

## PROJETO, DESENVOLVIMENTO E TESTE DE FOGÕES SOLARES

**Diego Lopes Coriolano** - diegocoriolano@yahoo.com.br  
**Erico Diogo Lima da Silva** - tec.ericodiogo@yahoo.com.br  
**Vanina Cardoso Viana Andrade** - vaninaviana@hotmail.com  
**Iraí Tadeu Ferreira de Resende** - irairesende@yahoo.com.br  
Instituto Federal de Sergipe, Curso de Tecnologia em Automação Industrial  
**Marcos Elan Alves de Araújo** - elanarq@gmail.com  
**Renan Tavares Figueiredo** - renan\_figueiredo@itp.org.br  
**Odélsia Leonor Sanchez de Alsina** - odelsia@uol.com.br  
Universidade Tiradentes, Instituto de Tecnologia e Pesquisa

**Resumo.** Atualmente, com o aumento da população mundial, a necessidade de cozimento de alimentos cresce e com isso existe uma grande necessidade de se obter novas alternativas de geração de calor que gere economia de combustível e redução na emissão de gases de efeito estufa. Nesse contexto, o Brasil necessita de novas fontes geradoras e a energia solar pode ser uma solução, por ser limpa e renovável. Este trabalho consiste no projeto, montagem e aplicação de três protótipos de baixo custo de fogões solares. Para a construção do concentrador utilizou-se uma antena tipo parabólica de 900 mm de diâmetro e 50 mm de profundidade com 401 espelhos, de dimensões 40 x 40 mm, colados na superfície da antena, já o tipo caixa foi construído em caixas de papelão de 470 x 350 mm e 300 x 410 mm pintadas em preto e revestidas internamente com papel alumínio, isoladas termicamente, e um vidro na parte superior para ganho de calor com o efeito estufa e o fogão tipo funil foi construído com papelão em forma de um funil gigante, sendo essencial utilizar um recipiente para cobrir a panela e fazer o efeito estufa. A finalidade de artigo é analisar o cozimento de alimentos com o concentrador solar, para demonstrar uma das suas aplicações, e com os fogões solares. O concentrador atingiu temperatura máxima de 187 °C na panela de metal e os fogões solares atingiram a temperatura de 78 °C e 111 °C no tipo caixa e tipo funil, respectivamente. Os três protótipos projetados mostraram eficientes para o cozimento de alimentos, podendo ser uma alternativa viável para substituir o cozimento tradicional com lenha e gás.

**Palavras-chave:** Fogão Solar, Eficiência Energética, Sustentabilidade

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as energias renováveis, como a energia solar, são usadas em diferentes países em todo o mundo para fins de cocção. O dispositivo que é usado para cozinhar alimentos usando energia solar é conhecido como fogão solar e tem aplicação efetiva em energia solar conversão de energia. A cozedura solar é eficaz nas partes de mundo onde a irradiação solar é entre 450 W/m<sup>2</sup> a 1100 W/m<sup>2</sup> (Islam, 2014)

Os fogões solares foram apresentados há muito tempo como uma solução interessante para o problema do mundo de diminuir o uso de lenha e outros problemas ambientais associados à demanda de combustível para cozinhar. O uso de fogões solares resulta em economia de combustível, além de aumentar a segurança energética para as famílias rurais que utilizam combustíveis comerciais. (Al-Soud, 2010)

Yettou (2014) ao considerar as aplicações térmicas da energia solar, o cozimento solar apresenta a melhor opção e mais promissor para a energia solar térmica. Os fogões solares oferecem muitas vantagens, incluindo economia de combustível, redução na emissão de gases de efeito estufa, economia de lenha, baixo custo e alta durabilidade, entre outros. No entanto, em muitas partes do mundo, especialmente nos países em desenvolvimento, os recursos de energia para a cozinha a lenha e os combustíveis fósseis ainda predominam com a maior parcela do consumo global de energia no setor residencial. Esta situação cria sérios problemas ecológicos, como o desmatamento, problemas econômicos e de saúde com o uso de lenha. Por outro lado, espera-se que a demanda global de energia para cozimento de alimentos aumente com o aumento da população nos próximos anos, podendo agravar ainda mais os problemas supracitados.

