

# AVALIAÇÃO TÉRMICA DE UM FOGÃO SOLAR COM DISCOS PARABÓLICOS

**Juliano Romagna** – romagna.juliano@gmail.com

**Letícia Jenisch Rodrigues** – leticia.jenisch@mecanica.ufrgs.br  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia,  
Departamento de Engenharia Mecânica

**Resumo.** *O presente trabalho tem como objetivo principal a avaliação térmica de um fogão solar com dois concentradores tipo disco parabólico. Os discos utilizados são antenas tipo banda ku com revestimento de aço polido. O recipiente de cozimento, cuja estrutura é de alumínio, foi isolado com uma mistura de cimento e EPS (poliestireno expandido) entre outros materiais, visando minimizar as perdas térmicas laterais e superior para o ambiente. O fogão foi instrumentado com vistas à determinação da temperatura da base e das laterais do recipiente de cozimento, da temperatura dos discos, do fluxo de radiação incidente na base do recipiente de cozimento e do aumento da temperatura de 1L de água ao longo do processo. As temperaturas máximas na lateral, na base do recipiente e nos discos foram de 44,7°C, 178,7°C e 52,9°C, respectivamente. O fluxo máximo medido foi de 1032W/m<sup>2</sup>, e a água atingiu 82°C de temperatura máxima. Não obstante, utiliza-se um modelo matemático disponível na literatura para a avaliação da eficiência útil do fogão, cujo valor máximo foi de 38%. O fogão solar construído permite a avaliação de vários parâmetros envolvidos na análise térmica de dispositivos concentradores, de maneira que será utilizado como ferramenta didático-experimental na disciplina de Energia Solar Térmica.*

**Palavras-chave:** *avaliação térmica de fogão solar, discos concentradores de radiação solar, fogão solar com discos concentradores.*

## 1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento da radiação oriunda do Sol para aquecimento de água, e outros fluidos de trabalho, já é amplamente utilizado em residências e indústrias. Por exemplo, coletores solares do tipo placa plana são largamente utilizados no aquecimento de água em residências. Por serem os mais simples da categoria, proporcionam flexibilidade de construção aliada a temperaturas de aquecimento, em média 80°C, superiores à temperatura ambiente (Krenzinger, 2001). Por outro lado, os coletores do tipo concentrador parabólico podem atingir temperaturas superiores a 250°C em seu ponto focal com relativa facilidade. Essa característica faz com que sejam preferidos em operações que exijam maiores temperaturas do fluido de trabalho. Conforme evidenciado por Ramos (2011), a temperatura focal, quando do uso de dois coletores elípticos, pode atingir até 740°C.

Os fogões solares são um exemplo de aplicação deste modelo de coletor concentrador. Como o próprio nome sugere, esse tipo de dispositivo pode ser utilizado no cozimento de alimentos, bastando apenas posicionar um recipiente de cozimento, ou panela, na região focal. Conforme Queiroz (2005), os fogões solares testados no nordeste brasileiro possuem desempenho similar ao tradicional fogão a gás (butano e propano). Por exemplo, o tempo de cozimento para 0,25 kg de macarrão foi, em média, de 30 minutos para ambos os fogões os dois fogões testados no referido estudo (Queiroz, 2005). Por outro lado, em nível mundial, entidades como a UNESCO desenvolvem e financiam projetos visando o uso de fogões solares na África, principalmente no Zimbábue e no Quênia (Souza *et al.*, 2009). No Quênia, por exemplo, a entidade *Solar Cooking International* financiou um programa que culminou na construção deste tipo de dispositivo beneficiando mais de 15 mil famílias residentes em um campo de refugiados. No Peru, encontra-se em andamento um projeto semelhante que envolve a participação de jovens, propiciando também, acesso à saúde e à educação para as famílias envolvidas (Souza *et al.*, 2009).

Na literatura especializada, observa-se a proposição de diferentes formatos de fogões solares, tanto dos concentradores como do recipiente de cozimento e da estrutura. No caso dos fogões concentradores, na maioria dos casos, o material de recobrimento utilizado é o espelho. Entretanto, é necessário que o espelho seja cortado em pequenos pedaços e depois ajustado à curvatura do disco. Esse procedimento encarece o produto final e pode trazer riscos a quem o utiliza. Nesse sentido, justifica-se a avaliação de diferentes materiais de recobrimento, em sua maioria mais resistentes que o espelho, uma vez que uso deste tipo de dispositivo pode se estender para situações de uso mais severas, como por exemplo em destiladores e na dessalinização da água. Não obstante, justifica-se também a avaliação térmica desse dispositivo em situações distintas de clima e de incidência solar (irradiância). Isto porque, conforme mencionado anteriormente, o fogão solar pode ser utilizado em diversas regiões (latitudes) do planeta.

