Essa reação traduz-se no ciclo Protão-protão a seguir:

Ciclo PP:



3.3. Interação da radiação com a matéria

Quando a radiação electromagnética interage com a matéria ela pode ser reflectida, absorvida ou transmitida.

A transmissão, reflexão e absorção por várias partes de um coletor solar são importantes na determinação da “performance” dum coletor. Esses três fenómenos dependem de radiação incidente, espessura, índice de refração, e coeficiente de extinção do material.

3.3.1. Reflexão do material

Para uma superfície lisa, a reflexão da radiação não polarizada, ao passar de um meio 1 com índice de refração n_1 para um meio 2 com índice de refração n_2 é:

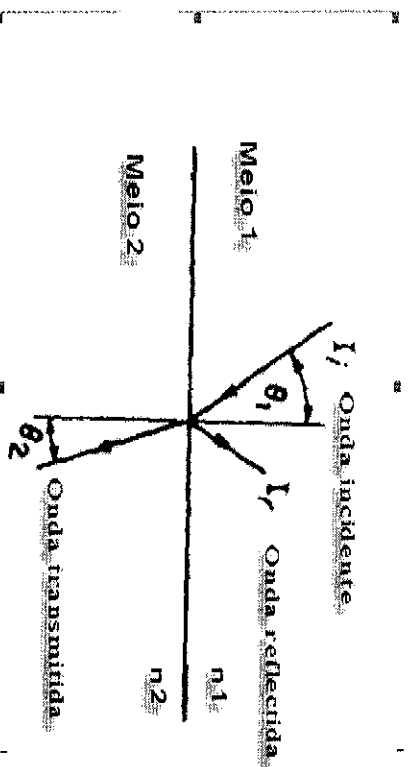


Figura.1: efeitos da passagem da luz de um meio para o outro

Fonte: John A. Duffie & William A. Beckman” Solar Engineering of Thermal Processes”, 2ª edição.

θ_1 – Angulo de incidencia θ_2 – Angulo de refracção

3.3.2. Absorção de radiação

A absorção de radiação num meio transparente é proporcional à intensidade e distancia que a radiação atravessa no meio.

$dI = -I \cdot k \cdot dx$, k é uma constante de proporcionalidade, o coeficiente de extensao.

Integrando ao longo do comprimento no meio tem-se:

$$\tau_a = \frac{I_{transmitted}}{I_{incident}} = \exp\left(-\frac{KL}{\cos \theta_2}\right)$$

3.4. Tabela comparativa de alguns valores de reflexao de alguns materiais

Superficie reflectora	% factor de reflexao
Prata	92 - 97
Ouro	60 - 92
Niquel pulido	60 - 65
Cromo pulido	60 - 65
Aluminio pulido	67 - 72
Aluminio vaporizado	90 - 95
Cobre	35 - 80
Espelhos	80 - 85
Verde claro	70 - 80

Azul claro	45 - 55
Cinzentio claro	40 - 50
Vermelho Claro	30 - 50
Negro	3 - 4

Tabela.1.

Podem-se ver pela tabela que o factor de reflexao nunca chega 100%, pois por mais pequeno que seja há um certo valor que corresponde á absorcao do material e transformada em calor.

3.5. Algumas leis de radiação

➤ Lei de Stefan-Boltzmann:

A energia de um corpo negro é proporcional á quarta potencia da sua temperatura absoluta.

$$E = \sigma \cdot T^4$$

$$\text{Para um corpo cinzento: } E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad 0 < \epsilon < 1$$

Onde

σ = constante de proporcionalidade, denominada constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} = 4,03 \times 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ K}^{-1}$ e T = temperatura absoluta (K).

➤ Lei de Wien:

o produto de comprimento de onda corresponde de ao máximo de emittancia espectral pela temperatura de um corpo é uma grandeza constante.

$$\lambda \cdot T = 2897,8$$

➤ Lei de conversao de Radiação global:

$$I_g = I_{\text{directa}} + I_{\text{difusa}}$$

3.6. Tipos de raios

Existem três tipos de raios, nomeadamente:

Raios absorvidos, raios dispersados e raios directos.

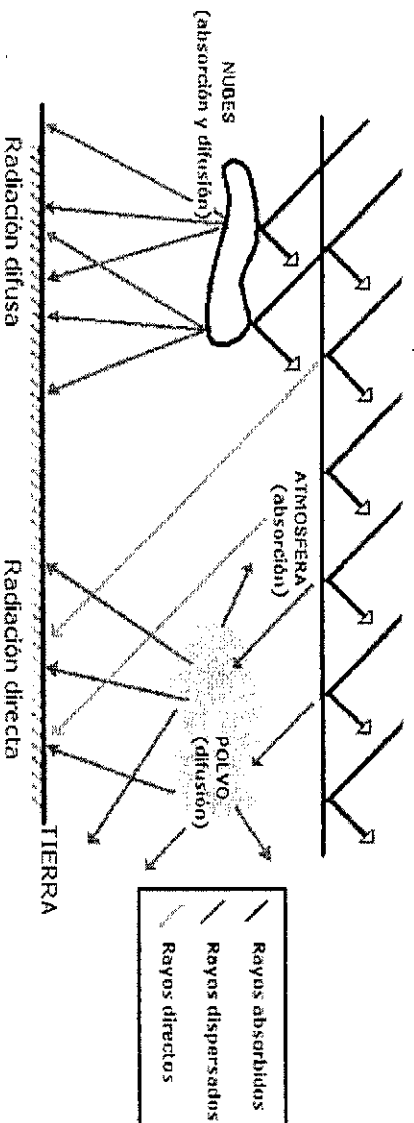


Figura.2: Tipos de raios

➤ Raios directos:

sao raios do sol que chegam á superfície de forma directa, isto é, raios que nao tenham sofrido espalhamento algum na atmosfera terrestre. O comprimento de onda dos raios directos nao sofre alteracao ate alcançar a superfície terrestre. Esses raios sao de onda curta.

