

FORNO SOLAR TIPO CAIXA FABRICADO A PARTIR DE PNEUS USADOS

Luiz Guilherme Meira de Sousa – lguilherme@dem.ufrn

Pedro Henrique de Almeida Varela – henriquepeu@yahoo.com.br

Tiago Soares da Silva – tiago_silva98@yahoo.com.br

Maria Kalionara de Freitas Mota – kalionarafreitas@yahoo.com.br

Luiz Guilherme Vieira Meira de Souza – lguilherme_souza@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. *Apresenta-se um forno solar alternativo, tipo caixa, de baixo custo para ser utilizado na operação de cocção, composto por três sucatas de pneu. Os pneus em desuso foram acoplados entre si, formando um recinto de assamento. No seu interior foi colocada uma parábola coberta por múltiplos espelhos confeccionada a partir de uma urupema e nas laterais internas chapas de alumínio pintadas de preto, obtidas de latas de cerveja. Os dois pneus foram unidos, ficando uma camada de ar entre eles, com a função de isolante térmico. O terceiro pneu teve a finalidade de suporte e de isolante isolar térmico do fundo do forno. Externamente foi colocada uma estrutura metálica com espelhos planos para refletir os raios incidentes para o interior do forno, possuindo uma mobilidade para a correção do movimento aparente do sol. O seu aspecto primordial é a viabilização de energia limpa e renovável para a sociedade, combatendo os danos ecológicos causados pela utilização em larga escala de lenha para a cocção de alimentos. Os ensaios mostram que o forno chegou à temperatura máxima de 123,8°C, assando vários alimentos como pizza, bolo, lasanha entre outros em um tempo médio de 50 minutos. Comprovou-se a viabilidade da utilização do forno proposto.*

Palavras-chave: *Forno Solar, pneus em desuso, assamento, reciclagem, baixo custo.*

1. INTRODUÇÃO

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 (Balanço Energético Nacional, 2012 – www.mme.gov.br). Cerca de 40% a lenha produzida no Brasil é transformada em carvão vegetal. O setor residencial é o que mais consome lenha (29%). Geralmente ela é destinada a cocção dos alimentos nas regiões rurais. Uma família de oito pessoas necessita de aproximadamente 2,0 m³ de lenha por mês para preparar suas refeições. O setor industrial vem em seguida com cerca de 23% do consumo. As principais indústrias consumidoras de lenha no país são alimentos e bebidas, cerâmicas e papel e celulose.

Esses dados que mostram a massiva utilização da lenha, colocando em risco a saúde do planeta, apontam para a necessidade de uma política de massificação do uso do fogão solar para cocção de alimentos, como forma de preservar a natureza e ainda para amenizar o desequilíbrio ecológico pelo uso indiscriminado da lenha, além de minimizar a emissão de gases poluentes para a atmosfera.

O uso da energia solar para fins de cozimento e assamento de alimentos é uma das aplicações mais antigas e difundidas dessa fonte energética, e tem como principal característica sua função social. É maravilhoso constatar que pessoas na África utilizam massivamente fogões e fornos solares, contribuindo para uma política de não utilização da lenha, que contribui decisivamente para o desequilíbrio ambiental de nosso planeta. 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/fornos solares na caatinga promete reverter ou ao menos amenizar essa situação possibilitando ao sertanejo uma melhor condição de vida.

Esse trabalho apresenta um modelo de um forno solar destinado a assar e cozer alimentos, construído a partir da utilização de três pneus usados. O forno proposto é um protótipo solar de média concentração destinado ao uso doméstico em zonas rurais e urbanas, no período de 9:00 às 14:00 horas, principalmente, para a operação de assar alimentos, tais como pães, bolos, pizzas entre outros.

A principal inovação do trabalho será a utilização de pneus usados que passam por um processo de viramento para propiciar um aumento do volume do forno, facilitar a operação de fixação de espelhos no seu interior e proporcionar um melhor isolamento térmico, no caso uma camada de ar confinado. O pneu também constitui-se em um material isolante o que melhora a eficiência térmica do forno solar proposto, uma vez que minimiza as perdas térmicas. Outra inovação será o projeto e a construção de um novo perfil de sistema refletor para direcionar os raios solares para o interior do forno. Tal sistema apresenta um perfil que se aproxima de uma parábola, aumentando a área de captação da radiação e de reflexão dos raios para o interior do forno.

2. ESTADO DA ARTE

A cocção solar de alimentos representa uma das principais linhas de pesquisa do LMHES (Laboratório de Maquinas Hidraulicas e Energia Solar) da UFRN, tendo sido objeto de inúmeros trabalhos científicos publicados em vários congressos nacionais e internacionais e de oito dissertações de Mestrado. A seguir, apresentam-se os estudos mais recentes dessa linha de pesquisa no LMHES.