O presente trabalho apresenta a avaliação térmica de um fogão solar semelhante ao proposto por Ramos (2011), porém utilizando outro recobrimento que não o espelho e com alguns detalhes de construção diferentes. Maiores detalhes sobre a seleção deste material, bem como da construção do fogão, estão disponíveis em (Romagna, 2015).

Salienta-se, apenas, que os quesitos avaliados na seleção foram a resistência do material a temperaturas mais elevadas, o custo total de aplicação e uma referência qualitativa da refletividade. Assim, as inovações propostas são as seguintes: o uso de parafusos ao longo de toda estrutura, permitindo que o usuário consiga a justar a posição focal, de acordo com a posição do Sol; o emprego de antenas parabólicas tipo banda  $ku$ , como disco concentrador, utilizando outro revestimento que não o espelho; e a utilização de isolamento em todo o recipiente de cozimento.

## 2. ESTADO DA ARTE

Nos primórdios da civilização humana, o cozimento dos alimentos era desconhecido. Naquela época, os nativos consumiam seu alimento na forma como o encontravam na natureza. Segundo Panwar *et al.* (2012), foram os essênios os primeiros a utilizar a radiação solar para aquecer alimentos. Entretanto, o primeiro a construir e a utilizar um fogão solar tipo caixa foi Horausse de Saussure, que publicou seu trabalho em 1767. Saussure cozinhou frutas em sua “caixa térmica” atingindo temperaturas em torno de 80°C. Porém, foi apenas no início dos anos 1950 que engenheiros e cientistas começaram a estudar aspectos técnicos de fogões solares (Panwar *et al.*, 2012). Estes estudos concluíram que fogões solares construídos apropriadamente podem cozinhar alimentos de maneira saudável e nutritiva, sendo de fácil construção e manejo (Radabaugh, 1998).

Atualmente, há vários tipos de fogões solares em uso. Tem-se, por exemplo, os fogões em caixa, os fogões concentradores de disco único, os fogões que utilizam a tecnologia dos tubos evacuados, e os fogões concentradores de disco duplo. As formas estão diretamente relacionadas ao tipo e à condição de uso dos mesmos, bem como das especificidades do local de utilização. De maneira geral, segundo Panwar *et al.* (2012), os fogões podem ser classificados nas seguintes categorias: concentradores, tipo caixa e indiretos.

Queiroz (2005) avaliou um fogão solar concentrador, a dois discos, para o cozimento direto e indireto, propondo também uma metodologia de cálculo para avaliação térmica dos fogões. Em resumo, segundo o autor, pode-se pensar na conversão da energia radiante solar em energia térmica em termos de dois estágios. Primeiramente há a intercepção e a reflexão da radiação solar no concentrador, à qual se tem associada uma eficiência óptica,  $\eta_o$ . Num segundo momento, tem-se a absorção e a conversão da energia radiante em energia térmica, à qual se tem associada uma eficiência térmica,  $\eta_T$ . Assim, a eficiência total do processo será dada pelo produto da eficiência óptica pela eficiência térmica.

Em Souza *et al.* (2009), os autores propõem a construção de um fogão solar concentrador, de disco único, utilizando materiais típicos da região e materiais de baixo custo, a urupema (tipo de palha) e canos de PVC, respectivamente. Com isso, buscavam um projeto que aliasse baixo custo e facilidade na montagem, privilegiando um produto típico da região. Por ter sido desenvolvido para baixas latitudes, ou seja, com pouca variação no caminho aparente do Sol ao longo do ano, o fogão não necessita de um sistema de ajuste de inclinação e direção mais apurado. Por outro lado, seu uso fica restrito apenas a este tipo de local.

Finalmente, Ramos (2011) mostra que para regiões focais menores a temperatura no centro do absorvedor pode ser mais acentuada do que a temperatura medida por Queiroz, 2005, em uma área maior. Porém, à medida que se afasta a medição do centro, a temperatura cai a níveis mais acentuados.

## 3. MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático utilizado na avaliação do fogão solar é o mesmo modelo proposto por Queiroz (2005). Segundo o autor, o processo de conversão da energia radiante em energia térmica pode ser representado, basicamente, por duas etapas, Figura 1. A cada etapa tem-se uma eficiência associada, de maneira que o produto das duas resulta na eficiência útil do fogão. Ou seja, a eficiência útil do processo será dada pelo produto da eficiência óptica,  $\eta_o$ , pela eficiência térmica,  $\eta_T$ ,

$$\eta = \eta_o \eta_T \quad (1)$$

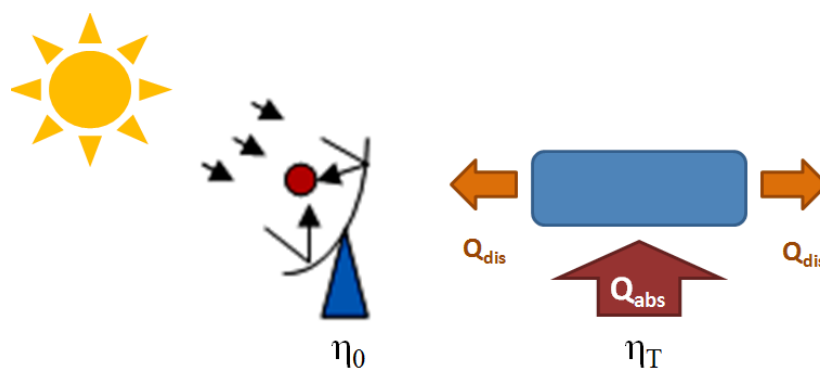


Figura 1 – Esquema simplificado do processo de conversão de energia radiante em energia térmica. Fonte: Romagna, 2015.

