

FABRICAÇÃO E TESTE DE DESEMPENHO DE UM FORNO SOLAR TIPO CAIXA UTILIZANDO MATERIAIS RECICLADOS

J. W. GOMES¹, L. G. M. de SOUZA², L. G. V. M. de Souza²

¹Departamento de Eletrotécnica–Instituto Federal da Bahia

²Departamento de Engenharia Mecânica- Universidade Federal do Rio Grande do Norte
jailtonweber@ifba.edu.br- lguilherme@dem.ufrn.br- lguilherme_souza@hotmail.com

Artigo submetido em março/2014 e aceito em xxxx/2014

RESUMO

Apresenta-se o estudo de viabilidade de construção e utilização de forno solar do tipo caixa a serem usados por famílias de baixa renda como alternativa no preparo de alimentos. A estrutura do protótipo foi idealizada a partir de uma sucata de pneu tendo sua cavidade interna preenchida com compósito a base de cimento Portland, gesso e isopor (EPS) triturado buscando o isolamento térmico entre o compartimento interno do forno e o ambiente. A eficiência foi testada em ensaios do forno a vazio (sem alimentos) e com alimentos (bolo, bife e pizza). Os parâmetros medidos e analisados foram o tempo de preparo, temperatura interna do forno e do

absorvedor (assadeira de alumínio). Em posse dos dados obtidos os tempos de cozimento foram comparados aos do fogão doméstico convencional. A viabilidade do forno solar foi comprovada tendo o tempo de preparo do bolo de uma hora, pizza 20 minutos e bife assado em 25 minutos. Esses tempos são considerados elevados quando comparados aos mesmos alimentos produzidos em um fogão convencional, porém, quando se considera o custo benefício de sua utilização o fogão solar apresenta vantagem em relação ao fogão a gás GLP.

PALAVRAS-CHAVE: compósito; energia solar; forno solar; reutilização de materiais.

FABRICATION AND PERFORMANCE TEST OF A SOLAR OVEN TYPE BOX USING RECYCLED MATERIALS

ABSTRACT

it's Presents the feasibility study of the construction and use of solar box type furnace as an alternative to prepare foods to be used by low-income families, especially those that living in rural areas. The structure of the prototype was designed from scrap tire that has internal cavity filled with the composite based on Portland cement, gypsum and polystyrene (EPS) insulation seeking crushed between the internal compartment of the furnace and the environment. The efficiency was tested in trials of the oven empty (with no food) and with food (cake, steak and pizza). The measured parameters were analyzed and the time of

preparation, internal oven temperature and the absorber (aluminum pan). In possession of the time data about obtained meals done, it was compared to the conventional domestic stove. The viability of the solar oven was proven with the preparation time of in one hour for cake, 20 minutes for pizza and roast beef in 25 minutes. These times are considered high when compared to the same food produced in a conventional oven, but if you consider the cost benefit of its use the solar cooker has advantages over the gas stove GLP.

KEY-WORDS:

Reusable materials, Solar Energy, EPS, Social Contribution.

FABRICAÇÃO E TESTE DE DESEMPENHO DE UM FORNO SOLAR TIPO CAIXA UTILIZANDO MATERIAIS RECICLADOS

1 INTRODUÇÃO

1.1 Utilização de lenha no preparo de alimentos.

No mundo a utilização de lenha para cozer alimentos é comum a muitas famílias de baixa renda, principalmente a aquelas que moram na zona rural onde a dificuldade de acesso a outros meios energéticos é maior, além de outros motivos.



Figura 1 - Criança próxima ao fogão a lenha. Fonte: OECO, 2013.

“A inalação da fumaça de rústicos fogões a lenha, **Figura 1ab**, é causa de doenças do coração e pulmonares para quase 2 milhões de mulheres e crianças ao redor do globo, de acordo com dados da Organização Mundial de Saúde (OMS) ^[i]. A **Figura 1c**, foto do telhado sujo de fuligem de uma casa onde o fogão a lenha é única fonte energética para cozinhar os alimentos.

