

DESENVOLVIMENTO DE UM FOGÃO SOLAR COM PARÁBOLA FABRICADA EM MATERIAL COMPÓSITO A BASE DE ISOPOR E GESSO**M. C. MACEDO NETO¹, Í. R. B. GOMES², P. C. A. GONDIM³, L. G. M. SOUZA**¹e³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, ²e⁴Universidade Federal do Rio Grande do Norte¹miguel.cabral@ifrn.edu.br, ²ivertonufrn@yahoo.com.br, ³priscyllacinthya@hotmail.com, ⁴iguilherme@dem.ufrn.br

Artigo submetido em novembro/2011 e aceito em dezembro/2011

RESUMO

Neste trabalho, serão apresentados os processos de fabricação e montagem de um fogão solar, bem como os resultados de testes para determinar a temperatura de contato e os tempos de cozadura de certos tipos de alimentos. 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 cm². 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-CHAVE: Materiais reutilizáveis, Energia Solar, EPS, Contribuição Social.**DEVELOPMENT OF A SOLAR COOKER CONTAINING A PARABOLE MADE BY A COMPOSITE MATERIAL BASED ON STYROFOAM AND PLASTER**

In this work, we present the manufacturing processes and assembly of a solar cooker, as well as the results of tests to determine the contact temperature and cooking times of certain types of food. The concentration solar cooker's main characteristic is its easy manufacturing process is produced from a composition of reusable materials such as cement, plaster and shredded tires and EPS, assembly and low cost. Displays catchment area of 1.0 meters square and was covered with his parable of mirror segments 25

cm². Temperature was obtained in focus than 650 ° C, demonstrating the feasibility of a solar cooker for cooking of various foods such as beans, potatoes, rice, yams and macaroni and can be used in two meals for a family of four. This prototype can represent an important contribution to the use of solar cookers, especially in the Northeast, to combat desertification, and emission of pollutants by the massive use of firewood, which causes ecological imbalance in the region.

KEY-WORDS: Reusable materials, Solar Energy, EPS, Social Contribution.

DESENVOLVIMENTO DE UM FOGÃO SOLAR COM PARÁBOLA FABRICADA EM MATERIAL COMPÓSITO A BASE DE ISOPOR E GESSO

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 utilizando, abrindo linhas de financiamento com baixas taxas de juros e subsidiando os preços de aquisição de tais equipamentos (TRENDS IN RENEWABLE ENERGIES, 2005; YAKOV, 2000).

No Brasil, pouco se cogita sobre os elevados potenciais naturais com extraordinária incidência solar. O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol (VIDAL; VASCONCELOS 2002).

A energia solar é por excelência a mais ecologicamente correta, trabalhando como um imenso reator à fusão, o sol irradia na terra todos os dias um potencial energético extremamente elevado, incomparável a qualquer outro sistema de energia. O Sol irradia anualmente o equivalente a 10 mil vezes a energia consumida pela população mundial neste mesmo período. Apesar do seu grande potencial para gerar energia, o sol ainda não é referência no contexto elétrico brasileiro, devido aos altos custos, o país utiliza pouquíssima essa alternativa energética. (RAMOS, 2011).

Para que técnicas alternativas que têm o sol como principal fonte de energia, como o fogão solar, possam realmente ocupar espaço na sociedade, é necessário, antes de tudo, difundir o seu uso, mostrando as vantagens e as desvantagens de sua utilização bem como os cuidados que a ele devem ser dispensados para que possa realmente operar satisfatoriamente. (SOUZA, 2010).

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.

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 com parábola feita através de material compósito bem como demonstrar sua viabilidade de cocção dos alimentos.

1.1. ENERGIA SOLAR

O Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia, em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol. O Sol fornece anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia para a atmosfera terrestre, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia no mesmo período de tempo. (QUEIROZ, 2005).