➤ Raios dispersados:

sao raios que interagiram com as componentes da atmosfera terrestre e difundiram-se através deles.

Os raios dispersados tomam direções aleatórias na sua propagação e alguns raios sao redireccionados para o espaço extraterrestre.

➤ Raios absorvidos:

Sao raios do sol que nao chegam á superfície terrestre devido á total absorção que se verifica quando os raios interagem com as componentes da atmosfera.

- A absorção dos raios dá-se devido á presença de átomos ou moléculas com bandas de absorção em certos comprimentos de onda. (Johnson Pontes De Moura – *outubro /2007. Dissertação de Mestrado.* Universidade federal do rio grande do norte.)

3.7. Radiação solar espaço terrestre e extraterrestre

A intensidade da radiação solar que atinge a atmosfera foi determinada muito precisamente por uma série de medidas feitas com o emprego de balões, de aviões, e de naves espaciais, de 1967 a 1970. A energia resultante é conhecida como a *constante solar GS*, e vale: $GS = 1.353 \text{ W/m}^2$

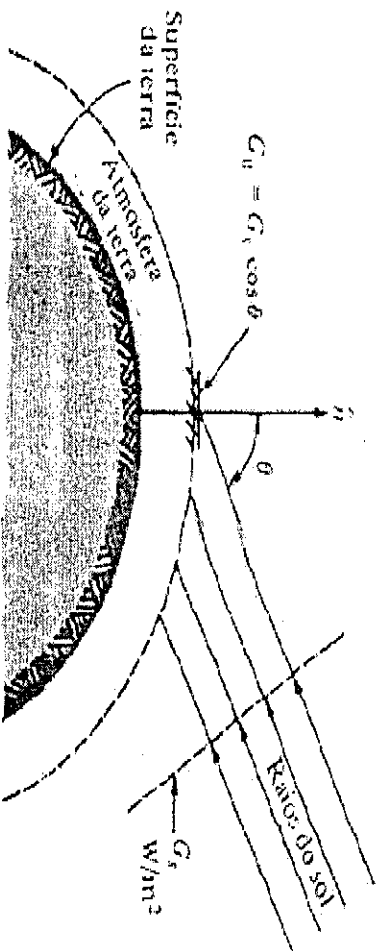


Figura.3: Constante solar GS e radiação solar extraterrestre

Essa quantidade representa o *fluxo de radiação solar incidente* sobre um plano normal aos raios de Sol, exatamente no limite da atmosfera da Terra, quando ela está à distância média do Sol. À medida que a Terra se desloca em torno do Sol, em uma órbita ligeiramente elíptica, a distância entre eles varia de 98,3 % da distância média, quando a Terra está no ponto mais próximo do Sol, até 101,7 % da distância média, quando a Terra atinge sua distância máxima ao Sol. Por isso, o valor instantâneo de G_s varia aproximadamente por $\pm 3,4$ % isto é, do máximo 1.399 W/m², em 21 de dezembro, ao mínimo 1.310 W/m², em 21 de junho. Entretanto, para fins práticos a variação de G_s é desprezada, e retorna a constante como 1.353 W/m². Então a energia solar G_o que incide normalmente na superfície externa da atmosfera terrestre é: $G_o = G_s \cdot \cos \theta$.

(<http://www.solarcooking.org>)

O valor de G_s pode ser utilizado na lei da radiação do corpo negro para estabelecer uma temperatura efetiva T_s da superfície do Sol:

$$G_s = \left(\frac{r}{R}\right)^2 \sigma T^4$$

Onde:

$$G_s = 1.353 \text{ W/m}^2$$

$$r = 6,9598 \cdot 10^8 \text{ m, raio do disco solar}$$

$$R = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m, distância média da Terra ao Sol}$$

$$\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4), \text{ constante de Stefan-Boltzmann}$$

Então, a temperatura efetiva da superfície do Sol é $T = 5.762 \text{ K}$.