A oferta interna de lenha e carvão vegetal para uso doméstico apresentou uma queda de 3,8% entre os anos de 2003 e 2012. A queima de lenha para a cocção de alimentos corresponde a 25,0 % do total da lenha produzida, o que equivale a $20,879 \times 10^3$ toneladas ^[ii].

A lenha é provavelmente o energético mais antigo usado pelo homem e continua tendo grande importância na Matriz Energética Brasileira, participando com cerca de 10% da produção de energia primária. A lenha pode ser de origem nativa ou de reflorestamento (balanço energético nacional 2013).

Cerca de 35% da lenha produzida no Brasil é transformada em carvão vegetal. O setor residencial é o que mais consome lenha (25%), depois do carvoejamento. Geralmente ela é destinada a cocção dos alimentos nas regiões rurais (balanço energético nacional 2013).

“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.

Diante do exposto acima, a proposta do trabalho é apresentar os procedimentos realizados na construção de um forno solar cuja estrutura do compartimento onde os alimentos são postos a assar foi feita a partir de uma sucata de pneu. A parte interna do forno foi preenchida com compósito a base de gesso e isopor triturado para diminuir as perdas térmicas. Demonstrou-se a viabilidade do forno através da cocção de alimentos.

1.2 Energia Solar

A diversificação da matriz energética atende a dois aspectos importantes para a sociedade. O primeiro é a crescente demanda por energia devido ao crescimento da população mundial. O segundo se refere a aspectos ambientais, onde se procura fontes de energia que causem menos agressão ao ambiente.

A energia solar é considerada inesgotável, renovável e viável como fonte de energia, tendo como uma das formas mais simples de aproveitamento sua conversão térmica. Forno e fogão solar para cocção de alimentos e coletor solar usados no aquecimento de água são sois exemplos de aplicações simples e das mais difundidas que resultaram em publicações em diversos eventos científicos. (Gomes, 2009).

1.3 Fogões solar

“Os fogões tipo caixa podem ter distintos números de refletores externos (0 a 4), planos ou levemente côncavos. Caracterizam-se por permitirem a obtenção de temperaturas de no máximo 150 °C, eles demoram a aquecer e sua operacionalização geralmente não é fácil. Por outro lado têm a vantagem de poder funcionar praticamente sem a intervenção do usuário, mantendo o alimento aquecido durante um tempo prolongado, não produzem efeitos danosos ao usuário nem por concentração nem por reflexão (LION, 2013)”.



Figura 2 - Cozinha solar comercial. Fonte: Pleno sol.com.

Os fogões solares são dispositivos especiais que por intermédio da luz solar, convertida em calor, serve para o cozimento de alimentos e outras utilidades. Classificam-se em três tipos básicos: cozinhas concentradoras, cozinhas do tipo caixa e cozinhas aquecidas por meio de coletores de placa plana. (Souza, ET AL., 2005)

Esse tipo de fogão encontra ampla aplicação em todo mundo, principalmente na Ásia e na África, destacando-se a Índia e a China, como sendo os países que mais tem investido em programas sociais que viabilizam a construção de fogões solares a baixo custo.

Cozinhas solares do tipo caixa são dispositivos que converte a energia solar em aquecimento através do efeito estufa. O calor é retido em uma caixa onde os alimentos são postos a assar. Para uma maior captação da radiação solar espelhos externos direcionam e concentram numa região focal a radiação solar melhorando o desempenho do forno. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta um forno solar comercial tipo caixa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Fabricação do compartimento do forno solar

O forno solar proposto utiliza uma sucata de pneu com as seguintes dimensões: diâmetro (d) – 67cm e altura (h) – 20cm. Colocou-se um compósito a base de cimento, gesso e EPS (isopor) triturado recobrindo a concavidade (**Erro! Fonte de referência não encontrada.a**) e o fundo do pneu (**Erro! Fonte de referência não encontrada.d**), e a essa estrutura que diminui as perdas térmicas do forno solar (**Erro! Fonte de referência não encontrada.bc**), foi aderida uma chapa metálica.