O aproveitamento dessa energia, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é atualmente uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os novos desafios. Os países tropicais, devido a suas posições geográficas, possuem grande potencial energético, sendo, portanto, bastante favoráveis ao uso de equipamentos solares. O Brasil possui significativo potencial solar com disponibilidade equivalente a $1,13 \times 10^{10}$ GWh, em quase todo o ano, como acontece no Nordeste. (ALDABÓ, 2002).

A radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, esse fato indica que além de ser responsável pela manutenção da vida terrestre, tem também um grande potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia. Exemplo disso é a evaporação, processo que ocorre a partir da energia do Sol, e que possibilita o represamento das águas e a conseqüente geração hidroelétrica. Assim como também a energia eólica utiliza-se da radiação solar quando induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. (LION, 2007).

Para ALDABÓ (2002) de toda a radiação solar que incide na nossa atmosfera, somente 25% chega ao solo terrestre de forma direta. Ao longo da atmosfera a radiação solar sofre reflexões, absorções e dispersões. A radiação global que coleta-se em solo, é fruto então da radiação direta, difusa e refletida.

Os países tropicais são bastante favoráveis ao uso de equipamentos solares devido a sua posição geográfica, recebendo maiores quantidades de radiação solar e ainda possuem mais dias de sol que os países subtropicais e temperados. Pode-se perceber a veracidade da informação observando-se a Figura 1 em que se vêem as regiões tropicais com maiores índices de radiação solar. (LOSTER, 2006)

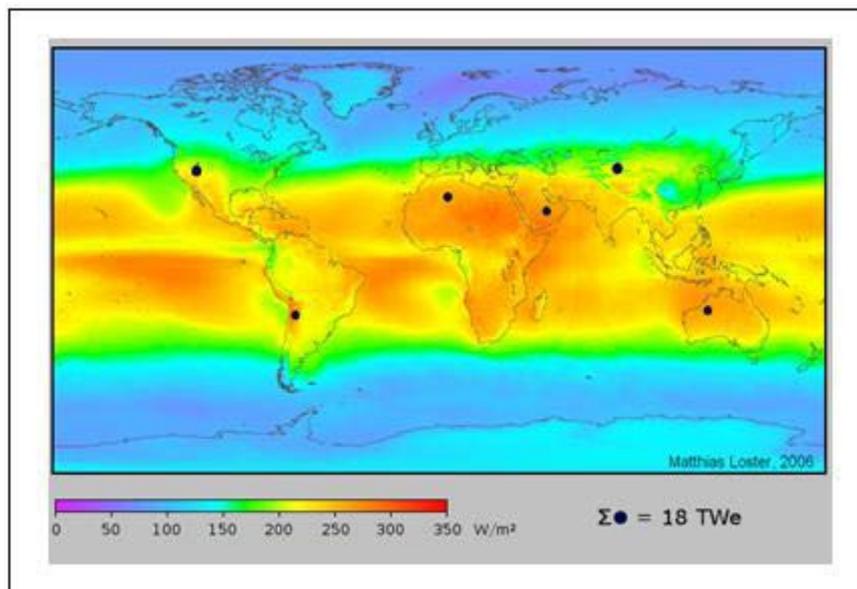


Figura 1. Mapa solar mundial.
Fonte: Loster,(2006, p. 01)

1.2. 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.

No sertão nordestino assolado pelas secas, o sertanejo sofre com a fome e a sede devido à inclemência do sol sobre suas terras áridas. O uso de fogões solares na caatinga promete reverter ou ao menos amenizar essa situação possibilitando ao sertanejo uma melhor condição de vida. (SOUZA,2002; LION,2007).

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 estufa na atmosfera. (SOUZA, 2002; LION,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.

1. 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 $1,0 \text{ m}^2$. 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 $1,0 \text{ m}^2$.