A taxa útil,  $\dot{Q}_{util}$ , pode ser escrita em termos da taxa absorvida,  $\dot{Q}_{abs}$ , e da taxa dissipada,  $\dot{Q}_{dis}$ , através da seguinte relação

$$\dot{Q}_{util} = \dot{Q}_{abs} - \dot{Q}_{dis} \quad (2)$$

sendo a taxa absorvida dada por

$$\dot{Q}_{abs} = KIA_c \rho k_r \alpha_p \quad (3)$$

na qual,  $K$  é o fator de intercepção ( $K = 1$ ),  $I$  é a irradiância solar incidente no plano de abertura do concentrador, em  $W/m^2$ ,  $A_c$  é a área dos discos coletores, em  $m^2$ ,  $\rho$  é a refletividade do material de recobrimento,  $k_r$  é a fração de radiação refletida pelo fundo do recipiente de cozimento e  $\alpha_p$  é a absorvidade da superfície inferior do recipiente de cozimento ( $k_r = 0,9$  e  $\alpha_p = 0,9$ , conforme (Lion Filho, 2007)). A taxa dissipada está associada à transferência de calor por convecção nas laterais do recipiente, de maneira que

$$\dot{Q}_{dis} = h_w A_{lat} (T_A - T_\infty) \quad (4)$$

na qual  $T_A$  é a temperatura da lateral do recipiente de cozimento (isolamento), em  $^\circ C$ ,  $T_\infty$  é a temperatura do ar ambiente, em  $^\circ C$ ,  $A_{lat}$  é a área lateral do recipiente de cozimento, em  $m^2$ ,  $h_w$  é o coeficiente de transferência de calor por convecção, em  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ , para o qual se utilizou a correlação disponível em (Duffie e Beckman, 2012),

$$h_w = 2,8 + 3V_{vento} \quad (5)$$

na qual  $V_{vento}$  é a velocidade média do vento, em  $m/s$ , e  $A_{lat}$  é a área lateral do recipiente de cozimento, em  $m^2$ , dada por

$$A_{lat} = H\pi D_a \quad (6)$$

na qual  $H$  é a altura, em  $m$ , e  $D_a$  é o diâmetro, em  $m$ , do recipiente de cozimento. A área da tampa do recipiente de recobrimento foi desconsiderada, seguindo o modelo proposto por Queiroz (2005) e Ramos (2011).

As eficiências óptica,  $\eta_o$ , e térmica,  $\eta_T$ , evidenciam a capacidade de conversão de energia dos coletores, sendo dadas, respectivamente, por

$$\eta_o = \rho k_r \alpha_p \quad (7)$$

e

$$\eta_T = \frac{\dot{Q}_{util}}{I_c A_c \eta_o} \quad (8)$$

Por fim, Ramos, 2011, estimou a temperatura no foco, em kelvin, através da relação

$$T = \left( \frac{C \dot{Q}_{abs}}{\varepsilon \sigma} \right)^{1/4} \quad (9)$$

na qual  $C$  é o fator de concentração solar dado pela divisão da área de do concentrador dividido pela área do foco, ( $C = 56$ ),  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 K^4)$ ),  $\varepsilon$  é a emissividade do absorvedor, que para a tinta preta fosca utilizada possui valor  $\varepsilon = 0,9$ . Assumiu-se que a temperatura do céu é igual a zero kelvin.

#### 4. PROJETO E CONSTRUÇÃO DO FOGÃO SOLAR

Prezando pela simplicidade, pela economia e pela reutilização de materiais, optou-se pelo uso de antenas parabólicas do tipo banda  $ku$  (utilizadas principalmente por operadoras de canais de TV por assinatura) para a confecção dos discos concentradores, assim como realizado em (Ramos, 2011). A estrutura do fogão solar, embora siga o padrão adotado pelo referido autor, evolui para o uso de juntas parafusadas, que auxiliam no transporte, na armazenagem e no ajuste focal. Não obstante, permite a intercambiabilidade do suporte do recipiente de cozimento.

Detalhes sobre a escolha do material de recobrimento, bem como sobre o valor assumido para a refletividade, podem ser encontrados em (Romagna, 2015). Salienta-se apenas que, para fins de utilização no modelo matemático, vamos assumir que a refletividade do material de recobrimento escolhido é equivalente a 53% da refletividade do espelho, 0,95 (Ramos, 2011), sendo então igual a 0,506 (Romagna, 2015).