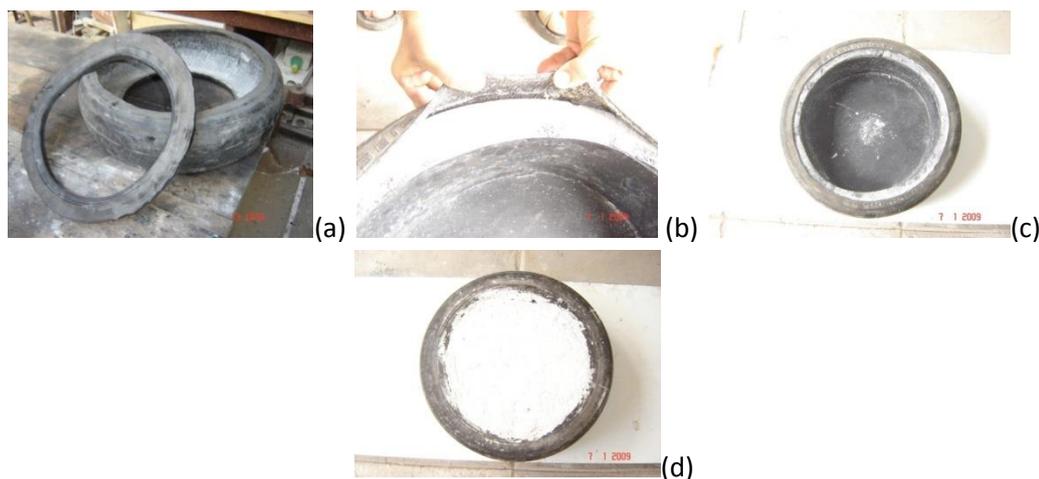


Figura 3 - a) aumento do diâmetro da borda da sucata de pneu, (b) parte interna preenchida com o compósito, (c) estrutura pronta revestida com chapa de ferro e (c) preenchimento da parte inferior do forno com o compósito.

Para aumento do diâmetro lateral do pneu (figura 1a), efetuou-se o corte com auxílio de estilete. A figura 1b apresenta a parte interna do pneu preenchida com o compósito

constituído com 50% em volume de gesso, 16,5% em volume de cimento Portland e 33,5% em volume de isopor triturado. O volume de água adicionado foi de 33% do volume total. Para adesão da chapa na cor preta na parte interna do pneu ao compósito, figura 1c, utilizou-se cola de contato.

2.2 Colocação dos espelhos na chapa lateral do compartimento interno

Após colocação da chapa que reveste o forno internamente como visto na Figura 3a, antes da montagem segmentos de espelhos (20mmx150mm) foram colados na parte interna na lateral do forno.

2.3 Fabricação da parábola refletora

A parábola refletora foi construída a partir do recobrimento de uma peneira indígena (urupema) figura 4a obedecendo ao perfil da parábola. Segmentos de espelhos planos de foram cortados com diamante apropriado, e revestiram a superfície da parábola formando a superfície interna refletora do protótipo solar.



Figura 4 - (a) grade de proteção do ventilador, (b) parábola refletora montada

Para corte dos espelhos utilizou-se um diamante profissional montado em uma ferramenta que permite corte circular. A Figura 5 ab mostra o procedimento de corte dos espelhos.