2.1. Confecção da estrutura de fixação do perfil padrão

A estrutura de fixação para as quatro partes do parabolóide foi construída utilizando-se ferros, de sucatas na forma cilíndrica, de construção civil, possuindo rodas em suas extremidades que fazem contato com o solo, facilitando a movimentação de todo o fogão.



Figura 2. Estrutura de sustentação do fogão proposto.

2.2 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 3. 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.

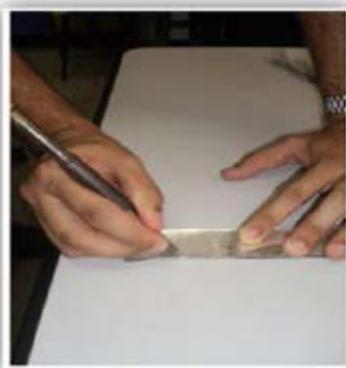
Foi colocada uma haste de ferro (tubo) de 70 cm de comprimento e 30 mm de diâmetro no meio do molde, sendo fixada através de quatro parafusos, possuindo a finalidade de fazer a sustentação do fogão com a estrutura de ferro. Para a retirada do molde foi aplicado um desmoldante, utilizando-se uma mistura de óleo de motor de carro queimado e detergente esperando sua secagem por 24 horas.

2.4. 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.

2.5. Corte dos espelhos 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 cm² 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.



a)



b)

Figura 4. Corte dos Espelhos em (a) e ferramenta com ponta de diamante para o corte dos mesmos em (b).

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.

2.6. Painela

A painela 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.



Figura 5. Painela do fogão em estudo.

2.7. Equipamentos de medição

Os dados de temperatura no fundo da painela (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.

As perdas térmicas do absorvedor (painela) para o ambiente foram avaliadas através da medição de temperatura da superfície externa do compósito que envolvia a painela e da temperatura ambiente, medidas por termopar semelhante ao que mediu as temperaturas do fundo da painela.

Os dados de radiação solar global foram medidos com a estação meteorológica Davis – Weather Envoy instalada no Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Esta estação fornece dados referentes à radiação solar, umidade, temperatura ambiente e velocidade do vento.

2. 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.

2.1. Ensaio da ebulição da água

Foram realizados testes para a ebulição de água, colocando-se 1 litro de água dentro da panela e aguardando seu tempo de ebulição, em um período de 8h às 15h e posterior cocção de alguns alimentos que variou de uma faixa de 10h às 13h30minh, escolhidos em função de suas participações nas refeições de uma família nordestina. Para o ensaio, foi colocada a quantidade de um litro de água dentro da panela, em seguida realizava-se a medição da temperatura da água através do termopar colocado no fluido, e posteriormente era marcado o tempo que água chegava ao seu ponto de ebulição.

2.2. Ensaio de cocção dos alimentos

Para avaliar a capacidade de utilização do fogão solar foi necessário realizar o ensaio de cocção de alimentos. Foram escolhidos alguns alimentos que fazem parte da cultura nordestina. Os alimentos escolhidos foram 500 gramas de feijão carioca, 250 gramas de arroz, 250 gramas de macarrão, 500 gramas de inhame, 500 gramas de macaxeira e 1 quilograma de batata doce.

O tempo de cocção dos alimentos escolhidos representa um parâmetro comparativo para que se possa demonstrar a viabilidade de utilização de tal fogão junto com a panela feita à base de material compósito e de sua competitividade com outros fogões já estudados no Brasil e também com um fogão convencional a gás.

2.3. Cocção de arroz

O primeiro alimento testado foi o arroz na quantidade de 250 gramas. Foi colocada na panela uma quantidade de água correspondente a 1,0 litro. O teste para cozimento do arroz iniciou-se às 11h50min horas sob excelentes condições solarimétricas.

2.4. Cocção de macarrão

O segundo alimento testado foi o macarrão na quantidade de 250 gramas. Foi colocada na panela uma quantidade de água correspondente a 1,0 litros. O teste para cozimento do iniciou-se às 12h40min sob excelentes condições solarimétricas.