Há uma grande quantidade de modelos de fornos solares, desenvolvidos em muitos países. Por exemplo, uma gama diversificada de fornos de concentrador parabólico, também fornos tipo caixa. As cozinhas mais avançadas aparecem em tubos de vácuo, concentradores simples com superfícies refletoras de baixo custo, e assim por diante. O fogão solar é uma tecnologia social que permite ao mesmo tempo a obtenção de bons alimentos e o desenvolvimento sustentável, diminuindo o impacto no meio ambiente, reduzindo, mesmo que parcialmente, o consumo de lenha (Moura, 2007).

É uma maneira simples, segura e conveniente de cozinhar alimentos sem consumir combustíveis, aquecer a cozinha e poluir o meio ambiente. É apropriado para milhões de pessoas em todo o mundo com combustível e recursos financeiros escassos para pagar o combustível para cozinhar. Os fogões solares também podem ser usados para ferver

água, fornecendo acesso a água potável para milhões de pessoas, prevenindo as doenças transmitidas pela água. Os fogões solares têm muitas vantagens, sobre a saúde, renda dos usuários e sobre o meio ambiente (Kimambo, 2007).

Dentro os diversos tipos de fogão solar, há o fogão tipo caixa que possui em sua estrutura básica conta com placa refletora e uma superfície enegrecida cuja finalidade é absorver os raios solares. Esta absorção promove a conversão de energia em calor que, suprimido pelo espelho, gera o calor para cocção. Em suma, a capacidade térmica resultante da placa refletora é de extrema importância no funcionamento do fogão, interferindo diretamente na sua eficiência (Cuce, 2013).

O fogão solar tipo funil é um refletor tem a forma de um funil gigante forrado com uma folha de alumínio, fácil de fazer. Esse funil é como um fogão parabólico, exceto pelo fato de que a luz é concentrada ao longo de uma linha (não um ponto) no fundo do funil. (Jones, 2003).

Portanto o objetivo deste trabalho é projetar, desenvolver e testar três tipos diferentes de fogões solares comparando as diferenças térmicas e o tempo de cozimento dos alimentos obtidos pelo uso do fogão solar tipo caixa, tipo funil e tipo concentrador solar.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Fogão Solar Tipo Caixa

O fogão solar utilizado para os experimentos foi o tipo caixa, onde foi levado em consideração o baixo custo de montagem, sendo os materiais de fácil aquisição e tendo ainda como finalidade a possibilidade do seu uso por famílias de baixa renda, como tecnologia social.

Para a montagem do fogão foram utilizadas duas caixas de papelão de tamanhos diferentes, de forma que uma caixa posicione-se dentro da outra com folga de 20 mm entre as caixas, isopor para realizar o isolamento térmico entre as caixas, um pedaço de papelão maior que a caixa grande, com o intuito de fazer a tampa para refletir os raios solares para dentro do forno e melhorar a eficiência energética, um vidro cortado com tamanho da caixa menor, para diminuir as perdas térmicas, uma chapa de metal de metal preta, para absorver a energia solar e papel alumínio para cobrir a tampa e a parte interna do forno solar, apresentado na Fig. 1.



Figura 1: Detalhe do fogão solar tipo caixa

### 2.2 Fogão Solar Tipo Concentrador Solar Parabólico

Nos experimentos realizados foi utilizado um concentrador solar de foco fixo montado na base de uma antena parabólica tipo de televisão, com 900 mm de diâmetro e 50 mm de profundidade, projetado um sistema de suporte regulável na altura e direção para melhor ajuste do foco, visando aproveitamento da máxima incidência solar. Na superfície do concentrador, foram utilizados 401 espelhos de área 160 mm<sup>2</sup> cada, fixados com cola de silicone própria para espelhos, conforme mostra a Fig. 2.



