

# ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DE COCÇÃO DO FOGÃO SOLAR DE UMA PARÁBOLA FABRICADA DE MATERIAL ALTERNATIVO COM FOGÃO SOLAR DE DUAS PARÁBOLAS

**Miguel Cabral de Macedo Neto<sup>1</sup>, Luiz Guilherme Meira de Souza<sup>2</sup>, Zulmar Jofli dos Santos Júnior<sup>3</sup>, Andriele Marinho de Lima<sup>4</sup>, Íverton Rodrigo Barbosa Gomes<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Professor do IFRN. Mestre em Engenharia Mecânica. Graduado em Engenharia de Materiais. email: miguel.cabral@ifrn.edu.br

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais. email: lguilherme@dem.ufrn.br

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia de Produção. Graduado em Engenharia Elétrica. email: zulmar.santos@ifrn.edu.br

<sup>4</sup> Aluna Curso de Refrigeração IFRN- Santa Cruz. email: andrieleifrn2010@gmail.com

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia Mecânica. Graduado em Engenharia de Materiais. email: ivertonufrn@yahoo.com.br

## RESUMO

Neste trabalho, serão apresentados os processos de fabricação e montagem de um fogão solar com uma parábola, bem como os resultados de testes para determinar a temperatura de contato e os tempos de cozadura de certos tipos de alimentos e a comparação dos resultados com fogão solar fabricado com duas parábolas (Ramos) no Laboratório de energia solar da Universidade federal do Rio grande do Norte. O fogão solar a concentração tem como principal característica seu fácil processo de fabricação sendo produzidos a partir de uma composição de materiais reutilizáveis, como cimento, gesso e EPS triturado e pneus, montagem e baixo custo. Apresenta área de captação de 1,0 metro quadrado e sua parábola foi coberto com segmentos de espelhos de 25 cm<sup>2</sup>. Obteve-se temperatura de foco superior a 650°C, demonstrando uma viabilidade de cocção desse fogão solar para vários tipos de alimentos como feijão, batata, arroz, inhame e macarrão e podendo ser usado em duas refeições para uma família de quatro pessoas. Este protótipo pode representar uma importante contribuição para o uso de fogões solares, especialmente no Nordeste, para o combate a desertificação, e emissão de poluentes pelo uso massivo de lenha, que causa desequilíbrio ecológico nessa região.

**Palavras Chaves:** Materiais reutilizáveis, Energia Solar, EPS, Contribuição Social.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a ênfase dada à questão ambiental, que atinge caráter de imprescindibilidade quando se busca meios de amenizar os efeitos do nefasto aquecimento global, o mundo desenvolvido prioriza a utilização das energias limpas e renováveis. Nesse contexto a energia solar tem merecido um destaque especial, com todos os países criando programas de incentivo a sua utilização, abrindo linhas de financiamento com baixas taxas de preços de aquisição de tais equipamentos (FILHO, 2007).

Segundo Ramos, 2011, as principais vantagens do uso da energia solar estão relacionadas a não poluição durante seu uso; as centrais solares necessitam de manutenção mínima; fogões solares são a cada dia mais potentes; o custo de implantação é cada vez menor; excelente para lugares de difícil acesso. As principais desvantagens são a variação na produção de acordo com o clima e formas de armazenamento pouco eficientes (FILHO, 2011)

Portanto, faz-se necessária a pesquisa e o desenvolvimento de métodos capazes de estabelecer soluções técnicas e economicamente viáveis para o uso de recursos renováveis pelos setores mais distantes dos grandes centros, que são economicamente incapazes de adquirir equipamentos oferecidos pelo mercado formal, permanecem à margem do desenvolvimento econômico e social.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho consiste em mostrar os procedimentos realizados na construção de um fogão solar de uma parábola fabricado com material compósito de matriz cerâmica e comparar os resultados dos ensaios com fogão solar fabricado com duas parábolas.