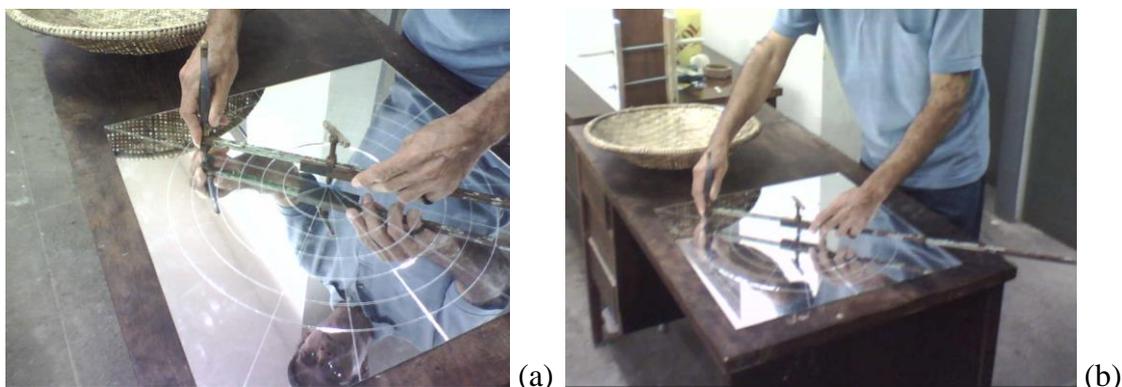


Figura 5 - Corte dos espelhos utilizando ferramenta apropriada para cortes circulares

Recobrimento da urupema com espelhos obedecendo ao perfil da parábola - Os

segmentos de espelhos cortados foram colados na urupema através do uso de cola de contato. A Figura 3.8 mostra o processo de obtenção da parábola refletora a partir da urupema.

2.4 Corte do vidro e da tampa de cobertura do forno

Vidro para cobertura do protótipo solar proporcionar efeito estufa, possui abertura para colocação e retirada dos alimentos postos a assar. Para corte do vidro utilizou-se ferramenta para corte circular em vidros. A Figura 3.9 mostra o vidro de cobertura do forno/fogão solar.

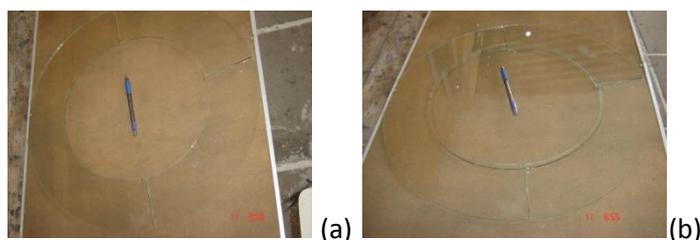


Figura 6 - Vidro de cobertura, tampa do forno/fogão solar.

2.5 Fabricação da superfície externa refletora

Fabricou-se a superfície externa refletora utilizando tubos e conexões de PVC de 1/2 polegada e segmentos de espelhos para a montagem da superfície refletora externa foram cortados com ferramenta de diamante descrita para corte dos espelhos da superfície refletora.

2.6 Confeção do suporte externo da superfície refletora



Figura 7 – (a) vista lateral, (b) vista frontal e (c) detalhe do parafuso de fixação para seguimento do movimento aparente do sol.

A Erro! Fonte de referência não encontrada. abc apresenta a superfície refletora externa fabricada com tubos, joelhos e tês de PVC de 1/2" usados em instalações hidráulicas. Os tubos apresentam rasgos para encaixe dos espelhos externos refletores. Já o suporte externo dos

espelhos refletores **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, foram fabricados com barras metálicas e um parafuso de fixação, possui regulagem direcional ao sol a fim de refletir a radiação para a parte interna do forno.

2.7 Confeção da estrutura de sustentação do forno solar

Obtida a partir de uma sucata de uma cadeira giratória. A

Figura 8abc apresenta a estrutura confeccionada.



Figura 8 - Estrutura de sustentação do forno/fogão solar.

2.8 Etapas de montagem

- Montagem da estrutura de sustentação do forno solar conforme Figura 9 abc;
- Montagem da estrutura da superfície refletora externa - acoplando-se os tubos nos tês e joelhos e colocando-se os segmentos de espelhos de 200mm x 100 mm nos rasgos feitos nos segmentos de tubo. As Figura 9 abc e Figura 10abc mostram com detalhes da superfície externa refletora e de sua fixação a base do forno/fogão solar;
 - Fixação do pneu na estrutura de sustentação. A **Figura 11** mostra a colocação do forno/fogão solar na base de sustentação.
 - Colocação dos componentes internos do forno, incluindo a parábola refletora de urupema como visto na Figura 12.



Figura 9 - Montagem da superfície refletora externa e de sua fixação a base do forno/fogão solar.



Figura 10 - Superfície refletora externa montada.