A radiação solar que atinge a superfície mais elevada da atmosfera terrestre propaga-se através da atmosfera da Terra antes de chegar à superfície. Aproximadamente 99 % da atmosfera estão à distância de cerca de 30 km a partir da superfície da Terra. À medida que a radiação solar atravessa a atmosfera ela é absorvida ou é espalhada pelo meio atmosférico. Na *Figura 4* se mostra a distribuição espectral da radiação solar G_{λ} , exatamente fora da atmosfera da Terra e no nível do solo, quando a atmosfera está clara. Nota-se que a energia total contida abaixo da curva G_{λ} representa o *fluxo de radiação solar* exatamente acima da atmosfera terrestre, isto é:

$$\int_0^{\infty} G_S \lambda \cdot d\lambda = G_S = 1353 \text{ w/m}^2$$

➤ A curva da distribuição espectral da radiação solar que chega na superfície da Terra fica abaixo da curva de $G_S \lambda$ e mostra vários mínimos. O motivo disto é a absorção da radiação solar pelo O_3 , O_2 , CO_2 e H_2O em diversos comprimentos de onda. O ozônio (O_3), que está concentrado em uma camada 10 a 30 km acima da superfície da Terra, absorve fortemente a radiação ultravioleta no intervalo $\lambda = 0,2$ a $\lambda = 0,29 \mu\text{m}$ e bastante no intervalo $0,9$ a $0,34 \mu\text{m}$. (Johnson Pontes De Moura – outubro /2007. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do rio grande do norte.

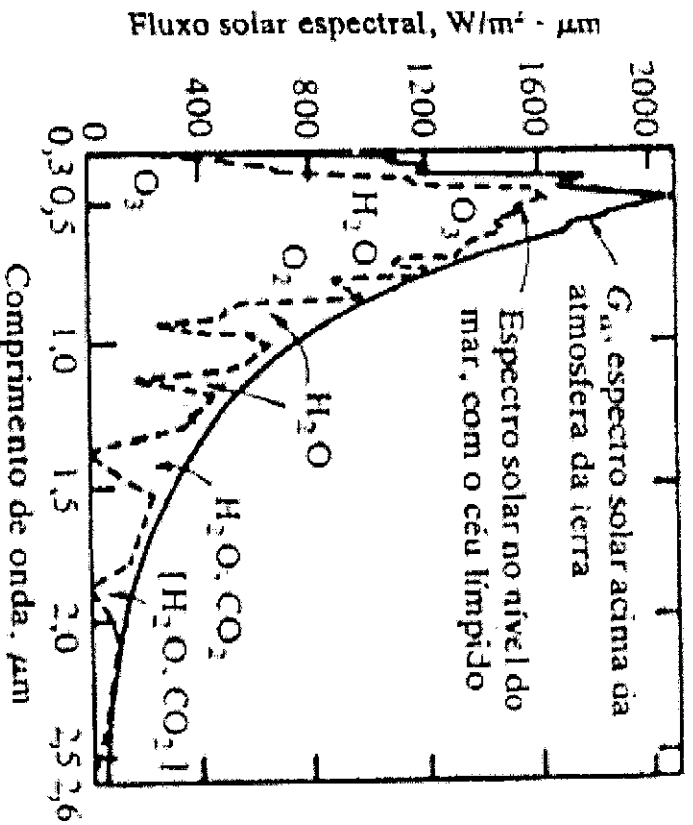


Figura.4: Efeitos da atenuação atmosférica sobre a distribuição espectral da radiação solar. Fonte: Jhonson Pontes de Moura. Dissertação de mestrado.

3.8. Exigências de materiais do fogão solar

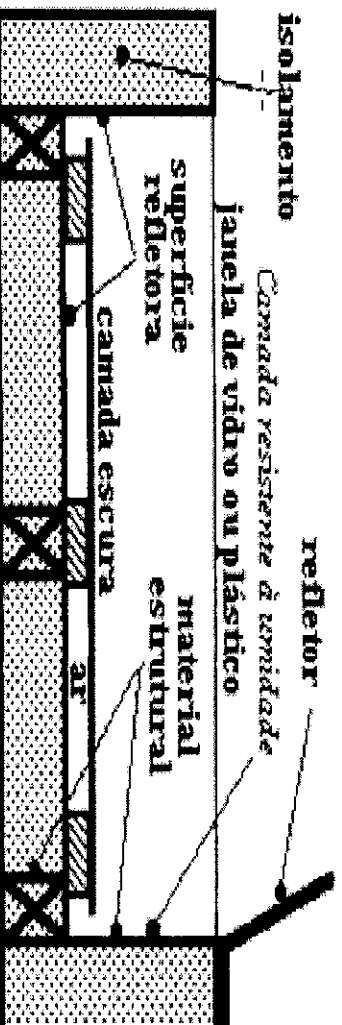


Figura.5: Exigências de materiais do fogão solar

Na construção de caixas solares existem 3 tipos de materiais devem ser usados. Esses materiais são: Transparentes, estruturais e isolantes. Esses materiais devem ser resistentes à humidade.

➤ **Material estrutural:**
o uso de material estrutural é necessário para que a caixa tenha e mantenha a forma desejada e dure por muito tempo.

➤ **Material isolante:**
para que a caixa solar mantenha temperaturas interiores altas o bastante para o cozimento, as paredes e o fundo da caixa devem ter um bom isolamento (boa retenção de calor dentro da caixa).

Na construção de um fogão solar é importante revestir o material por todos lados, com excepção do lado transparente (geralmente o topo).

Materiais isolantes devem ser instalados de tal forma que permitam o mínimo de condução do material estrutural da caixa interna para o material estrutural da caixas externa.

Um dos requisitos básicos para ser um bom isolante é que o material tenha uma baixa condutibilidade térmica para que não ocorra a perda de calor para o meio externo por nenhum tipo de transmissão de calor, principalmente por condução.