### 1.1. Fogão Solar

Desde a mais remota antiguidade os povos utilizam a energia do sol para aquecer água, secar frutas e cozer vegetais. A primeira cozinha solar com tecnologia moderna se atribui ao franco-suíço Horace de Suassure, que construiu uma pequena caixa solar, entre outros inventos relacionados com esta fonte de energia. A cozinha solar de Horace constava de duas caixas de madeira de pinho, uma dentro da outra, isoladas com lã e tinha três coberturas de vidro.

Em 1960 um estudo da ONU foi publicado para avaliar as reais possibilidades de implantação e desenvolvimento das cozinhas solares nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. A conclusão dessa publicação foi que as cozinhas eram viáveis e que era preciso apenas uma mudança nos costumes para uma adaptação a sua utilização em grande escala.

Em 1992 a associação Solar Cookers International promoveu a Primeira Conferência Mundial sobre a Cozinha Solar, um acontecimento histórico que reuniu pesquisadores e entusiastas de 18 países. Essa Conferência repetiu-se em 1995, 1997 e recentemente em 2006, na Espanha.

Aproveitando a energia que vem do sol, o fogão transforma a irradiação solar em calor para o preparo de alimentos, reduzindo o esforço do sertanejo na busca de lenha para o preparo de seu alimento e, ainda, contribuindo para a preservação da natureza, possibilitando o aumento da capacidade de remoção do dióxido de carbono da atmosfera e a redução das concentrações deste gás de efeito estufa na atmosfera. (FILHO, 2007).

Segundo o engenheiro Bezerra (2001), 30% da madeira retirada da caatinga do nordeste brasileiro transformam-se em lenha para cozimento de alimentos. Com a utilização dos fogões solares será possível economizar até 55% dessa lenha evitando o desmatamento. A principal vantagem do uso do fogão solar é a disponibilidade de energia gratuita e abundante, além da ausência de chamas, fumaça, perigo de explosão e incêndios.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na realização do projeto para construção do fogão solar foi desenvolvido uma parabolóide de material compósito, que teve como molde uma sucata de antena parabólica apresentando uma área de reflexão em torno de 1,0 m<sup>2</sup>. Esse molde tinha o formato de uma antena parabólica e era colocado sobre o mesmo todo o material para moldagem, porém se fez necessário acrescentar um suporte de chapa de aço de 4 mm de diâmetro para dar uma maior resistência ao molde, que devido sua área se fez necessário uma maior resistência ao molde e otimizar seu processo de obtenção.

A construção da estrutura de ferro para a fixação do perfil padrão foi construído através do perfil obtido, onde permitia um giro em 360°, com a estrutura de fixação sendo construída de ferro da construção civil, de diâmetro de 6 mm. O projeto das dimensões do parabolóide foi definido a partir da pretensão de obter-se uma parábola com área de reflexão em torno de 1,0 m<sup>2</sup>.

### 2.1 Construção do Molde

O molde possui diâmetro de 1,14m, confeccionado em concreto a base de cimento (1,0) + areia (4,0) mais água, o molde foi deixado em ambiente aberto e após sua cura recebeu cobertura de massa corrida e tinta impermeabilizante. A estrutura do perfil padrão fixava-se ao molde através de um orifício no centro do mesmo.



Figura 1 - Molde utilizado para fabricação da parábola do fogão proposto.

Houve a confecção de uma tela para reforço estrutural utilizando fio elétrico de 4 mm de diâmetro, fazendo com que o material compósito fosse colocado sobre essa tela, assim fornecendo uma maior resistência a estrutura do molde.

Foi colocada uma haste de ferro (tubo) de 70 cm de comprimento e 30 mm de diâmetro no meio do molde, sendo fixada através de quatro parafusos, possuindo a finalidade de fazer a sustentação do fogão com a estrutura de ferro. Para a retirada do molde foi aplicado um desmoldante,

utilizando-se uma mistura de óleo de motor de carro queimado e detergente esperando sua secagem por 24 horas.