Melo em 2008 apresentou Dissertação de Mestrado ao PPGEM (Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica)-UFRN sobre um forno solar fabricado a partir de um fogão convencional a gás. O forno do fogão convencional era o recinto de cozimento sendo recoberto por uma lâmina de vidro para a geração do efeito estufa e tendo seu fundo e laterais isolados por um compósito à base de gesso e isopor. Espelhos planos foram colocados nas laterais do forno para a concentração da radiação e uma parábola refletora foi introduzida no recinto de cozimento para o aproveitamento da radiação refletida incidente no interior do forno. A temperatura média do absorvedor ficou em torno de 150°C e a interna do forno em torno de 120°C.

Souza et al. em 2008 apresentaram no V CONEM (Congresso Nacional de Engenharia Mecânica) um modelo de fogão solar a concentração utilizado para aquecer um ferro elétrico para a operação de passar roupa, economizando-se energia elétrica. O ferro solar proposto apresentou-se viável para a finalidade de substituir o ferro elétrico na tarefa de passar roupas. Os resultados obtidos com o ferro solar são similares aos obtidos com o ferro convencional elétrico, atestando sua viabilidade.

Souza et al. em 2008 apresentaram no VI CONEM (Congresso Nacional de Engenharia Mecânica) um forno solar fabricado com blocos de material compósito. O forno proposto tinha como superfície interna no fundo uma parábola moldada por processo manual e revestida com espelhos de pequenas dimensões para um aumento da sua temperatura interna. Os blocos que constituíam o forno apresentavam baixa condutividade térmica, eram leves e apresentavam boa resistência mecânica. Acima do forno localizava-se uma parábola refletora para concentrar os raios incidentes, enviando-os ao interior do forno;

Gomes em 2009 defendeu Dissertação de Mestrado no PPGEM (Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica)-UFRN sobre um forno/fogão solar de baixo custo para operações de assar e cozinhar, construído a partir de uma sucata de pneu. Foram estudadas três configurações, com dois tipos de parábolas refletoras. A estrutura de sustentação do forno/fogão solar, com os movimentos necessários ao acompanhamento do movimento aparente do sol foi confeccionada utilizando uma sucata de cadeira giratória. Obteve-se uma temperatura máxima no absorvedor em torno de 160° e interna em torno de 120°C.

Souza et al. em 2009 apresentaram no 20th COBEM (Congresso Internacional de Engenharia Mecânica) um modelo de forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir da utilização de um material compósito, que apresenta em sua composição o EPS triturado. Foram assados vários alimentos, dentre eles, um bolo, demonstrando-se a eficiência do forno proposto.

Souza et al. em 2011 apresentaram no 21th COBEM (Congresso Internacional de Engenharia Mecânica) um modelo de forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir de uma sucata de tambor de polietileno. Por apresentar perfil cilindro-parabólico o foco da superfície refletora era linear, permitindo a utilização de até três painéis no seu interior. O forno proposto mostrou-se viável para a operação de assar alimentos, no período de 9:00 às 14:00 horas.

Souza et al. em 2011 apresentaram no 21th COBEM (Congresso Internacional de Engenharia Mecânica) um forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir de um a caixa térmica de EPS. A principal inovação do trabalho foi a utilização da caixa térmica de isopor, largamente disponível no mercado, de baixo custo e com uma estrutura já definida e construída, evitando-se a confecção de molde para a obtenção da caixa. Os tempos de assamento para pizza e lasanha mostraram-se competitivos com outros modelos já ensaiados e mostrados na literatura solar para cocção de alimentos.

Souza et al. em 2012 apresentaram no VII CONEM (Congresso Nacional de Engenharia Mecânica) um forno solar fabricado a partir de uma sucata de freezer destinado ao assamento de alimentos, tais como pizzas, bolos, pães, lasanhas e outros. Tal forno proporcionava o assamento de vários alimentos ao mesmo tempo. Foram demonstradas suas viabilidades térmica e econômica, pela obtenção de tempos de cocção competitivos com outros fornos já testados no mundo, das altas temperaturas do absorvedor e interna e de sua grande área de reflexão da radiação solar e consequente concentração.

Ferreira em 2012 apresentou estudo sobre um forno solar fabricado com blocos de material compósito, a partir de EPS em pó, gesso e cimento. Acima da caixa do forno estava localizada uma superfície refletora para concentrar os raios incidentes, enviando-os ao interior do forno. Foram realizados testes para assamento de pizzas, bolos, empanados e quibes, com boa eficiência. O bolo foi assado em apenas cinquenta minutos.