Figura 2: Detalhe do fogão solar com concentrador parabólico

### 2.3 Fogão Solar Tipo Funil

O fogão Fun-Panel é um fogão solar portátil que se baseia no design do fogão de funil solar. Normalmente feitos de painéis de papelão, que pode ser reciclado de caixas de papelão usadas, com revestimento de superfície reflexiva, como papel alumínio, filmes de poliéster metalizado, folhas de alumínio polido. Os painéis são dobrados de modo a concentrar o foco onde será colocada a panela para cocção. Este tipo de fogão apresenta menor rendimento, temperaturas de até 100 °C 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 °C) ou recipiente de vidro transparente.

Os materiais de construção necessários para fazer um fogão Fun-Panel são simples e de baixo custo. Uma caixa de papelão que mede cerca de 500 mm em todas as arestas. Outros materiais de construção necessários são parafusos, arruelas, papel alumínio e porca plástica. Para construir, corte a caixa de papelão em forma de cubo para obter dois grandes painéis retangulares como mostrado na Fig.3.a. Cada painel retangular grande é composto de uma face quadrada da caixa juntamente com uma aba de cobertura. Colado papel de alumínio em um lado de cada um dos dois grandes painéis de papelão retangulares. Junte os dois grandes painéis retangulares, para formar o fogão, conforme apresta a Fig. 3.b

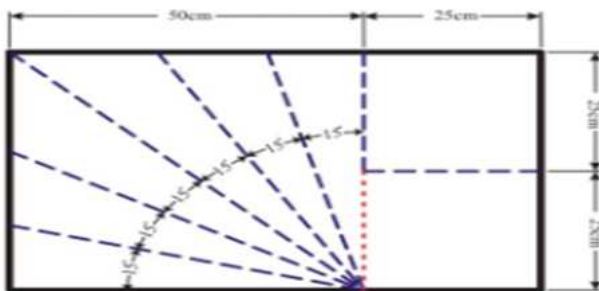


Figura 3.a Dimensões do fogão solar



Figura 3.b Fogão Solar tipo funil

### 2.4 Instrumentação e Aquisição de Dados

A medição da temperatura do forno solar tipo caixa e tipo funil foram realizadas por um sensor de temperatura tipo K conectado ao multímetro modelo *Hiraki HM-2010*. Os dados foram coletados manualmente e anotados com intervalo de 5 em 5 minutos, durante os experimentos. Para aferição da temperatura no fogão solar tipo concentrador, utilizou-se uma câmera térmica infravermelha THT47 da HT Instruments que possui uma faixa de temperatura de -20 °C a 400 °C com um 0,06 °C de sensibilidade térmica para a medição das temperaturas e um termômetro infravermelho da *Fluke* com range de -30 a 350 °C. Por fim, para medição da temperatura ambiente utilizou-se a Estação Meteorológica *Oregon Scientific* - WMR200A instalada no local dos experimentos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Concentrador Solar de Foco Fixo

Foram realizados experimentos no Instituto Federal de Sergipe para obtenção de resultados para comprovação de eficiência do concentrador solar. O primeiro experimento utilizou-se ovos (29/01/2016), o segundo camarão (05/02/2016), o terceiro peixe (20/05/2016), e no quarto frango (20/05/2016) todos com manteiga na frigideira para melhorar o preparo; ambos os experimentos realizados no entre 11h30minh e 13h00min.

Souza et al. (2010) utilizaram uma antena tipo parabólica de 600 mm de diâmetro com o objetivo de verificar a ebulição da água aplicada ao foco do concentrador solar, a temperatura máxima atingida na panela foi de 123 °C e a temperatura da água 78 °C. A segunda etapa do trabalho foi aumentar a eficiência térmica do projeto, para isso foi acoplada outro concentrador de 600 mm de diâmetro e a temperatura máxima foi 200 °C na panela e a água atingiu 100 °C, comprovando ser eficiente o protótipo construído.