O fogão solar pode ser dividido em três partes: a estrutura, os concentradores e o recipiente de cozimento. Cada uma delas possui sua particularidade de desenvolvimento e de projeto, detalhadas a seguir.

#### 4.1 Projeto da estrutura

A estrutura foi projetada seguindo os padrões utilizados por Ramos (2011). Contudo, acrescentou-se ao projeto três diretrizes a serem seguidas: facilidade de transporte e de armazenagem, possibilidade de ajuste manual, e facilidade de intercambiar segmentos para estudos futuros. Todo o projeto foi desenhado em software SolidWorks®, Figura 2.



Figura 2 – Desenho do fogão em SOLIDWORKS® e projeto executado.  
Fonte: Romagna, 2015.

Para permitir a facilidade de transporte e de armazenagem, projetou-se a estrutura com a maior quantidade de juntas parafusadas possíveis, Figura 5.3. Esta característica permite que o mesmo seja facilmente desmontado. Além disso, permite que se ajustem pontos importantes do fogão, a fim de maximizar os resultados obtidos, isto é, realizando-se o acompanhamento manual do movimento aparente do Sol no decorrer do dia. Não obstante, o uso de uniões parafusadas permite ainda a substituição de partes do fogão para análises futuras, como, por exemplo, a troca do concentrador de duas antenas tipo banda *ku* para um tipo parabólico, ou ainda, a alteração do absorvedor.

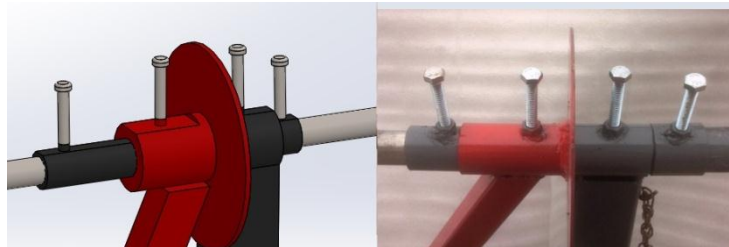


Figura 3 – Parafusos de fixação e ajustes. Fonte: Romagna, 2015.

#### 4.2 Concentradores

Conforme indicado no trabalho de Ramos (2011), os concentradores foram elaborados utilizando-se duas antenas tipo banda *ku*. As mesmas serviram de base para a aplicação dos espelhos, no caso do autor referenciado. Entretanto, para este trabalho, as mesmas passaram apenas por processos de lixamento mecânico, lixamento manual e polimento. Desta forma, ambos os discos encontram-se recobertos por aço polido e verniz.

#### 4.3 Isolamento do recipiente de cozimento

O recipiente de cozimento foi desenvolvido baseando-se no modelo utilizado em Ramos (2011), devido ao baixo custo do isolante proposto pelo mesmo. De acordo com autor (Ramos, 2011), este isolante apresenta condutividade térmica em torno de  $0,32 \text{ W/mK}$ . A mistura é feita com os seguintes materiais: cimento, gesso, EPS triturado, borracha triturada, areia e água, em proporções iguais em volume. Utilizou-se um molde para revestir o absorvedor com homogeneidade. Imagens e detalhamento do processo encontram-se em (Romagna, 2015). Optou-se por isolar o recipiente de cozimento em suas laterais e face superior, diferentemente do que foi feito em (Ramos, 2011), onde apenas as laterais encontravam-se isoladas. Esta opção de isolamento, na tampa e nas laterais, visa minimizar as perdas para o ambiente. O fundo recebeu recobrimento de tinta preta fosca, que possui absorvidade de 0,9 (Ramos, 2011).

## 5. PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

A fim de proceder à análise térmica do fogão solar, instrumentou-se o mesmo com sete sensores termopar do tipo T (cobre-constantan), sendo quatro deles distribuídos ao longo do fundo do recipiente de cozimento, Figura 4. Durante os testes, procurou-se ajustar as antenas para que o foco permanecesse no centro do recipiente, possibilitando assim o estudo das temperaturas ao longo do raio. Este ajuste foi manual. Com a intenção de monitorar a temperatura lateral externa do recipiente de cozimento,  $T_A$ , dois sensores foram dispostos ao longo da parede externa do mesmo. Utilizou-se ainda um sensor tipo PT100 para medição da temperatura da água.



Figura 4 – Diagrama de posicionamento dos termopares no fundo do absorvedor. Fonte: Romagna, 2015.

Além dos sensores acima descritos, utilizou-se um sensor termopar na parte traseira de um dos concentradores, visando avaliar a temperatura do disco. Um piranômetro mediu a radiação solar horizontal incidente e um sensor fotossensível (fotocélula de silício mais *shunt*) foi usado para medir a radiação incidente no fundo do recipiente de cozimento. Os dados medidos para o fundo foram utilizados na confecção de um mapa de fluxo de radiação incidente, conforme configuração apresentada na Figura 5. O recipiente de cozimento possui 0,195 m de diâmetro e foi dividido em 16 pequenas áreas, cada uma com 0,0018 m<sup>2</sup>, em média. Para realizar as medidas, o sensor foi posicionado na interseção das linhas, Figura 5.