Souza em 2012 propôs um modelo de um forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir da utilização de uma caixa térmica de EPS (Poliestireno Expandido). A principal característica desse forno era o pequeno volume do recinto de assamento, propiciando a obtenção de elevadas temperaturas do absorvedor e interna, diminuindo o tempo de cocção dos alimentos. Devido a seu elevado comprimento permite ao assamento de dois alimentos ao mesmo tempo. O forno proposto mostrou-se eficiente para o assamento de todos os alimentos testados.

Pitta em 2012 defendeu um TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) sobre um modelo de forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir de sucatas de vidros utilizados em janelas. Utilizou-se raspa de pneu como isolante entre os elementos estruturais das paredes do forno. As temperaturas máximas do teste sem carga foram 141 na superfície absorvedora e 94 no ar interno do forno. Um dos testes de assamento foi o medalhão de merlúzia, 400 g, obtido em 45 minutos.

Gurgel em 2013 apresentou trabalho sobre um forno solar para assar alimentos, fabricado a partir de uma caixa térmica de EPS (Poliestireno Expandido). O interior do forno foi revestido por espelhos que formam um perfil que apresenta uma maior concentração da radiação solar. Acima do forno ficava um sistema de refletor de espelho plano, que se movia de acordo com a o movimento do sol, dirigindo os raios solares para o recinto de assamento. Esse modelo

de fogão foi o que apresentou a maior eficiência entre os fornos já testados, com tempos de assamento menores que muitos apresentados pela literatura solar para a cocção de alieimntos. Um bolo de 800g foi assado em apenas 45 minutos.

Batista em 2013 apesentou dissertação de Mestrado no PPGEM (Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica) – UFRN sobre um modelo de um forno solar destinado a assar alimentos, construído a partir de um tambor de polietileno. O tambor foi cortado ao meio e as metades foram encaixadas e a interna revestida com uma chapa metálica, que constituiu-se no absorvedor do forno. O forno apresentava significativos área e volume, propiciando o assamento de dois alimentos simultâneos. Uma lâmina de espelho colocada numa estrutura metálica acima do forno direcionava e concentrava os raios solares no interior do recinto de assamento. Foram realizados testes para assamento de pizzas, bolos, pães de queijo, empanados, cujos resultados demonstraram a eficiência do forno proposto para o fim desejado.

A Fig. 1 mostra os vários tipos de fornos solares já fabricados e testados no LMHES/UFRN.



Figura 1. Fornos solares fabricados e testados no LMHES/UFRN.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A principal inovação do trabalho foi a utilização de pneus usados que passaram por um processo de viramento para propiciar um aumento do volume do forno, facilitar a operação das latas de alumínio no seu interior e proporcionar um melhor isolamento térmico, no caso uma camada de ar confinado entre eles. O pneu também se constitui em um material isolante o que melhora a eficiência térmica do forno solar proposto, uma vez que minimiza as perdas térmicas. O forno solar proposto foi construído a partir de três sucatas de pneus. Suas dimensões externas e internas são apresentadas a seguir.

- Internas: D = 57 cm; H = 18 cm; $V_{int} = 45,3$ litros

- externas: D = 75 cm; H = 47 cm; $A_{int} = 0,44m^2$; $V_{ext} = 0,132m^3$ (132 litros).

3.1 Processos de fabricação e montagem do forno

Para a transformação das sucatas de pneus em forno solar, obedeceu-se ao processo de fabricação, descrito a seguir:

- Todo o interior do forno solar foi pintado com tinta preta para uma melhor absorção da radiação solar incidente;
- Toda superfície interna foi recoberta por lâminas de alumínio (latas), e no fundo foi colocada uma parábola refletora, recoberta de espelhos de pequenas dimensões, fabricada a partir de uma urupema (peneira indígena para milho) de 55 cm de diâmetro, com área de $0,3m^2$, para concentrar a radiação solar que chega ao fundo do forno;
- Foi utilizada uma placa em perfil parabólico recoberta de espelhos com área de $0,4 m^2$, em uma estrutura acima do forno para refletir os raios incidentes em seu interior. A estrutura desses segmentos de espelhos é móvel para acompanhamento do movimento aparente do sol.

O processo de montagem do forno solar proposto foi composto das seguintes etapas:

- Viramento dos pneus para proporcionar um aumento do diâmetro interno; Acoplamento entre os pneus formando assim a estrutura do forno proposto; Corte dos espelhos utilizando um diamante profissional; Fabricação da parábola refletora usando a peneira (urupema); Recobrimento da urupema com espelhos obedecendo ao perfil da parábola; Corte do vidro para a tampa do forno; Confecção da estrutura da

superfície refletora externa; Confeção da estrutura de fixação da superfície refletora externa ao forno solar, com regulagem; Pintura e vedação do forno solar proposto.

A Fig. 2 mostra algumas etapas do processo de montagem do forno solar tipo caixa fabricado a partir de sucatas de pneus.



Figura 2. Etapas do processo de montagem do forno solar tipo caixa fabricado.