2.5. Cocção de batata doce

O próximo alimento a ser testado para sua cocção foi à batata doce, em duas espécies a de pele marrom e roxa, na quantidade correspondente a 1,0 quilograma. A quantidade de água colocada na panela correspondeu a 1,0 litro.

2.6. Cocção de inhame e macaxeira

Outros alimentos testados foram o inhame e a macaxeira, que foram colocados juntos para o processo de cocção no fogão solar construído, na quantidade de 500 gramas para cada alimento. A macaxeira e o inhame foram descascados para a cocção. A quantidade de água colocada na panela foi de 1,5 litros.

2.7. Cocção do feijão

O último alimento escolhido para cocção no fogão solar construído foi o feijão, o mais tradicional alimento da mesa do nordestino. Escolheu-se o tipo mulatinho também chamado de carioquinha, na quantidade de 500 gramas. O feijão foi colocado de molho na noite anterior ao dia de cozimento, como se faz tradicionalmente quando do seu cozimento em fogão a gás. A quantidade de água colocada na panela foi de 1,7 litros.

3. 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.

3.1. 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 (LION, 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.

Tempo (hora)	T_{panela} (°C)	T_{água} (°C)	Radiação solar direta (W/m²)
10h35min	120	40	816,8
10h38min	135	49	819,2
10h41min	148	62	828
10h44min	164	77	836,8
10h47min	176	89,7	840
10h50min	180	100	850,4

A Figura 6 mostra o comportamento assumido pelos parâmetros medidos durante o ensaio.