## 2.2. Preparação do Compósito

A fim de recobrir a concavidade da parábola preparou-se um compósito as seguintes proporções, em volume, para cada constituinte: 1,0 gesso, 1,0 EPS (poliestireno expandido), 1,5 cimento e 0,5 do volume total da mistura de água, sendo recolhidos os materiais em sucatas de lixo. A concavidade da parábola foi recoberta por cima da estrutura metálica e por cima da haste de ferro. Após a colocação do compósito no molde, esperou-se um tempo de cura de 72h com molde ficando no solo recebendo sol durante o dia.

## 2.3. Corte e Colagem dos Espelhos

Os espelhos possuem 2 mm de espessura e foram cortados utilizando-se uma lâmina de diamante posicionada na ponta de um equipamento semelhante a uma caneta. Foram feitos diversos cortes de (5,0 x 5,0) possuindo cada uma, área de 25 cm<sup>2</sup> de espelho e alguns pedaços menores nas pontas de modo a revestir toda a parábola. Os pedaços foram cortados de modo a se adaptarem perfeitamente ao perfil curvo da parábola.

Os espelhos foram colados utilizando-se cola branca para madeira, os pequenos pedaços de espelhos em torno de 5 cm. Eles foram colados em superfície de fitas colantes em torno de 30 cm, sendo posteriormente colocadas na superfície da parábola.

## 2.4. Painel

A panela foi construída com material compósito à base de cimento, gesso, EPS triturado e pneu triturado, diminuindo sua troca térmica com o ambiente. A mesma possui capacidade de armazenamento para 4,5 litros em volume e sendo fixado em seu interior um termopar para realizar a medição da temperatura.

## 2.5. Equipamento de Medição

Os dados de temperatura no fundo da panela (temperatura de foco) foram medidos com um termopar de cromel-alumel acoplado a um termômetro digital (Minipa MT-306) e os dados de temperatura da água, usados no teste de ebulição e no teste de cocção de alimentos foram medidos utilizando-se um termômetro de bulbo.

### 3. METODOLOGIA DOS ENSAIOS

As perdas térmicas do absorvedor (panela) para o ambiente foram avaliadas através da medição de temperatura da superfície externa do compósito que envolvia a panela e da temperatura ambiente, ambas medidas com o mesmo par termoeletrico utilizado para a medida da temperatura de foco. O tempo de cocção dos alimentos escolhidos representa um parâmetro comparativo para que se possa demonstrar a viabilidade de utilização de tal fogão e de sua competitividade com outros fogões já estudados no Brasil e também com um fogão convencional a gás.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se analisar os resultados do fogão/forno solar foram realizados primeiramente os cálculos dos parâmetros e da sua eficiência e em seguida coletados os dados dos ensaios de temperatura do foco, de ebulição de água, de cozimento e assamento de alimentos.

#### 4.1. Ensaio para Ebulição de Água

Outro teste realizado consistiu na ebulição de um litro de água que foi colocado na panela de compósito a base de gesso e isopor, com capacidade de armazenar em torno de 4,5 litros, absorvedora na temperatura de 30°C. A panela foi colocada no fogão alguns minutos antes do início do teste. O teste foi feito com um termopar colocado dentro da panela, fazendo assim a medição da água. A água foi colocada na panela às 10h35min horas. O tempo para a ebulição da água na quantidade de um litro correspondeu a 15 minutos, compatível e competitivo com o tempo para a mesma operação obtido com outros fogões (FILHO, 2007). Em relação ao fogão convencional a gás o tempo foi em torno de 25% maior, o que representa um resultado significativo, levando-se em conta a gratuidade da energia solar e o seu baixo custo de produção. A Tabela 1 apresenta os resultados do teste para ebulição de água e o a Figura 6, comportamento assumido pelos parâmetros medidos durante o ensaio.

Tabela 1 - Resultados do teste para ebulição de água.