3.2 Procedimento experimental

Foram levantados dados da temperatura da panela absorvedora e do interior do forno para sete dias de ensaios. As temperaturas foram tomadas de 5 em 5 minutos, no período entre 9:00 e 14:00hs.

Foram assados pizza, pão de queijo, nugget, bolo, quibe, frango empanado e lasanha, medindo-se o tempo de assamento dos mesmos e os níveis de temperatura no interior do forno solar. 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 através de uma estação solarimétrica instalada no LMHES da UFRN.

3.3 Balanço térmico do forno solar

A Fig. 3 mostra um diagrama esquemático das energias envolvidas no balanço térmico do forno solar proposto.

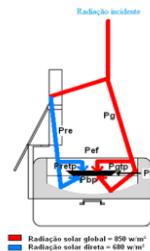


Figura 3. Diagrama esquemático das energias que compõem o balanço térmico do forno solar.

As radiações solares incidentes sobre a tampa superior e sobre os espelhos externos entram no forno solar de duas formas: como radiação solar global incidente sobre a tampa de vidro e radiação solar direta refletida pelos espelhos externos. Tanto a radiação solar global quanto a radiação solar direta refletida pelos espelhos externos incidem sobre a parte superior da panela e a área útil da parábola. As equações do balanço energético são apresentadas a seguir.

a) A Energia que entra no forno solar (P_{ef})

A energia que entra no forno solar provém de duas fontes: da radiação solar global incidente na cobertura do forno/fogão solar e da radiação solar direta refletida nos espelhos externos situados no topo do forno solar. A Eq. (1) mostra a energia total que entra no forno solar.

$$E_{ef} = E_g + E_{re} \quad (1)$$

E_{ef} = Potência que entra no forno solar (W); E_g = Potência proveniente da radiação solar global que incide diretamente no forno solar (W); E_{re} = Potência da reflexão dos espelhos da parte superior do forno solar (W).

Para o cálculo das energias de entrada no forno solar utilizaram-se as Eq. (2) e (3).

$$E_g = I_g \cdot \tau_v \cdot A_v \quad (2)$$

$$E_{re} = I_d \cdot (A_{ue} / A_v) \cdot \rho_e \cdot \tau_v \cdot A_v \quad (3)$$

I_g = Radiação instantânea global que entra no forno solar = 850 W/m²; I_d = Radiação instantânea direta que entra no forno solar = 680 W/m²; ρ_e = Refletividade do espelho = 0,95; τ_v = Transmissividade do vidro = 0,85; A_v = Área do vidro = 0,255m²; A_{ue} = Área útil dos espelhos = 0,63 m².

b) A Energia que chega a tampa da panela (E_{tp})

$$E_{tp} = E_{gtp} + E_{retp} \quad (4)$$

$$E_{gtp} = E_g \cdot (A_{tp} / A_v) \quad (5)$$

$$E_{retp} = E_{re} \cdot (A_{tp} / A_v) \quad (6)$$

E_{tp} = energia que chega à tampa da panela (W); E_{gtp} = energia solar global que incide diretamente na tampa da panela (W); E_{retp} = energia refletida pelos espelhos externos que incide na tampa da panela (W); E_g = energia da radiação global que incide diretamente no forno (W); E_{re} = Energia da reflexão dos espelhos da parte superior do forno (W); A_{tp} = Área da tampa da panela = 0,0060 m²; A_v = Área do vidro = 0,221 m².

c) A Energia que chega à parábola (E_{cpr})

$$E_{cpr} = E_{gpr} + E_{repr} \quad (7)$$

$$E_{gpr} = E_g \cdot (A_{up} / A_{bf}) \quad (8)$$

$$E_{repr} = E_{re} \cdot (A_{up} / A_{bf}) \quad (9)$$

A_{up} = Área útil da parábola = 0,3m²; A_{bf} = Área da base do forno = 0,3m²; E_{cpr} = Energia solar que chega à parábola (W); E_{gpr} = Energia solar global que incide na parábola (W); E_{repr} = Energia solar refletida que incide na parábola (W); E_g = Potência da radiação solar global que incide no forno (W); E_{re} = Energia da reflexão dos espelhos da parte superior do forno (W).

d) A energia que chega à base da panela (E_{bp})

O fator 0,8 corresponde à fração da energia solar global que sai da parábola em direção ao fundo da panela, uma vez que a energia difusa situa-se em torno de 20% da energia solar global para dias de baixíssima nebulosidade.

$$E_{bp} = 0,8 \cdot E_{cpr} \cdot \rho_e \quad (10)$$

E_{bp} = Energia total na base da panela (W); E_{gpr} = Energia solar global que incide na parábola (W); E_{repr} = Energia solar refletida líquida incidente na parábola (W); ρ_e = Refletividade dos espelhos da parábola (W).