#### Experimento 1: Ovos.

A estrutura do concentrador foi montada e logo após começou o preparar do ovo que foi exposto ao foco do concentrador, conforme Fig. 4. A escolha do ovo, como primeiro alimento, foi pelo fato de ser um alimento de fácil preparo, para verificar a eficiência do concentrador projetado. O experimento iniciou-se com a temperatura ambiente de 30 °C verificou-se que o foco gerado pelo concentrador estava sendo suficiente, porém um problema naquele dia foram as nuvens. A temperatura máxima na frigideira foi de 117 °C e o experimento deve duração de 31 min.



Figura 4. Frigideira, com ovo, colocada no foco do concentrador solar e o multímetro fazendo a leitura da temperatura na panela.

#### Experimento 2: Camarão.

Os camarões foram colocados na frigideira e exposto ao foco do concentrador. A temperatura ambiente média no local foi de 31 °C, a temperatura máxima da frigideira, sem os camarões, foi de 182 °C (Fig. 5). Apenar de céu nublado e algumas nuvens a temperatura máxima na frigideira, com os camarões, foi de 162 °C e após 25 min os camarões estavam prontos.

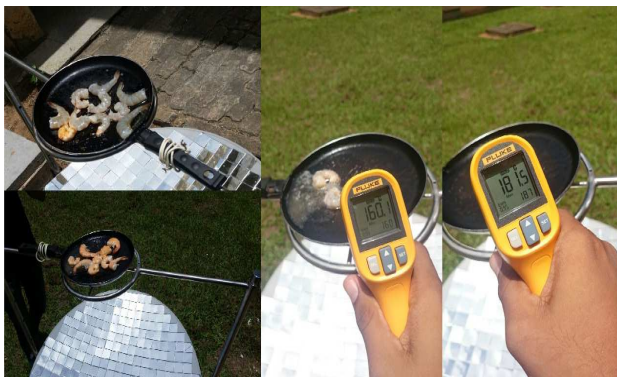


Figura 5. Frigideira, com camarão, colocada no foco do concentrador solar e o multímetro fazendo a leitura da temperatura na panela.

#### Experimento 3: Peixe

O clima no dia estava favorável, céu claro e sem nuvens, com temperatura ambiente média de 34 °C e céu ensolarado com poucas nuvens. Os filés de peixe foram colocados na frigideira com manteiga (Fig.6), no início do experimento a temperatura era de 42,4 °C, após 2 min exposto ao Sol a frigideira apresentava uma temperatura de 102,3 °C e atingiu a temperatura máxima de 150 °C, após 6 min. O experimento apresentou êxito e em 26 min o peixe estava cozido.



Figura 6. Frigideira, com peixe, colocada no foco do concentrador solar e o termômetro fazendo a leitura da temperatura na panela.

#### Experimento 4: Frango

O frango foi colocado na frigideira, untada com manteiga, e colocado no foco do concentrador solar. A temperatura média ambiente no local do experimento era de 34 °C. A temperatura máxima na frigideira foi de 166 °C e assim se manteve estável até que conseguimos fritar o frango, conforme apresenta a Fig. 7. O cozimento teve duração de 31 min apresentou textura e sabor conforme os padrões.

Após a realização dos experimentos, verificou-se que o concentrador solar se mostrou eficiente para o preparo de alimentos, comprovante uma das suas aplicações de conversão de energia. O custo de fabricação do fogão foi de, aproximadamente, R\$120.



Figura 7. Frigideira, com frango, colocada no foco do concentrador solar e o multímetro fazendo a leitura da temperatura na panela.

### 3.2. Fogão Solar Tipo Caixa

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Sergipe no dia 27/05/2016. Visando melhor análise dos dados coletados de temperatura interna do fogão, com o multímetro, foi aferida a temperatura ambiente com o sistema de aquisição de dados de baixo custo, utilizando o sensor LM35 e a plataforma arduino. A Fig. 8 apresenta o fogão solar, a temperatura instantânea no interior do fogão era 78 °C.