<b><i>Tempo (hora)</i></b>	<b><i>T<sub>panela</sub> (°C)</i></b>	<b><i>T<sub>água</sub> (°C)</i></b>	<b><i>Radiação solar direta (W/m<sup>2</sup>)</i></b>
<b>10h35min</b>	120	40	816,8
<b>10h38min</b>	135	49	819,2
<b>10h41min</b>	148	62	828
<b>10h44min</b>	164	77	836,8
<b>10h47min</b>	176	89,7	840
<b>10h50min</b>	180	100	850,4

O gráfico da Figura 2 mostra o comportamento assumido pelos parâmetros medidos durante o ensaio.

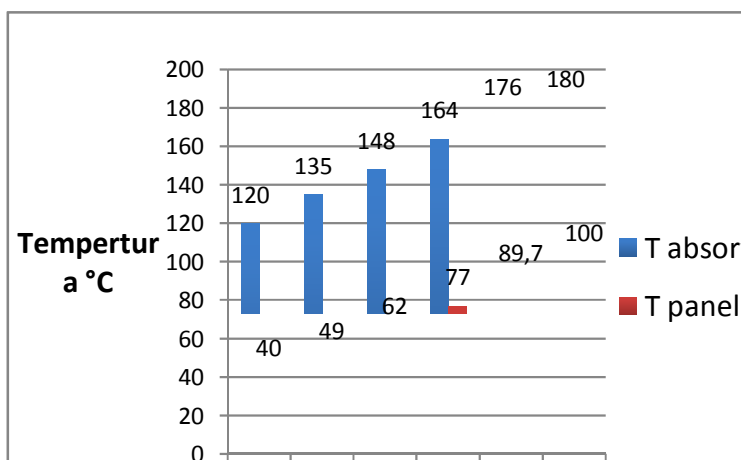


Figura 2 - Comportamento médio assumido pelas temperaturas do absorvedor e da água para o ensaio de ebulição.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados na Cocção dos alimentos do fogão de uma parábola.

<i>Alimento</i>	<i>Quantidade ( Gramas)</i>	<i>Volume água ( Litro )</i>	<i>Radiação solar média (W/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Temp. Ambiente média (°C)</i>
Arroz	250 g	1 litro	810,06W/m <sup>2</sup>	33,0°C
Macarrão	1000 g	1 litro	813,93W/m <sup>2</sup>	33,0°C
Batata Doce	1000 g	1 litro	777,16 W/m <sup>2</sup>	33,0°C
Inhame e macaxeira	500g + 500g	1,5 litros	759,3W/m <sup>2</sup>	31,0°C
Feijão	500 g	1,7 litros	750,3W/m <sup>2</sup>	30,0°C

A Figura 3 mostra o comportamento comparativo do tempo de cocção de todos os alimentos experimentados no presente estudo.

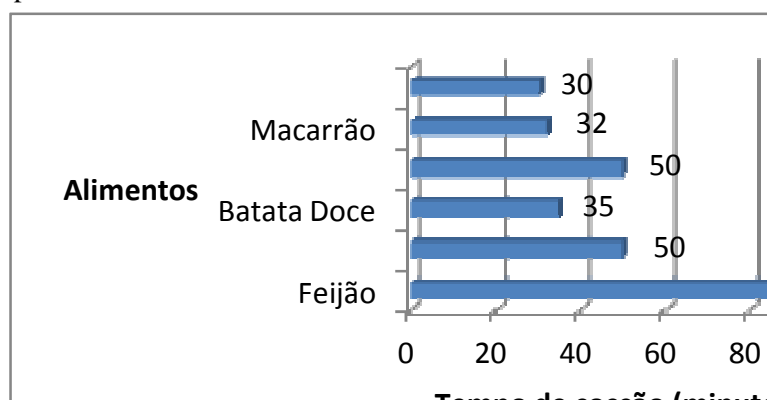


Figura 3 - Tempo em minutos de cozimento dos alimentos ensaiados.