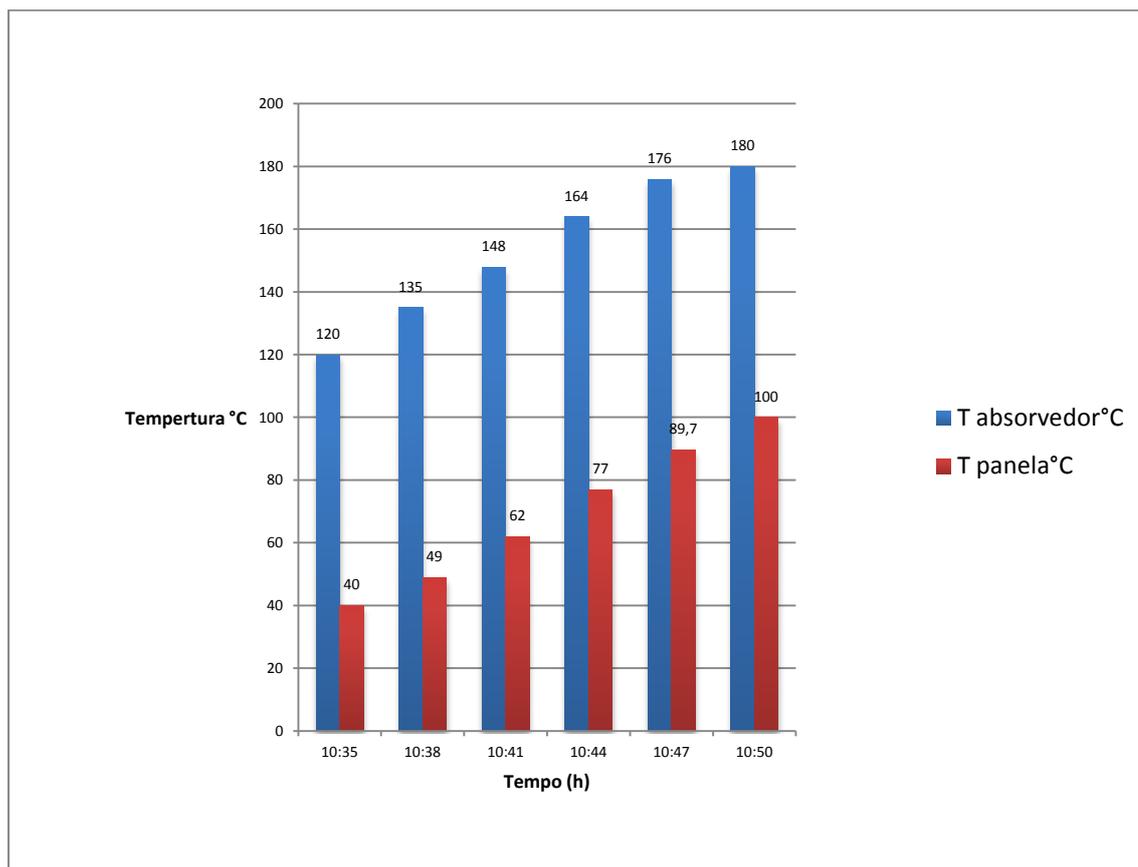


Figura 6. Comportamento médio assumido pelas temperaturas do absorvedor e da água para o ensaio de ebulição.

4.2. Cocção de arroz

O teste foi realizado com excelentes condições solarimétricas, com radiação solar direta média correspondente a $810,06\text{W/m}^2$. A temperatura ambiente esteve em torno de $31,5^\circ\text{C}$ e a sensação térmica de $33,0^\circ\text{C}$, resultados obtidos pela estação meteorológica instalada no LMHES. A temperatura externa da panela recoberta com o compósito ficou em torno de 50°C , demonstrando a boa eficiência térmica do compósito que revestiu a panela. O tempo de cocção do arroz correspondente a 30 minutos (ebulição da água em 15 minutos e o cozimento do arroz mais 15 minutos) obteve-se o cozimento desse alimento foi superior ao do fogão convencional a gás, em torno de 28 minutos, mostrando ser competitivo o uso do fogão e panela recoberta com compósito.

4.3. Cocção de macarrão

O teste foi realizado com excelentes condições solarimétricas, com radiação solar direta média correspondente a $813,93\text{W/m}^2$. A temperatura ambiente esteve em torno de $31,5^\circ\text{C}$ e a sensação térmica de $33,0^\circ\text{C}$. A temperatura externa da panela recoberta com o compósito ficou em torno de 52°C . O tempo de cocção do macarrão, correspondente a 32 minutos (após a ebulição da água em torno de 15 minutos, o macarrão foi colocado na panela após 17 minutos obteve-se o cozimento desse

alimento), foi superior ao do fogão convencional a gás, em torno de 27 minutos e inferior aos outros fogões solares comparados, valores competitivos encontrados quando comparados com fogão a gás convencional.

4.3 cocção de batata doce

O teste foi realizado com excelentes condições solarimétricas, com radiação solar direta média correspondente a 777,16 W/m². A temperatura ambiente esteve em torno de 31,5°C e a sensação térmica de 33,0°C. Após a ebulição da água em torno de 15 minutos, as batatas foram colocadas na panela e após 20 minutos obteve-se o cozimento das batatas. O tempo de cozimento das batatas, correspondente a 35 minutos, foi superior ao obtido com o fogão a gás, em torno de 26 minutos. Havendo a comparação do fogão estudado e a panela a base de compósito, verificam-se valores pouco superiores aos encontrados no fogão a gás, mostrando a sua viabilidade.

4.4 cocção de inhame e da macaxeira

O teste foi realizado com radiação solar direta média correspondente a 759,3W/m². A temperatura ambiente esteve em torno de 31,0°C. Após a ebulição da água em torno de 25 minutos, a macaxeira e o inhame a foram colocados e após 25 minutos obteve-se o cozimento dos dois alimentos. O tempo de cocção do inhame e macaxeira correspondente a 50 minutos foi superior ao do fogão convencional a gás, em torno de 40 minutos. Mostrando um resultado satisfatório quando comparado com fogão a gás, pois apresenta valores bem próximos do mesmo.