Na Fig. 9 indica a temperatura interna do fogão solar e a temperatura ambiente. Utilizou-se duas panelas, a primeira com arroz integral e a segunda com carne moída com legumes. Para o cozimento dos alimentos foi necessário um tempo de exposição ao Sol de 3 h e 20 min. Percebe-se que a temperatura interna do fogão cresceu nos primeiros 90 minutos e, praticamente, manteve-se estável em 78 °C. Já a temperatura ambiente, houve uma variação entre o valor máximo e mínimo de 4 °C e apresentou uma média de 33,2 °C durante o experimento. Moura (2007) utilizou um forno solar tipo caixa, visando o preparo de pizza pré-cozida, e atingiu temperatura máxima de 71 °C com temperatura ambiente de 32 °C com tempo de preparo de 1h e 09min.



Figura 8: Fogão solar para cozimento de alimentos.

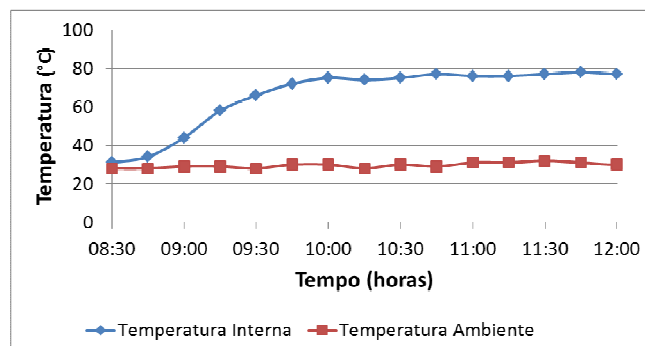


Figura 9: Temperatura interna do fogão solar e temperatura ambiente

### 3.3 Fogão Solar Tipo Funil

O experimento foi realizado no IFS no dia 18/11/2017 para o cozimento de carne moída com legumes. Teve início às 9h e terminou às 11:15. A temperatura máxima registrada no interior da panela foi de 111 °C aferida com o sensor de temperatura tipo K conectado ao multímetro modelo *Hiraki HM-2010* e a temperatura ambiente máxima foi 32,6 °C registrada com a estação meteorológica instalada no local do experimento. A Fig. 10 apresenta o alimento ao final do cozimento com o fogão solar tipo funil.

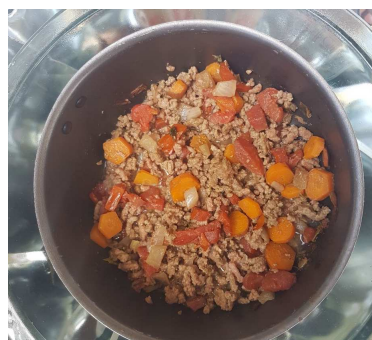


Figura 10: Carne moída com legumes após 2h15min cozinhando no fogão solar tipo funil

Nesse experimento constatou-se a necessidade de acompanhar junto com a temperatura ambiente a radiação solar da região. Os dados de radiação solar no nível do solo são importantes para uma ampla gama de aplicações em meteorologia, engenharia, ciências agrícolas (particularmente para física do solo, hidrologia agrícola, modelagem de culturas e estimativa de evapotranspiração de culturas), bem como na saúde. (Belúcio, 2014; Badescu, 2014).

Na Fig. 11 apresenta o gráfico com a temperatura interna da panela, temperatura ambiente e a radiação solar coletada através do INMET, 2017.