O fogão solar proposto mostrou-se viável para a operação de cocção de alimentos e os tempos necessários para a cocção foram compatíveis com a literatura solar para cozimentos de alimentos utilizando fogões solares, em torno de 15 minutos para arroz e macarrão, após a ebulição da água. Ressalte-se que em fogão convencional o tempo de ebulição de um litro de água é em torno 10 minutos, e a cocção dos alimentos é obtida em torno de 15 minutos para o arroz e dez minutos para o macarrão (FILHO, 2007 e SILVA, 2010)

Esses dados demonstram a viabilidade de utilização do fogão solar em substituição aos fogões convencionais a gás, para boas condições solarimétricas, principalmente em nossa região, privilegiada quanto recebimento de radiação solar.

Buscando-se demonstrar a viabilidade de utilização do fogão solar proposto mostrado na figura 4 e sua competitividade com fogão de duas parábolas (FILHO, 2011) montou-se um gráfico que apresenta os resultados mostrados na Figura 5.



Figura 4 - Fogão solar proposto.

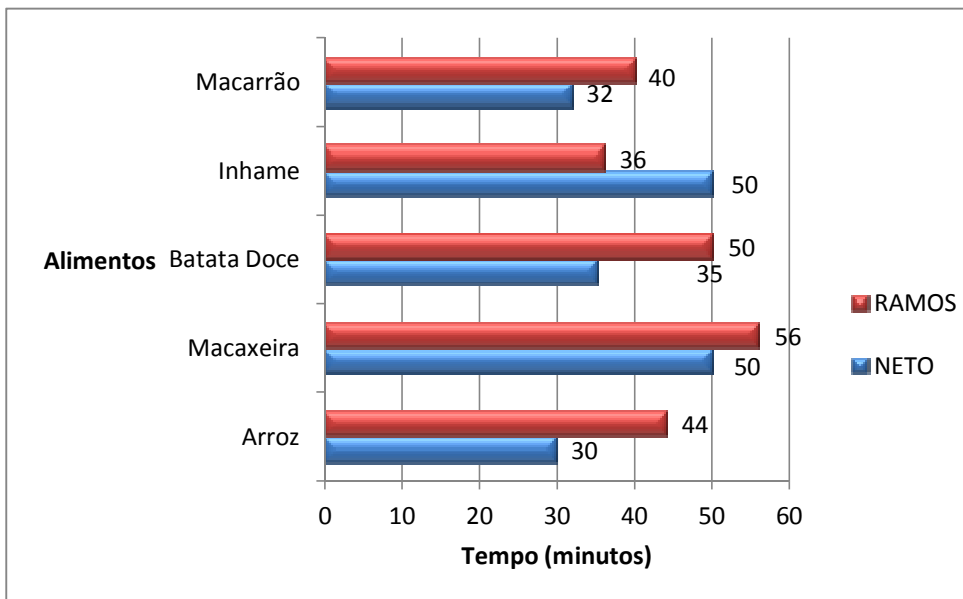


Figura 5- Comparação dos tempos de cozimento de alimentos para fogão proposto de uma parábola e fogão com duas parábolas(FILHO, 2011).

Tabela 3 - Análise comparativa de tempo (min) de cocção dos alimentos entre fogão proposto e o fogão de duas parábolas

<i>Fogão</i>	<i>Arroz</i>	<i>Macarrão</i>	<i>Batata doce</i>	<i>Inhame e macaxeira</i>	<i>Feijão</i>
<b>Duas parábolas</b>	44min	40min	50min	50min e 56min	60min

<b>Uma parábola</b>	30min	32min	35min	50min	90mi n

Ressalte-se que a utilização de uma panela com isolamento térmico trouxe contribuição significativa para a obtenção de tempos inferiores de cocção, proporcionando uma maior competitividade do fogão solar proposto em relação ao fogão convencional a gás, a mesma panela foi utilizada na cocção do fogão de uma parábola como no fogão de duas parábolas.