4.5. Cocção do feijão

O teste foi realizado com excelentes condições solarimétricas, com radiação solar direta média correspondente a 750,3W/m². A temperatura ambiente esteve em torno de 30,0°C e a sensação térmica de 32,0°C. Após 90 minutos de cocção no fogão solar estudado obteve-se o cozimento do mesmo. Esse tempo é competitivo com outros fogões solares apontados pela literatura de cocção de alimentos, porém é superior ao obtido com a utilização do fogão a gás, em torno de 60 minutos.

Tabela 1: Parâmetros utilizados na Cocção dos alimentos.

<i>Alimento</i>	<i>Quantidade (Gramas)</i>	<i>Volume água (Litro)</i>	<i>Radiação solar média</i>	<i>Temp. Ambiente média</i>

			(W/m ²)	(°C)
Arroz	250 g	1 litro	810,06W/m ²	33,0°C
Macarrão	1000 g	1 litro	813,93W/m ²	33,0°C
Batata Doce	1000 g	1 litro	777,16 W/m ²	33,0°C
Inhame e macaxeira	500g + 500g	1,5 litros	759,3W/m ²	31,0°C
Feijão	500 g	1,7 litros	750,3W/m ²	30,0°C

A Figura 7 mostra o comportamento comparativo do tempo de cocção de todos os alimentos experimentados no presente estudo.

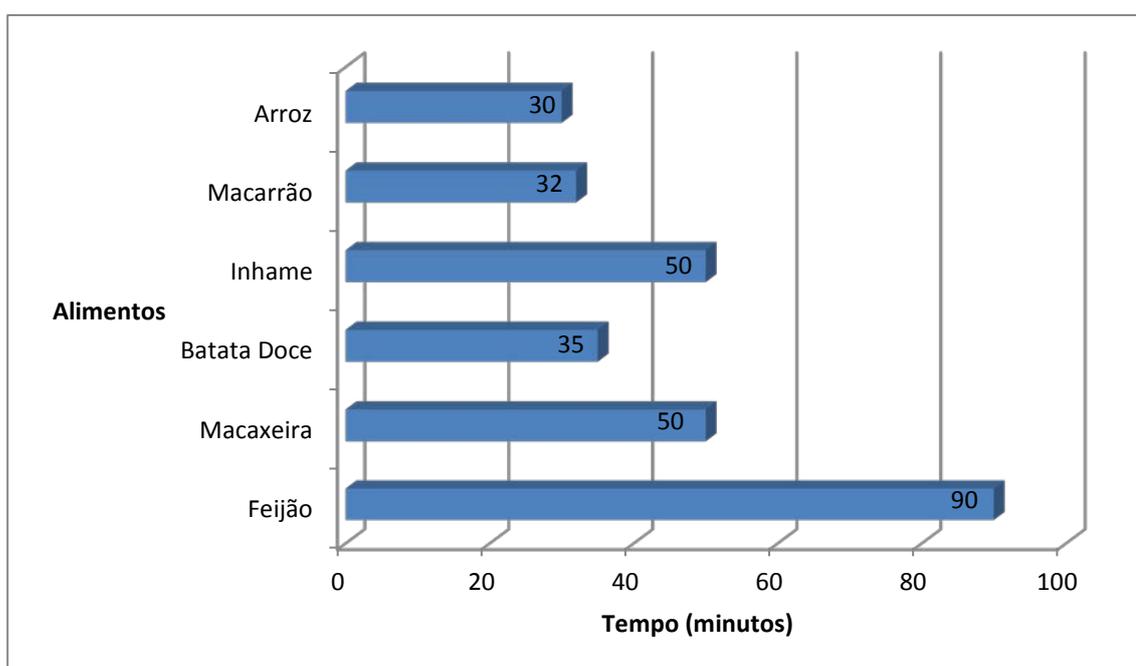


Figura 7. Tempo em minutos de cozimento dos alimentos ensaiados.