e) A energia total que chega à panela (E_{cp})

$$E_{cp} = E_{tp} + E_{bp} \quad (11)$$

E_{cp} = Energia total que chega a panela (W); E_{tp} = Energia que chega à tampa da panela (W); E_{bp} = Energia total na base da panela (W).

f) A Energia absorvida pela panela (E_{abs})

$$E_{abs} = E_{cp} \cdot \alpha_{pn} \quad (12)$$

E_{abs} = Energia absorvida pela panela (W); E_{cp} = Energia total que chega a panela (W); α_p = Absortividade da panela (0,85).

g) A Energia perdida pelo forno solar (E_{pf})

$$E_{pf} = E_{ef} - E_{abs} \quad (13)$$

E_{pf} = Energia perdida pelo forno solar (W); E_{ef} = Energia que entra no forno solar (W); E_{abs} = Energia absorvida pela panela (W).

h) O rendimento interno do forno solar (η_{if})

O rendimento interno do forno solar será calculado pela razão entre a energia absorvida pela panela e a energia total que entra no forno solar.

$$\eta_{if} = (E_{abs} / E_{ef}) \cdot 100 \quad (14)$$

η_{if} = Rendimento interno do forno solar; E_{ef} = Energia que entra no forno solar (W); E_{abs} = Energia absorvida pela panela (W).

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tab. 1 apresenta as contribuições energéticas envolvidas no balanço de energia do forno solar estudado.

Tabela1. Energias envolvidas no balanço energético do forno solar estudado.

ENERGIA	Watts	ENERGIA (W)
Energia que entra no forno (E_{ef})	530,16	100%
Energia que chega na tampa da panela (E_{tp})	124,74 W	23,5%
Energia que chega à parábola (E_{cpr})	405,42 W	76,5%
Energia que chega a base da panela (E_{bp})	308,12 W	58,1%
Energia total que chega à panela (E_{cp})	432,86 W	81,6%
Energia absorvida pela panela (E_{abs})	367,93 W	69,4%
Energia perdida pelo forno solar (E_{pf})	162,23 W	30,6%
Rendimento interno do forno solar (η_{if})		69,4%

A eficiência do forno solar estudado ficou em torno de 70, uma vez que a energia perdida correspondeu a menos de 30% da energia que entra no recinto de assamento. Essa eficiência demonstra a viabilidade térmica do forno solar estudado, que se traduziu pela boa eficiência do isolamento térmico utilizado.

4.1. Resultados dos ensaios de assamento com o forno solar

Os gráficos da Fig. 4 mostram o comportamento das temperaturas interna e do absorvedor e das radiações solares direta e global para o ensaio sem carga.

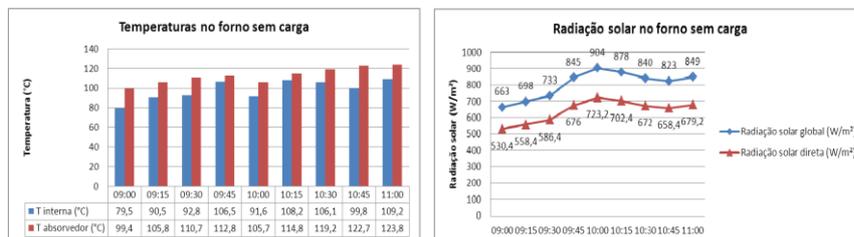


Figura 4. Parâmetros medidos no ensaio sem carga.

Verificou-se que os maiores valores de temperatura interna e do absorvedor alcançados durante o ensaio sem carga foram 109,2 e 123,8 °C. Esses níveis estão muito abaixo dos relativos aos obtidos com um forno convencional a gás, cuja temperatura interna mínima, por exemplo, chega a alcançar 280°C, porém, compatível com outros fornos solares estudados e contruídos na UFRN. Os valores médios obtidos foram 98,2°C para a temperatura interna do forno, 112,7°C no absorvedor, 803W/m² de radiação solar global e 642,4 W/m² para a radiação solar direta. Os índices de radiação espelham um dia com boas condições solarimétricas.

Os gráficos da Fig. 5 mostram o comportamento das temperaturas interna e do absorvedor e das radiações solares direta e global para o assamento de uma pizza de 460g.

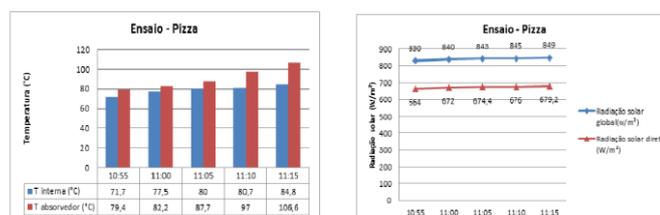


Figura 5. Parâmetros medidos no ensaio para assamento de pizza.