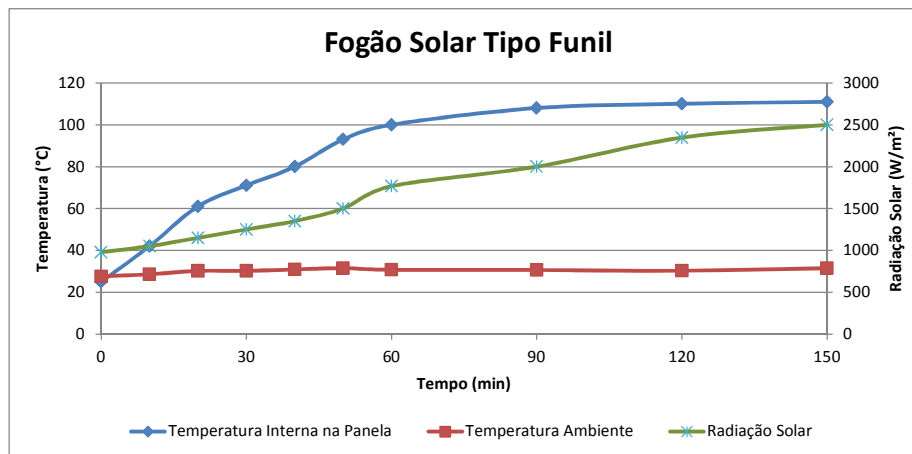


Figura 11: Temperatura interna na panela, temperatura ambiente e radiação solar no experimento do fogão tipo funil

#### 4. CONCLUSÕES

O uso da energia solar, por ser uma energia limpa e renovável, vem sendo ampliado cada vez mais, como também a busca de novas tecnologias para o seu aproveitamento, tal pesquisa pôde evidenciar a exploração de uma nova fonte de energia para a produção de alimentos, com um produto saudável, de baixo custo e com a utilização de matérias-primas acessíveis.

O fogão solar tipo concentrador de foco fixo apresentou a maior temperatura na panela, ainda sem o alimento (182 °C), após inserir os alimentos houve uma diminuição da temperatura que não comprometeu a cocção. O fogão tipo concentrador solar foi utilizado para fritar os alimentos. Já o fogão tipo caixa atingiu temperatura máxima de 78°C em 90 min e também obteve sucesso na cocção da carne moída com legumes e do arroz integral em aproximadamente 210 min. Por fim, o fogão tipo funil registrou temperaturas acima de 110 °C e cozinhou carne moída com legumes em 135 min.

Portanto, os resultados obtidos a partir deste trabalho mostram que, em várias condições de insolação e vento, diferentes tipos de fogões solares são superiores aos outros, apresentando vantagens e desvantagens em cada caso particular.

A comparação entre os três tipos de fogões mostra que nas melhores condições de operação, os fogões solares tipo caixa têm menor temperatura em comparação com os fogões tipo funil. O fogão solar tipo concentrador atingiu temperaturas mais elevadas e, conseqüentemente, tempos de cozimento mais baixos do que qualquer outro fogão testado em dias ensolarados sem nuvens e céu limp. Recomenda-se que o concentrador solar seja o tipo de fogão mais adequado em áreas com longas durações de forte radiação solar sem cobertura de nuvens e, principalmente, baixa interferência do vento.

Os fogões solares mostram-se como protótipos ideais de captação da energia solar, mesmo em meses de pouca incidência solar, sendo capaz de atingir altas temperaturas em pouco tempo e, assim, realizar o cozimento dos alimentos. Ademais, a capacidade térmica do concentrador pode ser utilizada para fins diversos dentro do ramo energético. Além disso, o uso de fogões solares ao invés do fogão convencional é importante para a conscientização socioambiental da população sobre a utilização de energias limpas e que não atingem negativamente o meio ambiente.

As tecnologias de cozimento solar podem desempenhar um papel fundamental para reduzir ou substituir o consumo de energia de outras fontes em um futuro próximo. Adicionalmente, a cozinha solar é a melhor opção que oferece um uso promissor para a energia solar. Além de suas diversas vantagens (por exemplo, economia de combustível e energia elétrica, redução de CO<sub>2</sub>, conservação de lenha e etc.), a divulgação em grande escala de fogões solares ainda é limitada devido a diversos problemas. Para superar essa limitação e apreender mais benefícios desses sistemas, mais tentativas de pesquisa devem ser realizadas no futuro em todo o mundo, para aumentar sua eficiência e melhorar seu desempenho atual.