Figura 11 - Posicionamento do forno solar na base de sustentação.



Figura 12 - Montagem dos componentes internos do forno.

2.9 Metodologia do Ensaio

O primeiro ensaio realizado, o de desempenho sem alimentos, verificou as temperaturas do ar interno, chapa absorvedora interna e superfície absorvedora (assadeira). O objetivo deste procedimento é verificar os valores máximos e médios de temperaturas que podem ser geradas pelo forno solar.

Verificados os valores máximos e médios de temperaturas que podem ser geradas pelo forno solar atestando seu desempenho realizou-se durante dois dias, cozimento e preparo de alimentos apresentados na Tabela 1 - Amostras ensaiadas. Durante este processo mediu-se as mesmas temperaturas realizado no teste a vazio e observou-se o tempo de preparo para cada amostra analisada. As leituras de temperaturas ocorreram de 10 em 10 minutos no período de 9:00 h às 14:00 h.

Tabela 1 - Amostras ensaiadas

Amostra	Massa em gramas	Temperatura Inicial
<i>Bolo</i>	800	33,8°C
<i>Pizza</i>	250	36,5°C
<i>Bife</i>	300	35,8°C

Os dados de temperatura foram medidos com termopares de cromel-alumel, acoplados a um termômetro digital da marca MINIPA MT-914 com faixa de leitura entre -70°C a 1200°C, precisão de 0,1°C e com erro máximo em torno de 2,0 %.

A radiação solar global foi medida com um radiômetro construído no LMHES da UFRN. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ab apresenta o forno solar alternativo proposto em teste.

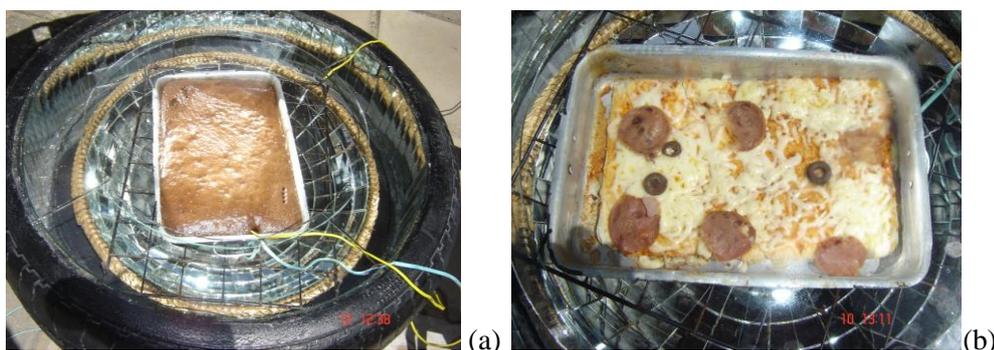


Figura 13 - Forno solar em teste de assamento e cozimento. Fonte: autor

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para avaliar o desempenho do protótipo solar recomendado mediram-se as temperaturas do ar interna do forno e do absorvedor durante ensaio a vazio e cozendo alimentos. O tempo de obtenção dos alimentos cozidos foi comparado aos preparados em fogão doméstico a gás GLP.

3.1 Ensaio a vazio

A Tabela 2 apresenta os resultados medidos da temperatura do absorvedor e do ar interno do fogão e hora de realização dos testes de aquisição das temperaturas médias obtidas pelo forno solar durante ensaio a vazio. O período de realização do teste foi de 9:00 às 14:00 horas, como é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados de temperatura no forno solar em ensaio a vazio.