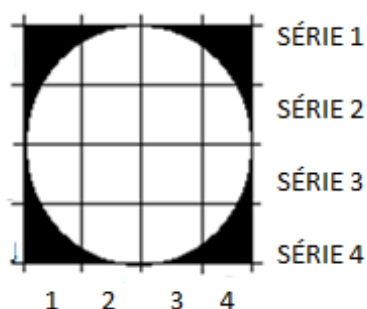


Figura 5 – Diagrama do mapa utilizado para avaliar o fluxo incidente no fundo do recipiente. Fonte: Romagna, 2015.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes foram conduzidos, em um dia de céu limpo, durante a primeira metade dos testes, e parcialmente nublado no restante. Este fato impactou diretamente os resultados, o que é visível na análise dos mesmos. A temperatura ambiente média no dia do teste foi de 28°C e a velocidade do vento de 3,1m/s, em velocidade de pico. As medições ocorreram das 10 horas e 34 minutos às 14 horas e 08 minutos, horário oficial de verão, correspondendo ao período entre 09:25 e 12:59 em hora solar verdadeira. Foram realizadas 4295 medidas, por variável, no período especificado. Os valores de temperatura média da parede externa e do fundo do recipiente de cozimento (absorvedor) podem ser vistos na Figuras 6a e 6b, respectivamente. Os dados foram medidos utilizando-se o *data logger* Agilent 74972A, realizando-se 4295 medidas por variável no período especificado, com incerteza de medição de +/- 1% do valor lido.

Conforme mencionado anteriormente, foi construído um mapa para avaliar os fluxos incidentes no absorvedor (fundo do recipiente de cozimento), Figura 7a. Este mapa foi comparado à imagem gerada por câmera termográfica, Figura 7b. O mapa usa como base os dados referente às 11:52, no horário oficial de verão, que corresponde às 10:43, em hora solar verdadeira. Da análise das Figuras, percebe-se concordância entre as regiões de temperatura mais elevadas e de fluxos mais elevados.

Além disso, variações da radiação são rapidamente verificadas em diminuições de temperatura no fundo do absorvedor. Para representá-la, escolheu-se apresentar os parâmetros medidos, num intervalo de 30 minutos, no período de céu limpo e no período parcialmente nublado, Figuras 8 e 9, respectivamente. Estas figuras também demonstram que

o efeito da variação da irradiância não é sentido instantaneamente pela água, devido à alta capacitância térmica da água e do material da superfície absorvedora.

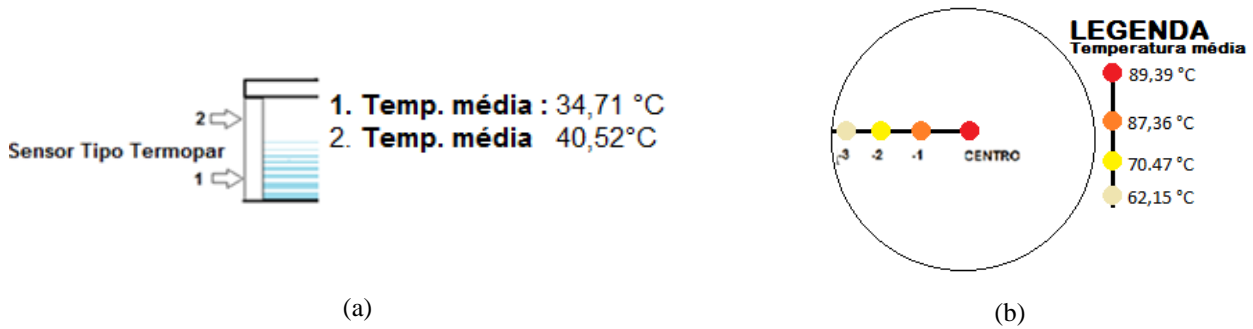


Figura 6 – (a) Resultados para temperatura externa do recipiente e (b) temperaturas médias do absorvedor.