Como trabalhos futuros, recomenda-se a medição da radiação solar em todos os experimentos e com estações solarimétrica instaladas no local onde o experimento está sendo realizado e com coletas das informações em intervalos menores aos que foram apresentados nesse trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- Al-Soud, M. S., Abdallah, E., Akayleh, A., Abdallah, S., & Hrayshat, E. S. (2010). A parabolic solar cooker with automatic two axes sun tracking system. *Applied Energy*, 87(2), 463-470.
- Arenas JM (2007) Design, development and testing of a portable parabolic solar kitchen. *Renew Energy* 32:257–266
- Badescu, V. *Modeling solar radiation at the earth's surface*. Springer, 2014.
- Belúcio, L. P., da Silva, A. P. N., Souza, L. R., & de Albuquerque Moura, G. B. (2014). Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(4), 494-504.
- Cuce, Erdem; Cuce, P. M. A comprehensive review on solar cookers. *Applied Energy*, v. 102, p. 1399-1421, 2013.

- INMET, Consulta Dados da Estação Automática. 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acessado 18 nov. 2017.
- Islam, Md Didarul et al. Indirect Solar Cooking Using a Novel Fresnel Lens and Determination of its Energy and Exergy Efficiencies. In: ASME 2014 12th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis. American Society of Mechanical Engineers, 2014. p. V002T09A011-V002T09A011.
- Jones, S. E. O Fogão Solar de Funil Como fazer e usar o Fogão e Refrigerador Solar da BYU. Brigham Young University. Disponível em: < <http://solarcooking.org/portugues/funnel-pt.htm>> Acessado em 10 nov. 2017.
- Kimambo, C. Z. M. Development and performance testing of solar cookers. Journal of energy in Southern Africa, v. 18, n. 3, p. 41-51, 2017.
- Moura, J. P. Construção e avaliação térmica de um fogão solar tipo caixa, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, 2007.
- Mussard, Maxime; Gueno, Alexandre; Nydal, Ole Jørgen. Experimental study of solar cooking using heat storage in comparison with direct heating. Solar Energy, v. 98, p. 375-383, 2013.
- Souza, L. G. M.; Ramos Filho, R. E.; Medeiros JR., A. P.; Bezerra, C. M.; Rebouças, G. F. S.; CABRAL, R. Fogão Solar com Parábola Reciclável de Antena VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, Campina Grande, 2010.
- Yettou, F. et al. Solar cooker realizations in actual use: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 37, p. 288-306, 2014.

### **Solar Cooker: Viable alternative to replace traditional cooking with firewood and gas**

**Abstract.** *Nowadays, as the world population grows, the need for cooking food grows and there is a great need to obtain new alternatives of heat generation that save fuel and reduce the emission of greenhouse gases. In this context, Brazil needs new generating sources and solar energy can be a solution, because it is clean and renewable. This work consists of no design, assembly and application of three low-cost prototypes of solar cookers. For the construction of the concentrator was used a parabolic antenna of 900 mm in diameter and 50 mm of depth with 401 mirrors, of dimensions 40 x 40 mm, glues in the surface of the antenna, already has box box built in cartons of 470 x 350 mm and 300 x 410 mm painted in black and internally lined with thermally insulated aluminum foil and a top glass for heat gain with the stove effect and funnel type cooker was built with cardboard in the form of a giant funnel, being essential, use a container to cover a pot and greenhouse. The purpose of the article is to analyze the cooking of food with the solar concentrator, to demonstrate one of its applications, and with the solar cookers. The maximum temperature concentrator of 187 ° C in the metal pan and the solar cookers at the temperature of 78 ° C and 111 ° C not box type and funnel type, respectively. The three prototypes designed were efficient for cooking food, and could be a viable alternative to replace traditional cooking with firewood and gas.*

**Key words:** *Solar Cooker, Energy Efficiency, Sustainability*