Tempo (Hora)	Temp. Interna Forno Solar (°C)	Temp. Absorvedor (°C)	Diferença de Temperatura (°C)	Radiação Solar Global (w/m ²)	Radiação Solar Direta (W/m ²)
9 – 10	87,4	104,1	16,7	600	560
10 – 11	87,6	125,3	37,7	750	600
11 – 12	90,0	125,5	35,5	780	624
12 – 13	91,2	133,4	42,2	750	620
13 – 14	98,2	117,0	18,8	740	562
<i>Média</i>	<i>90,9</i>	<i>121,1</i>	<i>30,2</i>	<i>724,0</i>	<i>593</i>

A temperatura máxima alcançada pelo forno proposto no ensaio a vazio para temperatura do absorvedor foi de 133,4°C e 98,2°C para temperatura do ar interno do forno. Esses níveis estão muito abaixo quando comparados aos obtidos em um fogão convencional a gás (GLP), cuja temperatura interna mínima, por exemplo, pode chegar aos 280°C. Conclui-se que o nível de temperatura interna do protótipo solar alcançou 36% desta temperatura. Esses valores foram obtidos no período de maior incidência solar conforme apresentado na Tabela 2.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o comportamento apresentado pelas temperaturas medidas, onde se percebe mesmo que de maneira sutil a elevação contínua e gradual das temperaturas analisadas.

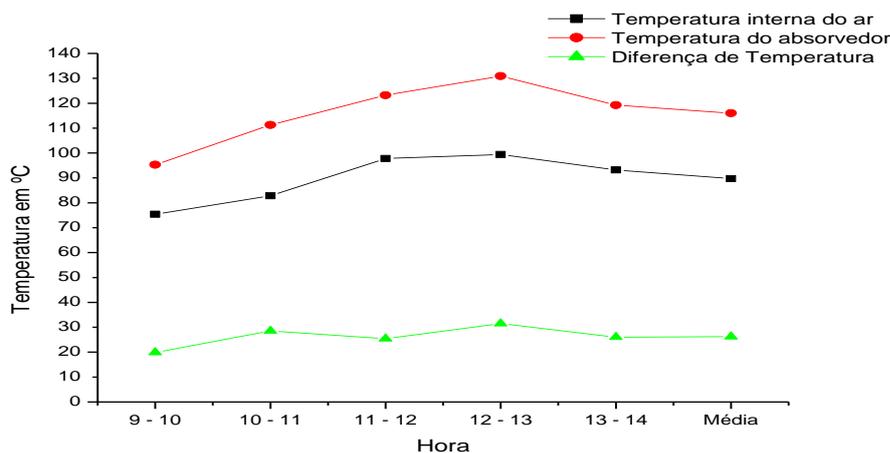


Figura 14 - Temperaturas do ar interno, absorvedor e a diferença entre as temperatura do ar interno e absorvedor.

A Figura 15 apresenta o comportamento da temperatura do absorvedor seguindo a tendência da radiação solar global, ficando evidente a forte influência desta variável sobre a temperatura do absorvedor e consequentemente no tempo de cozimento dos alimentos.

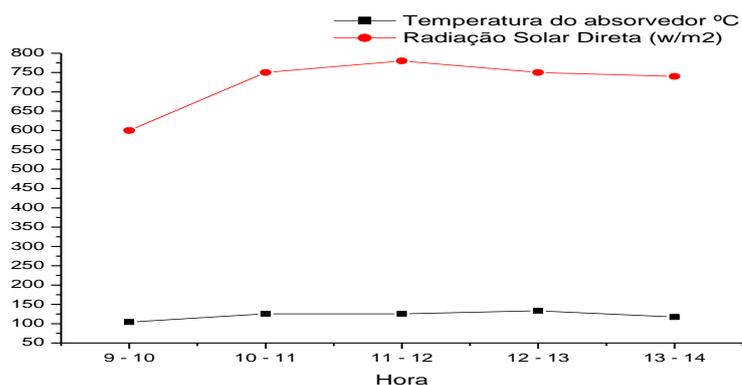


Figura 15 - Temperatura do absorvedor e radiação solar global

A Tabela 3 apresenta os resultados da temperatura do ar interna do forno solar, tempo de preparo e radiação global média durante o processo de cozimento dos alimentos.

Tabela 3 - Dados dos resultados da temperatura do ar interno do forno, tempo de preparo e radiação solar global durante ensaio das amostras analisadas.