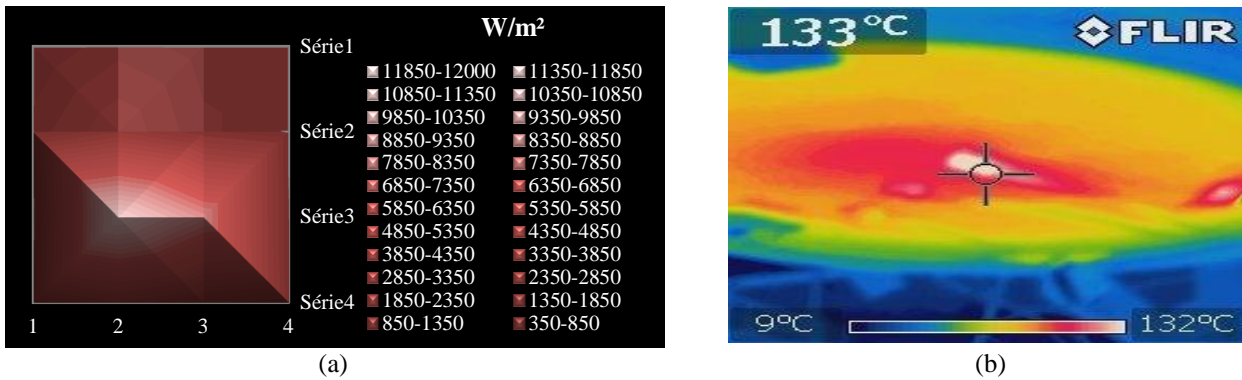


Figura 7 – (a) Mapa de fluxos incidentes construído com os dados medidos às 10:43, hora solar verdadeira, e (b) foto termográfica tirada no mesmo horário.

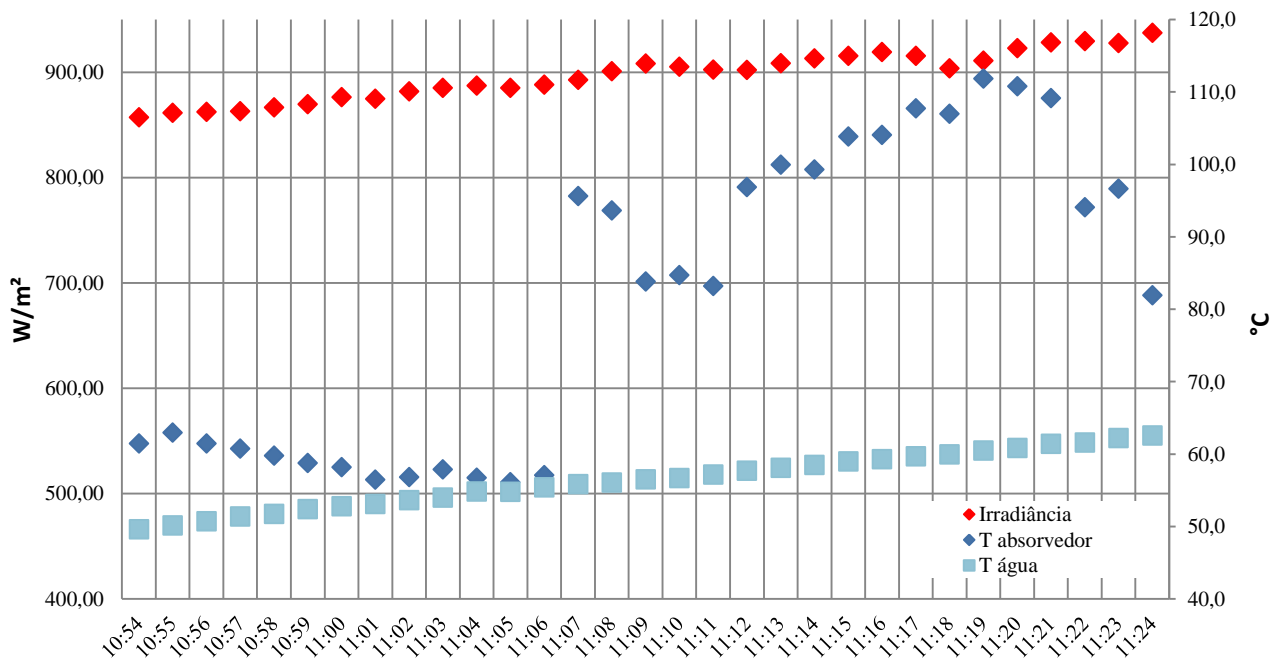


Figura 8 – Parâmetros medidos em condições de céu limpo, sem nuvens.

Na Figura 8 também é possível observar o efeito do ajuste manual dos discos concentradores. Analisando os pontos referentes às medidas efetuadas às 11:06 e às 11:07, percebe-se o efeito desse tipo de ajuste nas medidas. A temperatura no centro do absorvedor sobe de 57,1°C para 97°C, indicando que o foco estava deslocado. Entretanto, esse deslocamento do foco não impactou significativamente na temperatura da água, a qual continuou aumentando, conforme se observa na mesma Figura. Por outro lado, na Figura 9, pode-se ver o efeito da nebulosidade sobre as

medidas. O valor da irradiância variou entre  $120\text{W/m}^2$  e  $914\text{W/m}^2$  e a temperatura no centro do absorvedor variou entre  $64^\circ\text{C}$  e  $119^\circ\text{C}$ .