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 (LION 2007, RAMOS, 2011).

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 8 e sua competitividade com outros fogões já estudados montou-se um gráfico que apresenta os resultados de vários fogões, mostrado na Figura 9.



Figura 8. Fogão solar proposto.

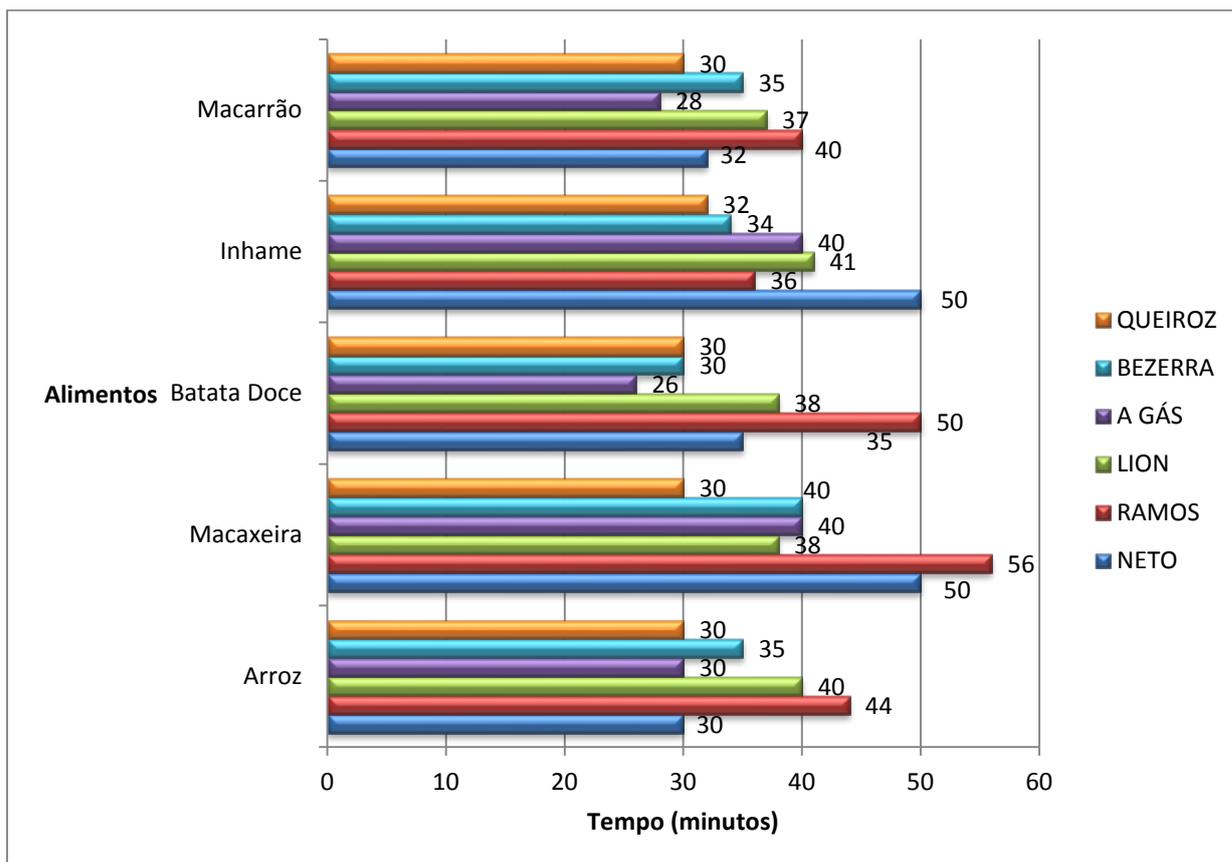


Figura 9. Tempos de cozimento de alimentos para diferentes fogões.

Tabela 2: Análise comparativa de tempo (min) de cocção dos alimentos entre fogão convencional e proposto.