As radiações solares global e direta médias foram de 841,4 W/m² e 673,1 W/m², respectivamente. A pizza levou cerca de 20 minutos para ficar pronta para consumo. O tempo de assamento foi competitivo em relação a outros fornos que segundo a literatura solar situa-se entre 15 e 30 minutos. Para um forno convencional a gás o tempo de assamento situa-se entre 10 e quinze minutos. A Fig. 6 mostra a pizza em assamento e pronta.



Figura 6. Pizza em assamento no forno solar e pronta para consumo.

Os gráficos da Figura 7 mostram o comportamento das temperaturas interna e do absorvedor e das radiações solares direta e global para o assamento de 400g de pão de queijo.

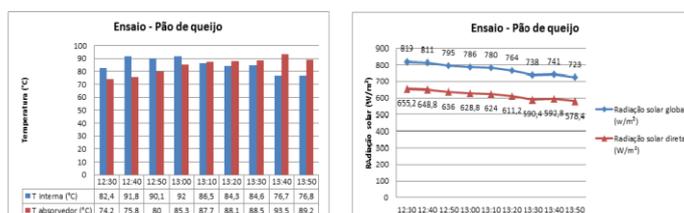


Figura 7. Parâmetros medidos no ensaio para assamento de pão de queijo.

As radiações global e direta médias foram de 773 W/m² e 618,4 W/m², respectivamente. Os pães de queijo levaram cerca de 80 minutos para ficarem prontos para consumo. O tempo de assamento foi competitivo em relação a outros fornos e segundo a literatura solar para assamento de alimentos situa-se entre 60 e 80 minutos. Para um forno convencional a gás o tempo de assamento situa-se entre 30 e 40 minutos. A Fig. 8 mostra a os pães de queijo em assamento e prontos.



Figura 8. Pães de queijo em assamento no forno solar e prontos para consumo.

Os gráficos da Fig. 9 mostram o comportamento das temperaturas interna e do absorvedor e das radiações solares direta e global para o assamento de 300g de Nuggets de frango.

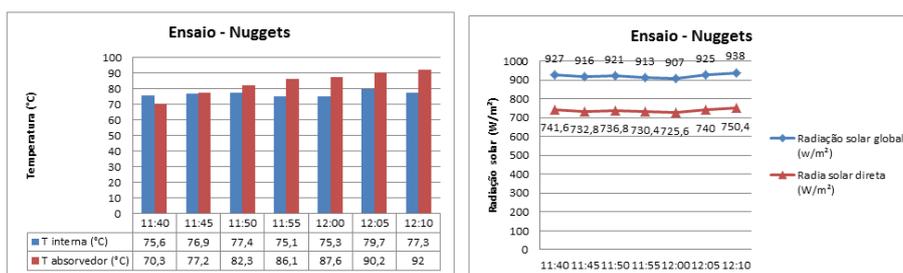


Figura 9. Parâmetros medidos no ensaio para assamento de Nuggets de frango.

As radiações global e direta médias foram de 921 W/m² e 736,8 W/m², respectivamente. Esses dados refletem excelentes condições solarimétricas, ideais para testes com o forno. Os nuggets levaram cerca de 30 minutos para ficar prontos para consumo. Para um forno convencional a gás o tempo de assamento situa-se entre 10 e 20 minutos. A Fig. 10 mostra a os nuggets em assamento e prontos para consumo.



Figura 10. Nuggets em assamento no forno solar e prontos para consumo.

Os gráficos da Fig. 11 mostram o comportamento das temperaturas interna e do absorvedor e das radiações direta e global para o assamento de um bolo de 700g (400 g de massa pronta de chocolate + 3 ovos + 150 ml de leite + 3 colheres de sopa de margarina).

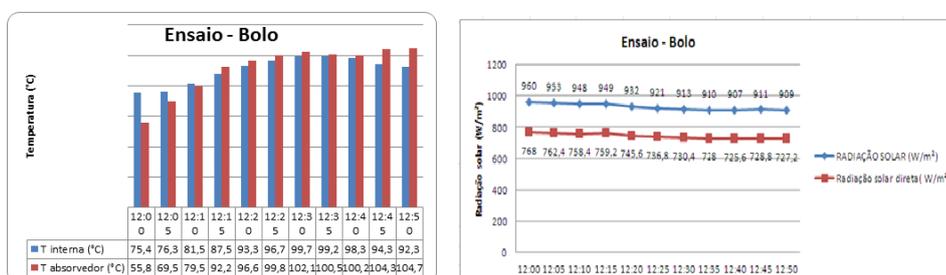


Figura 11. Parâmetros medidos no ensaio para assamento de um bolo.