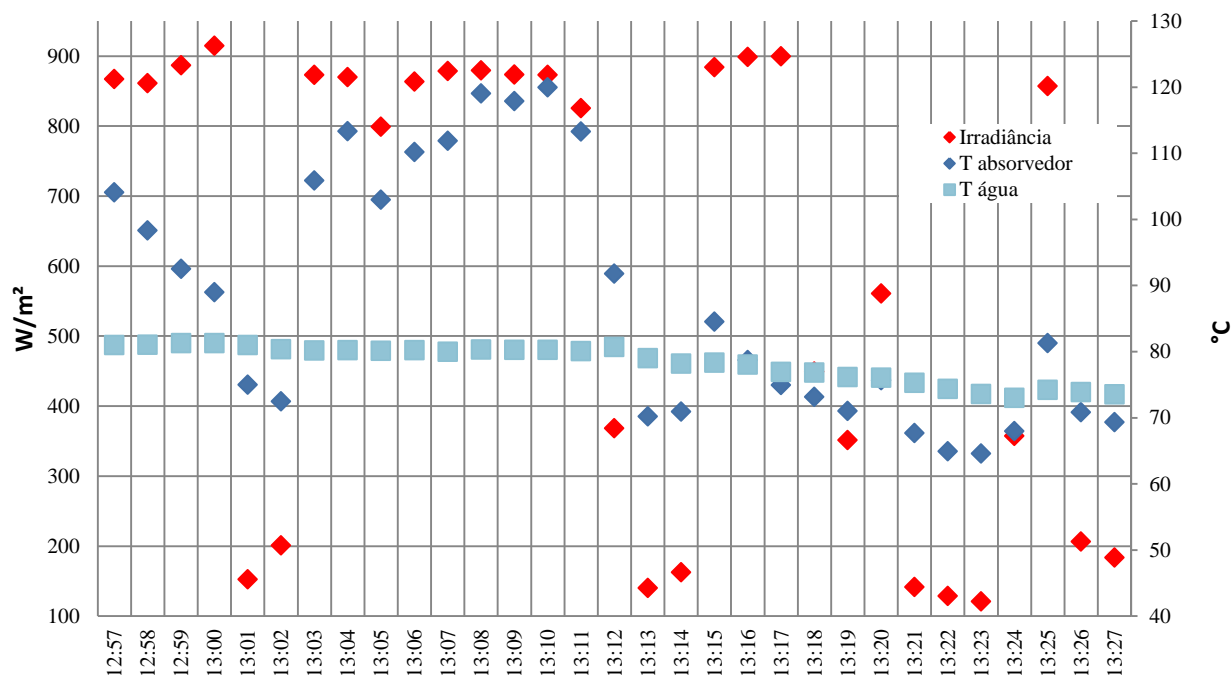


Figura 9 – Parâmetros medidos em condições de céu parcialmente nublado.

Numa segunda etapa, foram calculados os valores teóricos utilizando-se o modelamento matemático de Ramos (2011), com as devidas considerações apresentadas anteriormente. Os valores encontrados são apresentados na Tabela 1. Dada a grande variação dos valores ao longo de todo o experimento, optou-se por apresentar os dados extremos, isto é, apenas os valores máximos e mínimos.

Tabela 1 – Resultados teóricos.

PARÂMETRO	UNIDADE	MÍNIMO	MÁXIMO
Coeficiente de convecção externo (Eq. 5)	$\text{W}/(\text{m}^2\text{C})$	12,10 (valor único)	
Eficiência óptica (Eq. 7)	-	0,41	0,41
Eficiência térmica (Eq. 8)	-	0,50	0,94
Eficiência útil (Eq. 1)	-	0,20	0,38
Fator de concentração	-	56 (valor único)	
Temperatura máxima do foco (Eq. 9)	$^\circ\text{C}$	141,07	441,07
Taxa máxima absorvida pela panela (Eq. 3)	W	26,79	236,92
Taxa dissipada pela panela para externo (Eq. 4)	W	13,38 (valor único)	
Taxa térmica útil (Eq. 2)	W	13,41	223,54

## 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo principal a avaliação térmica de um fogão solar, com dois concentradores tipo disco parabólico, analisando a temperatura da base e das laterais do recipiente de cozimento, a temperatura dos discos, o fluxo de radiação incidente na base do recipiente de cozimento e o aumento da temperatura de 1L de água ao longo do processo. Não obstante, foi feita uma análise teórica com vistas à determinação da eficiência útil do dispositivo. O fogão foi construído tendo como base trabalhos anteriores, porém implementando as seguintes modificações: o uso de parafusos ao longo de toda estrutura, permitindo que o usuário consiga ajustar a posição focal; o emprego de antenas parabólicas tipo banda  $ku$  como disco concentrador, porém utilizando outro revestimento que não o espelho; e a utilização de isolamento em todo o recipiente de cozimento.