➤ **Material transparente:**
pelo menos uma superfície da caixa deve ser transparente e estar voltada para o sol de modo a permitir o aquecimento do interior da caixa pelo efeito estufa.

3.9. Princípio básico do funcionamento do fogão Solar:

Em geral, os fogões têm o mesmo princípio de funcionamento.

Quando a luz do sol atinge o fogão, parte dessa energia é convertida em energia calorífica, necessária para o cozimento, em uma área apropriada para a conversão. A conversão de energia solar não é total devido as perdas de energia na área de conversão. Um fogão solar cozinha porque o interior do fogão é aquecido pela energia do Sol.

A luz do Sol, quer a directa quer a indirecta, entra na caixa solar do fogão através da cobertura de vidro. Transforma-se em energia calorífica quando é absorvida pela placa absorvedora preta e pela panela. Esta absorção de calor provoca o aumento da temperatura dentro do fogão solar até que a perda de calor do fogão seja igual ao ganho de calor solar.

Para a condução dos raios solares até a superfície de conversão devem ser usados materiais altamente reflectores de modo que não haja escape de raios, proporcionando desta maneira maior conteúdo para a conversão. Esses materiais podem ser, por exemplo, o vidro e o alumínio.

As temperaturas suficientes para cozinhar alimentos e aquecer água são facilmente alcançadas.

3.10. Transferencia de calor

O calor dentro de um fogão solar nunca se mantém constante. Sempre ha perdas de energia calorifica através de 3 fundamentos de transferência de calor. Esses processos de tranferencia de calor são:
Covenção, Condução e Radiação.

➤ **Condução**

É o que conhecemos como transferência de calor por difusão. Isto se refere ao transpote de energia por meio do gradiente de temperatura, ja que o calor se desloca da fonte mais quente para o frio.

Ao se manter a extremidade de uma agulha de ferro em uma chama, logo ela ficará quente demais para que se possa segurá-la. O calor penetra na agulha de metal pela extremidade mantida na chama e é transferida para toda agulha. Esse modo de transmissão de calor é chamado de condução. O fogo faz os átomos da extremidade aquecida vibrarem cada vez mais rapidamente. Em consequência, esses átomos e elétrons livres colidem com seus vizinhos e assim por diante. Esse processo de múltiplas colisões continua até que o aumento no movimento seja transmitido a todos os átomos, e o corpo inteiro torne-se mais quente. A condução de calor ocorre por meio de colisões atômicas e eletrônicas.

O quanto um determinado objeto conduz bem ou mal o calor depende das ligações em sua estrutura atômica ou molecular. Os sólidos formados por átomos com um ou mais de seus elétrons mais externos "fracamente" ligados, são bons condutores de calor (e de eletricidade). Os metais possuem os elétrons externos mais "fracamente" ligados, que são livres para transportar energia por meio de colisões através do metal. Por essa razão eles são excelentes condutores de calor e de eletricidade. A prata é o melhor condutor de todos, seguido do cobre e, entre os metais comuns, o alumínio e depois o ferro são os próximos em ordem. Lã, madeira, papel, cortiça e isopor, por outro lado, são condutores pobres de calor, porque os elétrons mais externos dos átomos desses materiais estão firmemente ligados. Os maus condutores são denominados isolantes.

Como a madeira é um bom isolante, ela é usada para revestir os cabos de utensílios de cozinha. Mesmo quando está quente, uma pessoa pode agarrar o cabo revestido de madeira de uma panela com as mãos descobertas e rapidamente retirá-la do forno aceso sem queimar-se. Se o cabo fosse de ferro, à mesma temperatura, certamente a pessoa queimaria sua mão.

A maior parte dos líquidos e dos gases são maus condutores de calor. O ar é um péssimo condutor. As boas propriedades isolantes de materiais como lã, peles e penas devem-se igualmente bons isolantes por causa de seus pequenos espaços cheios de ar. A equação abaixo ilustra a transferência de calor por condução.

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (\text{Lei de Fourier})$$

Onde:

q: fluxo de calor por convecção

k: Coeficiente de condutividade térmica;

dT: Diferença (infinitesimal) de temperatura dentro do material;

dx: Diferença (infinitesimal) do espaço dentro do material

➤ **Convecção:**

Os líquidos e os gases transmitem calor principalmente por convecção, que é a transferência de calor devido ao próprio movimento do fluido.

Diferentemente da condução (em que o calor é transmitido através de sucessivas colisões de átomos e de elétrons), a convecção envolve o movimento de massa - o movimento global de um fluido, como representado na equação abaixo:

$$q = h (T_s - T_\infty)$$

Onde:

q: é o fluxo de calor

h: Coeficiente de transferência de calor por convecção;

T_s: Temperatura da superfície;

T_∞: Temperatura do ambiente

➤ **Radiação:**

A energia vinda do Sol atravessa o espaço, depois a atmosfera terrestre para, então, aquecer a superfície da Terra. Essa energia não passa através da atmosfera por condução, pois o ar é um mau condutor. Também não passa por convecção, pois esta só tem início quando a Terra já está aquecida. Sabe-se também que no espaço vazio (no Vácuo) não é possível haver transmissão da energia solar por convecção ou condução. Assim, tem-se que a energia deve ser transmitida de outra maneira, por radiação. A radiação que está sendo tratada é a radiação eletromagnética, "incluindo a luz visível". A mesma não deve ser confundida a radioatividade. A energia transmitida dessa maneira é denominada energia radiante.

$$q_{\text{rad}} = h_r A (T_s - T_{\text{viz}}) \quad h_r = \sigma \epsilon (T_s - T_{\text{viz}}) (T_s + T_{\text{viz}})$$

h_r: coeficiente de troca de calor por radiação

ε₁ e ε₂: emissividades das superfícies

σ: contante de Boltzmann $\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^2$

3.11. Tipos de fogões solares

Existem três tipos de fogões solares: tipo painel, tipo caixa e tipo parabólico.