As radiações global e direta médias foram de 928 W/m² e 742,4 W/m², respectivamente. Esses dados refletem excelentes condições solarimétricas, ideais para testes com o forno. O bolo levou cerca de 50 minutos para ficar pronto para consumo. Esse tempo de assamento foi inferior aos tempos apontados pela literatura solar na faixa de 60 a 80 minutos. E competitivo com o fogão convencional a gás com tempo de assamento para esse alimento e de 45 minutos. Foram feitos três bolos durante os testes com o forno solar, com o mesmo tempo. A Fig. 12 mostra o bolo em assamento e pronto para consumo.



Figura 12. Bolo em assamento no forno solar e pronto para consumo.

Os gráficos da Fig. 13 mostram o comportamento das temperaturas interna e do absorvedor e das radiações solares direta e global para o assamento de um bolo de 500g de quibes.

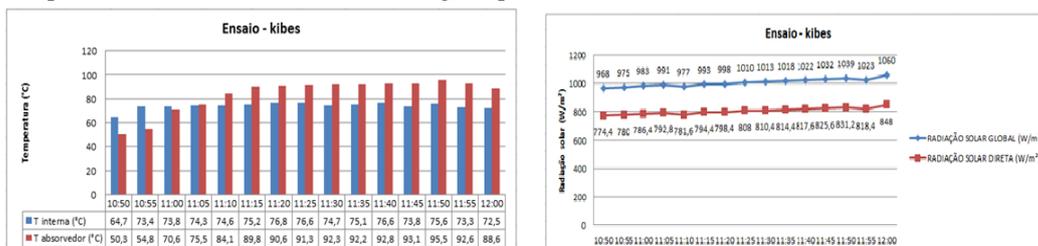


Figura13. Parâmetros medidos no ensaio para assamento de kibes.

As radiações global e direta médias foram de 1006 W/m² e 804,8 W/m², respectivamente. Esses dados refletem excelentes condições solarimétricas, ideais para testes com o forno. Foi o teste com maior disponibilidade de energia solar de todos os realizados. Os quibes levaram cerca de 1 hora para ficarem prontos para consumo. Para um forno convencional a gás o tempo de assamento situa-se entre 30 e 40 minutos. A Fig. 14 mostra os quibes em assamento e prontos para consumo.



Figura 14. Quibes em assamento no forno solar e pronto para consumo.

Os gráficos da Fig. 15 mostram o comportamento das temperaturas interna e do absorvedor e das radiações solares direta e global para o assamento de 500g de steaks de frango.

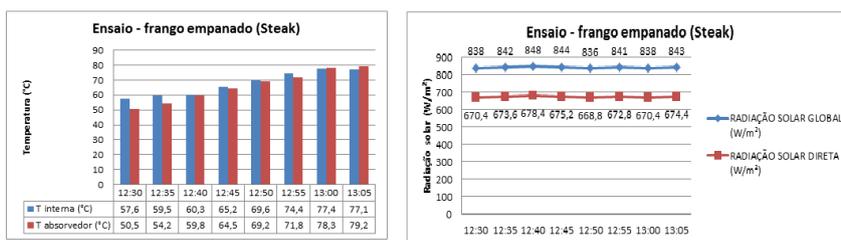


Figura 15. Parâmetros medidos no ensaio para assamento de steaks de frango

As radiações global e direta médias foram de **841 W/m²** e **672,8 W/m²**, respectivamente. Esses dados refletem boas condições solarimétricas, propícias para uso de fornos solares. Os frangos empanados (Steaks) levaram cerca de 35min para ficarem prontos para consumo. Para um forno convencional a gás o tempo de assamento situa-se entre 20 e 25 minutos. A Fig. 16 mostra os steaks em assamento e prontos para consumo.



Figura 16. Steaks em assamento no forno solar e pronto para consumo.

Os gráficos da Fig. 17 mostram o comportamento das temperaturas interna e do absorvedor e das radiações solares direta e global para o assamento de uma lasanha de 650g.

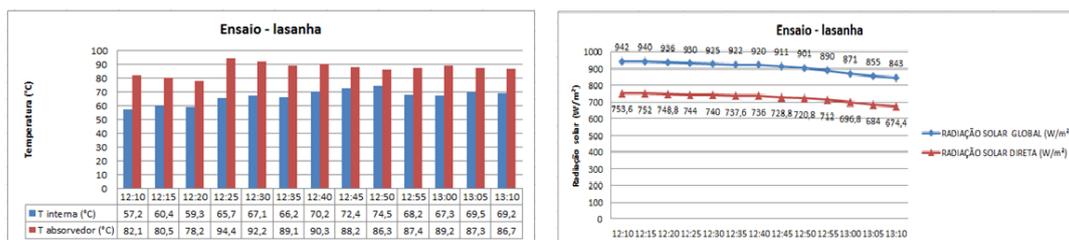


Figura 17. Parâmetros medidos no ensaio para assamento da lasanha

As radiações global e direta médias foram de 907 W/m² e 725,6 W/m², respectivamente. Esses dados refletem excelentes condições solarimétricas, ideais para testes com o forno. A lasanha levou cerca de 1h para ficar pronta para consumo. A literatura solar aponta um intervalo de tempo entre 60 a 80 minutos. Para um forno convencional a gás o tempo de assamento situa-se entre 40 minutos, a 200°C. A Fig. 18 mostra a lasanha em assamento e pronta para consumo.