As temperaturas máximas na lateral, na base do recipiente e nos discos foram de  $44,7^\circ\text{C}$ ,  $178,7^\circ\text{C}$  e  $52,9^\circ\text{C}$ , respectivamente. O fluxo máximo medido no fundo do recipiente de cozimento (absorvedor) foi de  $1032\text{W/m}^2$ . A ausência de um sistema de rastreamento independente ficou evidente ao se analisar o comportamento da irradiância na situação de céu limpo. Ao longo das medidas foram verificadas pequenas variações, as quais eram corrigidas com o ajuste manual dos discos. Com base no modelo matemático utilizado, chegou-se a uma eficiência útil máxima equivalente a 38% e uma mínima equivalente a 20%.



Para fins de cozimento de alimentos, seria necessário que a água atingisse uma temperatura próxima a 100°C. Porém, a temperatura máxima medida foi de 82°C, relativamente baixa se comparada à temperatura média medida em outros coletores concentradores semelhantes. Infere-se, então, que o recobrimento de aço polido à mão não se mostra como uma boa opção custo-benefício para esta aplicação, embora ofereça menor risco de manuseio por parte de quem o utiliza. Por outro lado, os gráficos gerados para as duas situações, de céu limpo e parcialmente nublado, permitiram verificar que, mesmo para variações significativas de irradiância solar não ocorreram diminuições de temperatura significativas para o líquido em aquecimento. Este comportamento era esperado devido ao efeito combinado da inércia térmica do recipiente de cozimento, propiciada por sua camada de revestimento isolante espessa, com a resistência térmica proporcionada pelo mesmo.

De maneira geral, os resultados são satisfatórios e o objetivo proposto foi atingido. Uma vez que o fogão solar construído permite a avaliação de vários parâmetros envolvidos na análise térmica de dispositivos concentradores, o mesmo será utilizado como ferramenta didático-experimental na disciplina de Energia Solar Térmica. Em termos de trabalhos futuros, sugere-se a avaliação do mesmo fogão, porém com recobrimento dos concentradores com espelho e outros materiais de alta refletividade. A confecção de um sistema independente, que não seja manual, para o ajuste do ponto focal do sistema de discos concentradores. Ou seja, um sistema automatizado de acompanhamento do movimento do Sol, podendo fazer uso de arduíno e sensor fotossensível. Por último, a substituição do recipiente de cozimento por outros tipos de absorvedores, visando o estudo da viabilidade econômica no uso destes dispositivos em sistemas mistos de aquecimento solar/gás, para utilização em outras aplicações que não o cozimento de alimentos

## 8. AUTORIZAÇÕES E RECONHECIMENTOS

Os autores agradecem a toda equipe do Laboratório de Energia Solar, LabSol, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, pelo apoio dado durante toda a execução deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Duffie, J.A. e Beckman, W.A., 2006. Solar engineering of thermal process. 3th Ed., New York: John Wiley & Sons.
- Krenzinger, A., 2001. Desempenho térmico de coletor solar. Certificado 013/2001. LabSol - Laboratório de Energia Solar, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Lion Filho, C.A.P. de Q., 2007. Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Panwar, N.L., Kaushik, S.C., Kothari, S., 2012. A review on energy and exergy analysis of solar drying systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.16, issue 5, p. 2812-2819.
- Queiroz, W. F. de, 2005. Construção de um fogão solar à concentração para cozimento direto e indireto. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Radabaugh, J., 1998. Heaven's flame: a guide to solar cookers. 2th Ed., Home Power Publishing.
- Ramos Filho, R.E.B., 2011. Análise de desempenho de um fogão solar construído a partir de sucatas de antena de TV. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Romagna, J., 2015. Construção e avaliação térmica de um fogão solar com concentradores tipo disco parabólico. Monografia - Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Souza L.G.M, dos Santos, R.D., Batista Segundo, J. de M.L., Pinheiro, G., Rocha, A. da S., Gomes, J.W. e Palma, A.J.R., 2009. Solar Cooking built in composite material. Proceedings of 20th COBEM - International Congress of Mechanical Engineering. Gramado/RS, Brasil.

## THERMAL EVALUATION OF A SOLAR COOKER WITH PARABOLIC DISCS

**Abstract.** *The following project has as its main goal the thermal evaluation of a solar cook with two parabolic discs concentrators. The cooking recipient was made by aluminum and isolated with a mixture of cement, EPS (expanded polystyrene) and other materials, focusing on minimize the lateral and superior thermal losses to the ambient. The solar cook was instrumented in order to determine the base and lateral temperatures of the cooking recipient, the discs temperature, the incident irradiation on the cooking recipient's base and the temperature rise of 1L of water. The maximum temperatures at the lateral and base of the recipient and the discs were, 44,7 °C, 178,7°C e 52,9°C, respectively. The maximum irradiation measured was 1032 W/m<sup>2</sup> and the water's maximum temperature was 82°C. The solar cook built allows the evaluation of several parameters involved in the thermal analysis of concentrators dispositive, so it will be used as an experimental didactic tool for the thermal solar energy class.*

**Keywords:** *Thermal evaluation of a solar cook, solar radiation concentrator disc, solar cook with two concentrator discs.*