Os resultados indicados na tabela 2 indicam em alguns casos pouca diferença de tempo em relação à cocção dos alimentos, quando comparado com os fogões. Apenas para a cocção do feijão que existe uma considerada diferença, já em relação aos outros alimentos, percebe-se a viabilidade de uso do fogão proposto.

Adicionalmente, é importante enfatizar que o fogão solar representa uma alternativa complementar para a cocção de alimentos, e sua plena utilização como fonte única dá-se em períodos de boas condições solariméricas, o que acontece na maioria dos dias do ano na região nordeste.

Esses resultados demonstram a necessidade de um investimento massivo do governo em fogões solares como forma de minorar os graves problemas ambientais de nossa região e de combater as profundas desigualdades sociais da região nordeste. O fogão solar pode representar uma alternativa extremamente viável nos campos técnico e econômico, podendo até transformar-se numa opção de geração de emprego e renda para comunidade pobres da nossa região pela sua fabricação para comercialização.

O fogão solar à concentração proposto também pode ter utilização para produzir o assamento de alimentos tais como bolos, pães, pizzas, lasanha, pães de queijo, empanados, quibes, etc. Alguns testes preliminares já foram operacionalizados para esse fim, demonstrando a viabilidade dessa utilização do fogão proposto. É preciso, entretanto, um controle mais apurado do processo para evitar a queima dos alimentos em processo de assamento pela elevada temperatura de foco. Uma alternativa é colocar o alimento a ser assado abaixo da região focal. A partir da análise dos resultados dos ensaios do fogão solar em estudo, podem-se comparar os benefícios do mesmo com seu custo e dificuldades de uso.

## 5. CONCLUSÃO

O fogão solar proposto mostrou-se viável para o fim de cozimento de alimentos, podendo trazer substancial economia e minimizar problemas de ataque à ecologia, principalmente no que diz respeito ao desmatamento por uso de lenha.



Como sua operacionalidade é simples, em função do fácil manuseio de seu mecanismo de rastreamento solar logo os processos de fabricação e montagem do fogão solar são simples podendo ser facilmente repassados para comunidades carentes.

Os tempos de cozimento dos alimentos ensaiados no fogão solar, com a utilização de uma panela isolada termicamente, são competitivos com os tempos de cozimento apresentados na literatura solar para cocção de alimentos e superiores aos obtidos com o fogão com duas parábolas .

O fogão proposto tem capacidade de cozimento no período das 8h às 15 h, dentro de boas condições solarimétricas;

A parábola construída com o material compósito tem uma massa maior que a construída com fibra de vidro apresentando assim desvantagem em relação ao seu peso, porém seu custo é menor devido à utilização de materiais de sucata e podendo ser mais fácil de ser fabricada que faz com que a opção pelo uso de uma parábola confeccionada em material compósito, concedeu maior simplicidade ao processo de fabricação, viabilizando ainda mais repasse tecnológico para comunidades de baixa renda e de baixa capacidade intelectual.

O fogão solar apresenta boa relação custo benefício principalmente, pois por usar um combustível quase inesgotável, e abundante em nossa região.

## **REFERÊNCIAS**

1. ALDABÓ, R. Energia Solar. São Paulo: Artliber Editora, (2002).
2. LOSTER, M.. 2006. Apud. As Energias Renováveis. Mapa W/m2 mundial de energia solar. Disponível em: <<http://www.gstriatum.com/pt/mapa-wm2-mundial-de-energia-solar/>>. Acesso em: 07 Fev. (2011).
3. FILHO, C. A. P. Q. Construção e Análise de Desempenho de um Fogão Solar à Concentração Utilizando dois Focos para Cozimento Direto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, (2007).
5. FILHO, R. E. B. R. Análise de Desempenho de um Fogão Solar Construído a Partir de Sucatas de Antena de TV. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, (2011).
6. SILVA, A. R. Estudo Térmico e de Materiais de Blocos para Construção de Casas Populares Confeccionados a Partir de um Compósito a Base de Gesso, Cimento, EPS e Raspa de Pneu. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, (2010).