Amostra	Tempo (hora)	Temperatura Média (°C)	Tempo de Preparo (Minutos)	Radiação solar global (W/m²)
<i>Bolo</i>	10:25 – 11:25	79,2	48	740
<i>Pizza</i>	11:35 – 11:55	69,4	20	745
<i>Bife</i>	11:55 – 12:20	90,2	25	760

Considerando-se que o tempo de preparo um bolo em forno convencional é em média 40 minutos, o fogão proposto mostrou-se eficiente pela obtenção de um tempo de 65 minutos, considerando-se que o forno/fogão solar foi confeccionado utilizando materiais de baixo custo e recicláveis. A Figura 16 apresenta o comportamento assumido pela temperatura interna do forno/fogão solar durante o preparo do bolo cujo ensaio iniciou-se às 11:25h. A Figura 13a mostra a operação de assamento do bolo no forno/fogão solar construído.

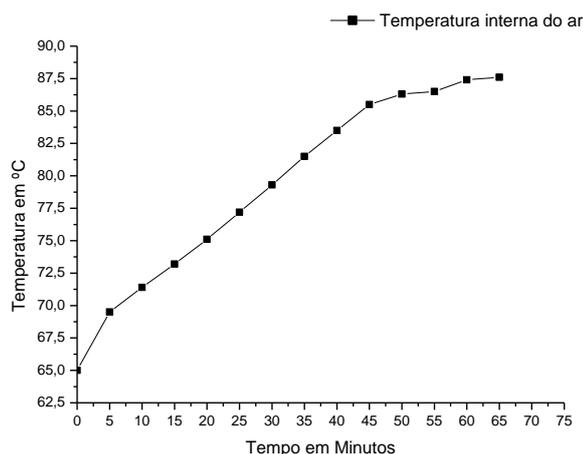


Figura 16 - Comportamento da temperatura interna do forno/fogão solar durante o processo de assamento do bolo.

O teste de assamento da pizza demonstrou a viabilidade térmica do forno solar proposto obtendo pizza assada em 20 minutos, o dobro do tempo obtido em forno convencional. Ressalte-se a relação custo-benefício apresentada pelo forno/fogão solar em estudo. A Figura 18 apresenta o comportamento assumido pela temperatura interna do forno/fogão durante o processo de preparo da pizza. A Figura 13b apresenta o forno durante o preparo da amostra de pizza.

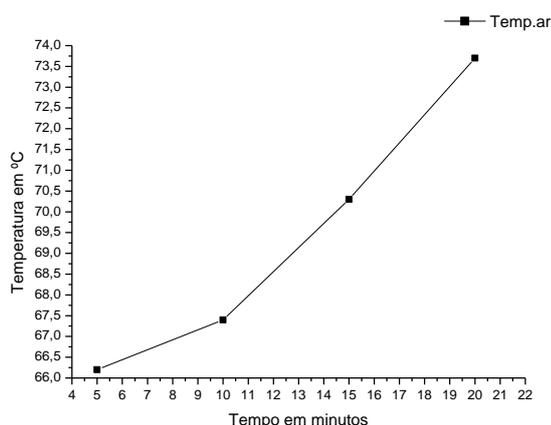


Figura 17 - Temperatura interna do forno durante preparo da pizza.

Os resultados obtidos com o forno/fogão solar para a operação de assar alimentos foram significativos, alcançando valores máximos em torno de 105,1°C para a temperatura do ar no interior do forno/fogão solar e em torno de 111,6°C para o absorvedor, no horário de

pico de incidência solar.

Esses níveis de temperatura são bem inferiores aos alcançados em um forno convencional a gás, que apresenta temperatura de ar interno na faixa de 180 °C a 280°C. Apesar de inferiores são viáveis para a obtenção do fim proposto, assar e cozer alimentos, principalmente pães, bolos e pizzas, como se demonstrará a seguir.



Figura 18 - Bifes em processo de assamento no forno/fogão solar estudado.

Apesar do efeito do embaçamento provocado pela evaporação da água durante o processo o assamento dos bifes se produziu em 25 minutos, tempo considerado bastante razoável, não sendo tão superior ao tempo obtido em um fogão convencional, em torno de 15 minutos, comprovando sua viabilidade para essa operação.