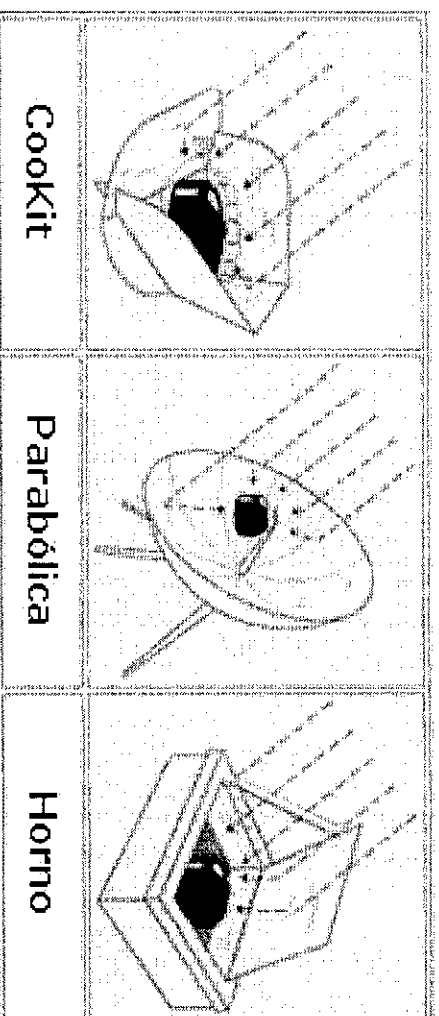


Figura 6: Tipos de fogões solares

3.11.1. Fogão solar Tipo Painel (Cookit):

Este tipo de fogão apresenta menor rendimento, temperaturas de até 100 graus centígrados ou pouco mais (é possível cozinhar nestas temperaturas). O tempo de cozimento é maior. Para maior rendimento a panela deve ser revestida de saco plástico para fornos (300 graus) ou recipiente de vidro transparente.

➤ Vantagens:

Mais eficiente que o do tipo caixa

➤ Desvantagens:

Baixa eficiencia em dias de céu nublado.

3.11.2. Fogão solar Tipo Caixa:

São fogões feitos de caixa (papelão, madeira, plástico), com tampa de vidro para efeito estufa. Possuem abas ou refletores laterais que concentram a energia térmica solar dentro da caixa. Esse tipo de fogão caracteriza-se por permitir a obtenção de temperaturas em torno de 150⁰ C. Este tipo de fogão necessita de certo direcionamento de acordo com o movimento aparente do sol, de modo a concentrar a energia solar dentro da caixa.

Vantagens :

- ✓ Não produz efeitos danosos ao usuário pela contempção.
- ✓ Funciona praticamente sem intervenção do usuário;

- ✓ Usa ambas radiações, a directa e a difusa.

Desvantagens:

- ✓ Demoram aquecer.

3.11.3. Fogão solar Parabólico

Sem dúvida, são os fogões de melhor rendimento que existe. São de formato parabólico, com foco convergente. Permitem altas temperaturas (superiores a 300 graus centígrados), com menor tempo de cozimento. São direccionais, necessitando reajuste de angulo da parábola a cada 15-20 minutos. Permitem cozinhar, fritar, assar, com rendimento igual ou superior a energia térmica da chama de um fogão a gás convencional. Podem ser construídos com diversos materiais: fibra de vidro, plástico moldado, papelão, alumínio polido em estrutura de apoio, etc.

➤ Vantagens

São bem eficientes;
Pode atingir temperaturas bem altas.

Desvantagens:

- ✓ São mais caros e de construção mais difícil;
- ✓ Requerem maior investimento do tempo para o posicionamento dos espelhos reflectores, visto que os raios solares provenientes da parábola podem cegar.

3.12. Eficiência e potência do fogão solar tipo caixa

O rendimento de um fogão é definido como sendo a razão entre a energia fornecida ao fogão pela energia convertida.

O processo de conversão de energia solar em energia térmica passa por alguns estágios, como se segue:

- 1) No primeiro estágio, a radiação solar é captada através de uma superfície de colecção e reflectida até o estágio de absorção e conversão de energia solar em energia térmica. A eficiência do primeiro estágio é dada por D_0 (eficiência óptica).
- 2) No segundo estágio a radiação solar é absorvida e transferida para a água através da panela, cujo rendimento depende das propriedades do material empregado como, por exemplo, absorvidade e a emissividade. A eficiência do primeiro estágio é dada por D_t (eficiência térmica).