<i>Fogão</i>	<i>Arroz</i>	<i>Macarrão</i>	<i>Batata doce</i>	<i>Inhame e macaxeira</i>	<i>Feijão</i>
Convencional	30min	28min	26min	40min	60min
Proposto	30min	32min	35min	50min	90min

Percebe-se que o fogão solar estudado apresenta grande viabilidade de utilização, apresentando-se competitivo com todos os outros já estudados e também para alguns alimentos inclusive com o fogão convencional a gás. 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 a outros fogões solares já estudados e principalmente quando comparado ao fogão convencional a gás.

Os resultados indicados na tabela 2 indicam em alguns casos pouca diferença de tempo em relação à cocção dos alimentos, quando comparado o fogão convencional e o proposto no estudo. 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.

O fogão em estudo apresenta o menor valor (R\$150,00) quando comparado com os fogões de Queiroz (R\$ 200,00) e Lion (R\$ 300,00), pelo fato de apresentar um custo de fabricação da parábola bem menor do que os anteriormente citados, com parábolas confeccionadas em fibra de vidro (QUEIROZ, 2005; LION, 2007).

A comparação é feita analisando-se apenas o custo do combustível, custo do gás, com o preço do fogão solar, visto que não há custo do combustível do fogão solar por ser de fonte inesgotável e ainda sem comparar o preço do fogão solar com o fogão a gás que ultrapassa em pelo menos 5 vezes.

Considerando o custo de um botijão de gás em torno de R\$ 40,00 e uma família que consome um botijão de gás por mês tem-se R\$ 480,00 de gás por ano, mas caso dessa família utilizar o fogão solar durante o dia e apenas à noite utilizar o fogão a gás, gastaria em torno de R\$ 156,00 por ano, gastos em função da fabricação do mesmo com matérias recicláveis e da parábola refletora com vidros, comparando com o primeiro valor tem-se R\$ 324,00 de economia, o que daria para comprar cerca de dois fogões solares testados.

4. 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 convencional a gás para boas condições solarimétricas, comparando-se os valores com LION(2007);

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.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALDABÓ, Ricardo. **Energia Solar**. São Paulo: Artliber Editora, 2002.
2. LOSTER, Mathias. 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. LION F., QUEIROZ, C. A. P. **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.
4. QUEIROZ, FERNANDES, W. **Construção de um Fogão Solar à Concentração para Cozimento Direto e Indireto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.
5. RAMOS, Rafael Eugênio Moura. **Desenvolvimento de um Sistema Híbrido de Destilação Solar para Tratamento de Água Produzida**. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.
6. RAMOS, BARBOSA, R. E. **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.
7. SILVA, André da Rocha. **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.
8. SOLAR COOKING WIKIA. **Solar Cookers World Network**. Disponível em: <http://solarcooking.wikia.com/wiki/File:AlSol_1.4.jpg>. Acesso em: 06 Fev. 2011
9. SOUZA, L. G. M.; RAMOS FILHO, R. E. B. et.al. **Fogão solar com parábola reciclável de antena**. VI CONEM 2010, Campina grande – PB. Editora da UFCG. V. 1 P 1-9, 2010
10. SOUZA, L. G. M.; RAMOS FILHO, R. E. B. et.al. **Forno Solar Fabricado com Blocos de Material Compósito**. VI CONEN, Campina Grande -PB. Editora da UFCG. V. 1 P 1-7, 2010.
11. **Trends in Renewable Energies**, SolarAcess.com, Canadian Association for Renewable Energies, 2005.
12. VIDAL, J.W.B.; VASCONCELLOS, G.F. **Dialética dos trópicos**. Brasília: Instituto do Sol, 2002. 2 p.
13. YACOV, T., ZEMEL, A., **Long-term perspective on the development of solar energy**, Solar Energy, 68: (5), 379-392, 2000.