Porém, mais uma vez comprovou-se a viabilidade de utilização do forno/fogão solar construído para a operação de cozer alimentos. Essa constatação concebe ao protótipo estudado uma versatilidade científica aplicada, beneficiando os seus usuários, uma vez que o seu baixo custo concede-lhe uma boa relação custo x benefício, condição importante para um equipamento solar.

Para uma melhor eficiência térmica as variações de posição dos espelhos refletor para que a panela esteja sempre no foco do sistema, com área a de sombra no centro da parabolóide, deu-se geralmente a cada hora.

O custo estimado do forno/fogão solar construído está discriminado na Tabela 4.21. Ressalte-se que alguns materiais necessários a sua construção foram quase que totalmente obtidos em sucatas de laboratórios da UFRN.

Tabela 4 - Planilha de custo estimado para o forno solar construído.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO DO MATERIAL	VALOR (R\$)
1	Sucatas do pneu e cadeira	0,00
2	Compósito	5,00
3	Chapas	10,00
4	Espelhos refletores (0,5m ²)	30,00
5	Tubos PVC	5,00
6	Tinta esmalte sintético	5,00
7	Conexões PVC	5,00
8	Barras chatas e cantoneiras	10,00
9	Cola	10,00
TOTAL		80,00

4 Conclusões

A seguir, em consonância com essas metas, passa-se a discorrer sobre as conclusões de caráter geral que se depreende da análise dos dados colhidos nos ensaios realizados com o protótipo em estudo.

1. O fogão solar estudado apresentou-se viável para o fim proposto, produzindo o preparo de alimentos tendo custo zero;
2. O protótipo se apresentou como alternativa em substituição ao uso lenha para a preparação de alimentos assim minimizando o desmatamento;
3. O período de funcionamento do protótipo é das 8:00 às 15:00 horas considerando boas condições solarimétricas;
4. O forno constitui uma fonte alternativa para cozimento de alimentos sendo importante outra fonte convencional durante a noite e em dias de chuva ou nublado;
5. As variações de posição dos espelhos refletores para que a panela esteja sempre no foco do sistema, com área a de sombra no centro da parabolóide, deu-se geralmente a cada uma hora;

6. A função social e melhoria da saúde de famílias de baixa renda são as características mais importantes desse;
7. Para uma melhor avaliação dos resultados obtidos torna-se necessários repetidos testes, incluindo outros alimentos e compará-los com outros fornos solares existentes na literatura;
8. Os riscos oferecidos aos usuários durante o uso do protótipo é considerado de baixo;
9. A utilização do compósito como elemento isolante mostrou-se eficiente, pela obtenção de níveis de temperatura na superfície externa do forno próximos à temperatura ambiente.

5.2. Sugestões

10. Fabricar uma nova parábola com fibra de vidro que preencha a totalidade da parte inferior do forno, para aumentar a energia enviada à panela, aumentando, por conseguinte sua temperatura e diminuindo o tempo de assamento e cozimento dos alimentos;
11. A estrutura de sustentação dos espelhos refletores precisa ser otimizada, para permitir uma maior movimentação do mesmo para o seguimento do movimento aparente do sol;
12. Construir um novo conjunto de espelhos, com uma geometria que permita um melhor aproveitamento da radiação solar incidente e que a direcione com uma menor perda para o interior do forno.

4.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARORA, M.L., BARTH, E., UMPHRES, M.B. Technology evaluation of sequencing batch reactors. *Journal Water Pollution Control Federation*, v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.
2. DATAR, M.T., BHARGAVA, D.S. Effects of environmental factors on nitrification during aerobic digestion of activated sludge. *Journal of the Institution of Engineering (India), Part EN: Environmental Engineering Division*, v.68, n.2, p.29-35, Feb. 1988.
3. FADINI, P.S. Quantificação de carbono dissolvido em sistemas aquáticos, através da análise por injeção em fluxo. Campinas, 1995. Dissertação de mestrado-Faculdade de Engenharia Civil-Universidade Estadual de Campinas, 1995.