- A eficiência de todo ciclo de transformação de energia solar em térmica é dada pelo produto das eficiências óptica e térmica. (<http://www.solarcooking.org>)

A potência do fogão obtém-se pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{T_2 - T_1}{500} m_w C_w.$$

C_w é o calor específico da água

Esta potência deve ser balanceada pela radiação de 700 w/m^2 , e torna-se $P_s = P \left(\frac{700}{I} \right)$

A eficiência térmica se determina pela expressão $D_t = P_s / I.A$

3.13. Teste do fogão Solar tipo caixa

3.13.1. Procedimento do teste:

O teste do fogão solar tipo caixa foi realizados em 3 dias. Nesse período experimental os seguintes parâmetros foram medidos:

- Temperatura ambiente do ar ;
- Temperatura interna da panela ;
- Temperatura dentro da caixa;
- Energia de radiação solar total na superfície – I.

A temperatura interna da panela foi lida a cada 10 minutos. A radiação solar foi medida pelo sensor de energia solar;

A velocidade do vento foi desprezada por apresentar valores muito baixos.

A posição do fogão solar tipo caixa foi fixada em área descoberta de forma que sua exposição ao Sol fosse máxima e para uma melhor focalização da radiação solar no interior do forno.

4. Metodologia

A experiencia foi realizada no Departamento de Fisica da Universidade Eduardo Mondlane a uma altura de 46 metros e teve uma duração de trez dias e o estudo foi feito com um volume de trez litros de água.

O acompanhamento da posição do sol era feito de dez em dez minutos.

A realização desta experiência baseou-se em um levantamento experimental de dados, no qual através de um dataloger conectado a termopares, registavam-se temperaturas do sistema de 10 em 10 minutos. O cálculo da potencia e da eficiência obedeceu a norma americana (ASAE).

4.1. Material usado

- Um fogao solar: cuja potencia e eficiencia se pretende determinar.
- Uma panela: que contém água
- Um Termopar: para a medição das temperaturas do sistema.
- Um computador: para visualizar as temperaturas medidas pelo termopar.

- Perilômetro: para a medição da radiação solar directa.

4.2. Configuração esquemática do teste

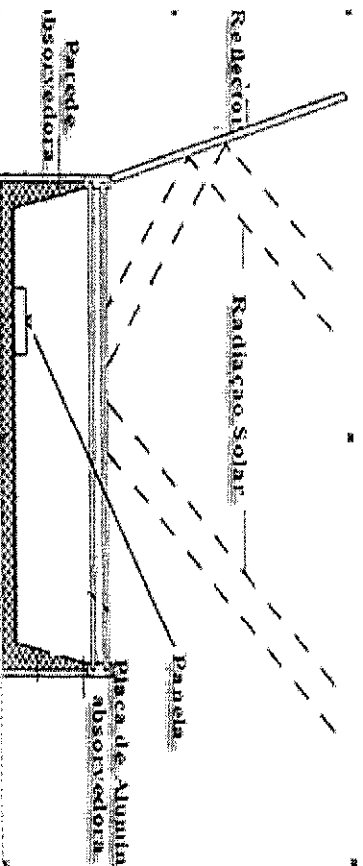


Figura.7: Esquema do teste

4.3. Fórmulas usadas

- Potência útil: $P_u = \frac{1}{600} m_a c_a (T_2 - T_1)$
- Potência útil normalizada : $P_s = P_u \cdot \frac{700}{I_s}$
- Potência total: $P_t = I_s A_u \eta_0$
- Eficiência do fogão: $\eta = \frac{P_{21}}{P_t} = \frac{\frac{1}{600} m_a c_a (T_2 - T_1)}{I_s A_u \eta_0}$

Onde:

- m_a : massa da água
- c_a : calor específico da água
- I_s : radiação global
- η_0 : eficiência do vidro $\eta_0 = 0,77$

4.5. Dados referentes à experiência:

- Area da base do fogao solar = 0,130725 m²
- Area lateral da panela = 0,11775 m²
- Altura da panela = 15 cm
- Area da base da panela = 0,0490655 m²
- $m = 3$ litros $C = 41865 \text{ J}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$

5. Resultados e Descrição

5.1. Tabela de dados obtidos experimentalmente

Primeiro dia (12 de Agosto)

HORAS (horas)	TC0 (⁰ C)	TC1 (⁰ C)	TC2 (⁰ C)	Rad Global ()	Ps	D _i
11:40 - 11:49	22,81	22,43	65,23	639,84		
11:50 - 11:59	23,14	32,27	70,07	634,69	22,68	0,599
12:00 - 12:09	22,76	40,37	72,10	641,51	18,47	0,550
12:10 - 12:19	22,77	47,48	74,20	640,92	16,22	0,540
12:20 - 12:29	22,77	54,26	78,71	637,80	15,55	0,539
12:30 - 12:39	22,56	60,76	78,77	633,13	15,01	0,500
12:40 - 12:49	22,46	66,54	78,82	623,19	13,56	0,497
12:50 - 12:59	22,80	71,55	82,12	622,11	11,78	0,400
13:00 - 13:09	22,27	76,00	83,04	613,13	10,61	0,352
13:10 - 13:19	22,53	79,82	84,11	592,18	9,43	0,350
13:20 - 13:29	22,84	83,02	85,05	580,68	8,06	0,325
13:30 - 13:39	22,96	85,80	87,02	558,05	7,28	0,302
13:40 - 13:49	22,43	88,16	94,10	540,68	6,38	0,290