Figura 18. Lasanha em assamento no forno solar e pronta para consumo.

A Tab. 2 apresenta os parâmetros médios de assamento para todos os alimentos testados.

Tabela 2. Parâmetros médios medidos nos testes para assamento dos alimentos escolhidos.

Alimento	Massa (g)	Cocção forno a gás (min)	Cocção fornos UFRN (min)	Cocção forno pneu (min)	T _{IN} (°C)	T _{AB} (°C)	I _G (W/m ²)	I _D (W/m ²)
PIZZA	460	15	25	20	78,9	90,6	841,4	673,12
PÃO DE QUEIJO	400	35	70	80	85	84,7	773	618,4
NUGGETS	300	20	30	30	76,7	83,7	921	736,8
BOLO	700	40	60	50	90,4	91,4	928	742,4
KIBES	500	40	65	60	74	83,6	1006	804,8
STEAKS	500	25	35	35	67,6	65,9	841	672,8
LASANHA	650	45	70	60	66,7	87	907	725,6

Os tempos de assamento para todos os alimentos testados no forno solar proposto mostraram-se competitivos com outros fornos solares já fabricados e testados no LMHES/UFRN e com outros fornos mostrados pela literatura solar.

Os tempos de assamento são superiores aos obtidos com o forno convencional a gás. Porém, ressalte-se as contribuições social e ambiental que a utilização de fornos solares trazem, principalmente para uma política de substituição de combustíveis convencionais sujos e para e minimizar os problemas decorrentes da utilização da lenha. Enfatize-se, ainda, que a tecnologia de fabricação e uso de fornos solares pode ser facilmente repassada para comunidades pobres que a pode utilizar para gerarem emprego e renda.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

1. O forno 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;
2. O forno solar estudado apresenta fáceis processos de fabricação e montagem, podendo sua tecnologia de fabricação ser repassada para comunidades carentes;
3. Todos os tempos de assamento do forno solar testado foram superiores aos obtidos com um forno convencional a gás;
4. O forno solar testado tem capacidade de cozimento no período de 9 às 11 horas, dentro de boas condições solarimétricas;
5. O fogão solar proposto apresenta boa relação custo x benefício pelo seu baixo custo de fabricação;
6. Os tempos de cozimento dos alimentos ensaiados são comparáveis com os apresentados na literatura solar para assamento de alimentos;
7. É importante que se tenha outra fonte convencional para o cozimento de alimentos para substituir o forno solar em dias com condições solarimétricas insuficientes para seu uso;
8. É imprescindível que o forno seja testado para todas as estações climáticas do ano, para uma melhor avaliação da capacidade de assamento do forno.

REFERÊNCIAS

- Duffie, J.A, BECKMAN, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, II edition, New York, John & Sons, 757 p, 1991.
- Filho, J.R.S., Projeto, construção e levantamento de desempenho de um concentrador solar cilindro parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN – Natal/RN, 2008.
- 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, RN, 2010.
- Melo, A. V. Desempenho de um Fogão Solar Tipo Caixa Construído a Partir de uma Sucata de um Fogão Convencional à Gás. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2008.
- Neto, M. C. M. Fogão solar à Concentração com Parábola Refletora Construída em Material Compósito. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2010.
- Queiroz, W. F. Construção de um Fogão Solar à Concentração Para Cozimento Direto e Indireto, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2005.

SOLAR OVEN TYPE BOX MADE FROM USED TIRES

Abstract. *It presents an alternative solar oven , box type , low cost for use in the operation of cooking , composed of three scrap tire. The disused tires were coupled together to form an enclosure for baking. Inside was an indoor parable by multiple mirrors made from a urupema and lateral internal aluminum sheets painted black , obtained from beer cans. Both tires were attached, leaving an air layer between them, with the function of thermal insulation. The third tire aimed to support and insulate heat insulator of the furnace . Externally was placed a metal frame with flat mirrors to reflect the incident rays into the oven, having a mobility for the correction of the apparent movement of the sun . Its primary feature is the viability of clean and renewable energy for society, battling ecological damage caused by the large-scale use of firewood for cooking. The tests show that the oven reached the maximum temperature of 123.8 ° C, baking various foods like pizza, cake, lasagne and others in an average time of 50 minutes. Proved the feasibility of using the proposed oven.*

Key words: Solar oven, disused tires, baking, recycling, low cost .