Tabela.2

A potencia média obtida no primeiro dia é de $P = 15,41 \text{ W}$ e uma eficiencia $\eta = 38,5\%$

Segundo dia (01 de Setembro)

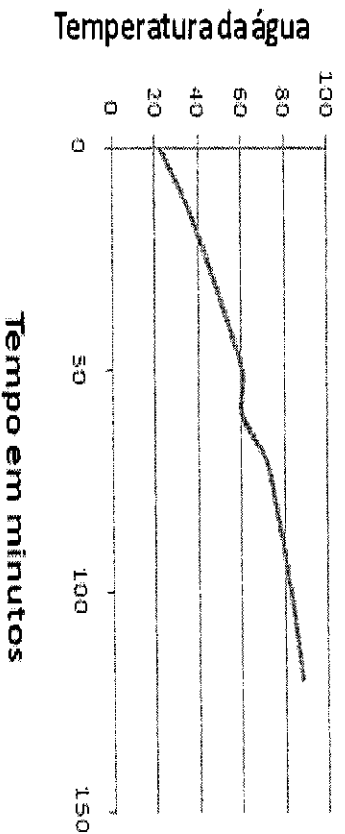
HORAS (horas)	TC0 (⁰ C) ambiente	TC1 (⁰ C) água	TC2 (⁰ C) forno	Rad Global (w/m ²)	Ps (W)	η
13:10 - 13:19	26,11	27,51	66,65	668,34		
13:20 - 13:29	26,72	33,32	68,72	654,68	21,7	0,500
13:30 - 13:39	26,52	40,09	75,94	637,20	14,9	0,499
13:40 - 13:49	26,77	47,64	78,98	620,55	17,4	0,394
13:50 - 13:59	26,47	53,69	81,86	600,20	16,7	0,391
14:00 - 14:09	26,70	58,94	89,39	581,51	16,6	0,250

14:10 – 14:19	26,77	63,36	97,68	562,00	11,2	0,170
14:20 – 14:29	26,17	66,73	88,04	538,28	8,0	0,167

Tabela.3

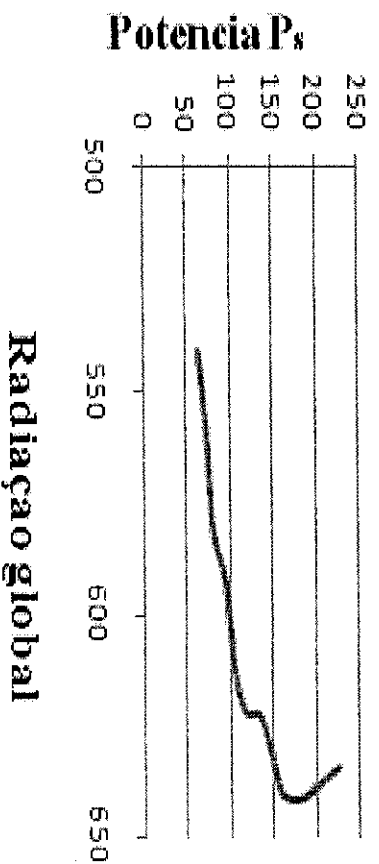
Para o segundo dia a potencia $P = 15 \text{ W}$ e a eficiencia do fogao solar $\eta = 40\%$.

5.2. Gráfico da evolução da temperatura da água com o tempo:

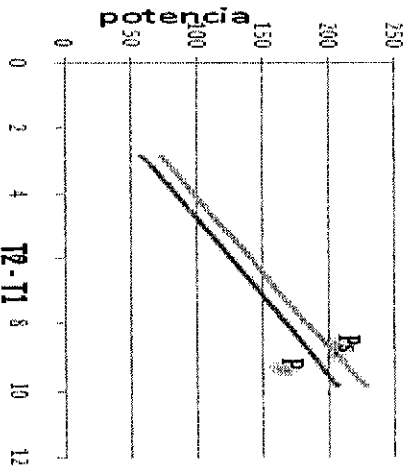


A temperatura da água cresce com o tempo e tende a atingir a temperatura de ebulição da água.

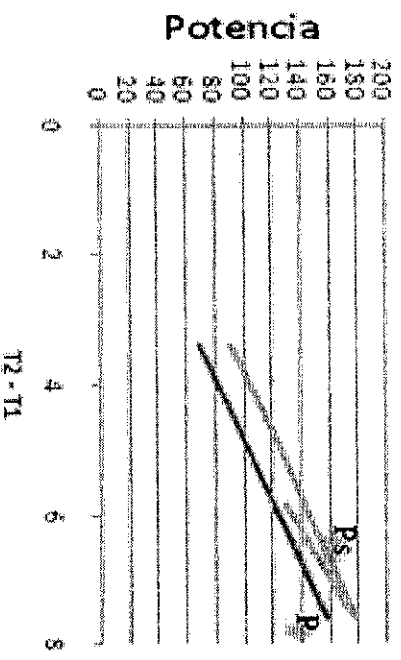
5.3. Gráfico de Potencia P_s versus radiação global



5.4. Gráfico das Potências P e P_s para o primeiro e segundo dia:



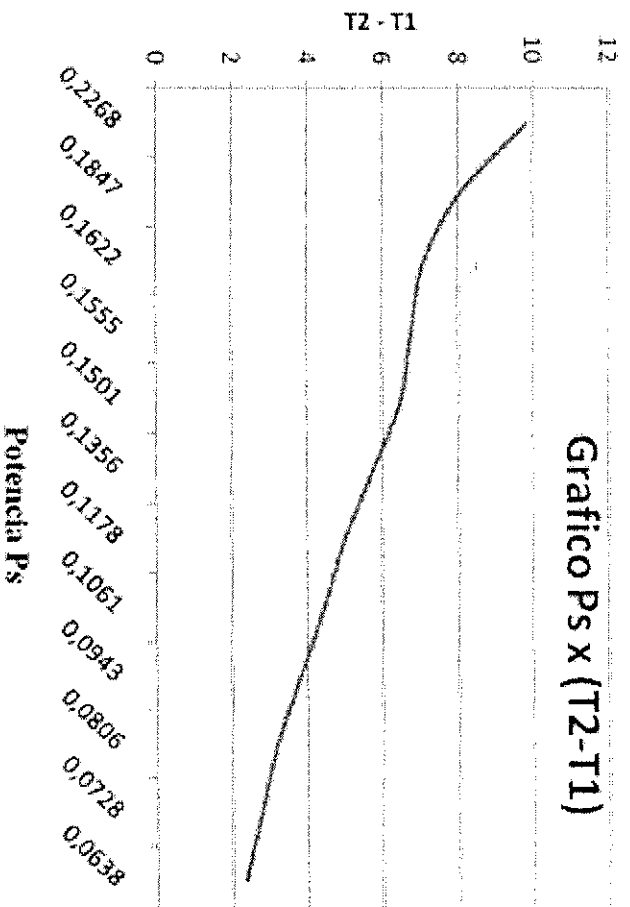
a) Primeiro dia



b) Segundo dia

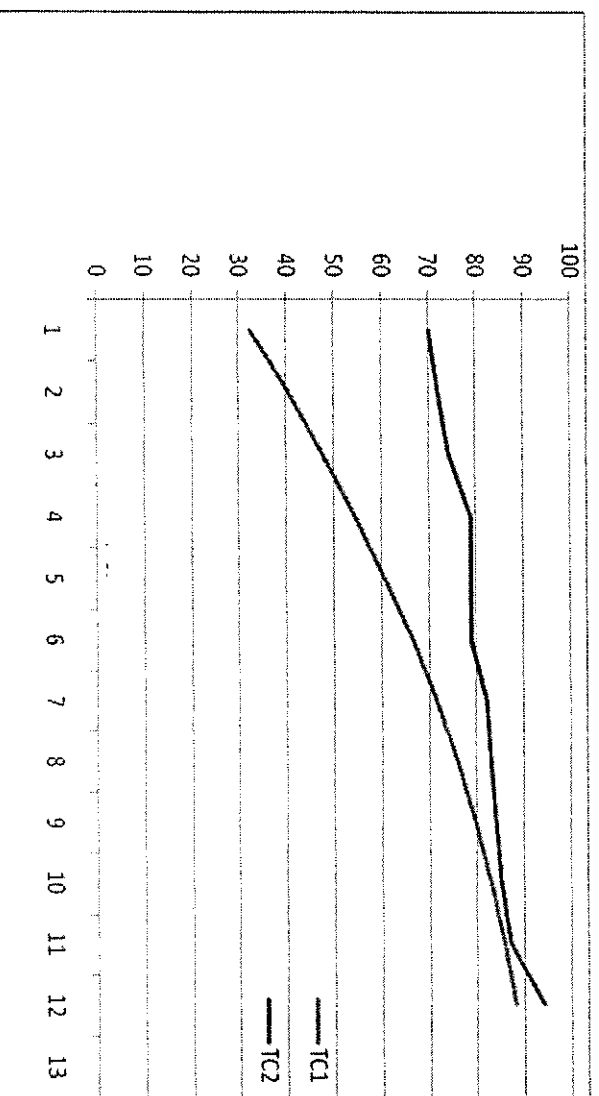
As potencias obtidas no primeiro e segundo dia da experiencia sao respectivamente 38,5 e 40%; e as potencias normalizadas foram de 138W para o primeiro dia e 140W para o segundo dia.

5.5. **Gráfico da Potencia estandarizada Versus variação da temperatura**



Pela análise do gráfico, a potência normalizada do fogão solar é máxima quando a diferença de temperaturas entre dois instantes consecutivos (considerados de dez em dez minutos) é a máxima possível, isto é, a potência é proporcional à diferença de temperaturas da água de um tempo para o outro.

Evolução das Temperaturas da água (TC1) e do ambiente (TC2)



Facilmente se pode verificar que as duas temperaturas tendem a atingir um equilíbrio termodinâmico.

6. Conclusões

- Um fogão solar tipo caixa precisa, em média, de duas horas para ferver 3 litros de água.
- Um fogão solar tipo caixa tem uma potência normalizada de 15Watt e uma eficiência de 40 por cento.

7. Referencias bibliográficas

- John A. Duffie & William A. Beckman” Solar Engineering of Thermal Processes”. 2ª edição.
- Johnson Pontes De Moura – *outubro /2007. Dissertação de Mestrado.* Universidade federal do rio grande do norte.
- <http://www.solarcooking.org>