



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE UM FORNO SOLAR DO TIPO CAIXA
FABRICADO COM MATERIAIS ALTERNATIVOS

UYATAN RODRIGO DE LUCENA FREITAS SOUZA
NATAL- RN, 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE UM FORNO SOLAR DO TIPO CAIXA FABRICADO COM MATERIAIS ALTERNATIVOS

UYATAN RODRIGO DE LUCENA FREITAS SOUZA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico, orientado pelo Prof. Dr. Avelino Manuel Da Silva Dias.

NATAL - RN

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE UM FORNO SOLAR DO TIPO CAIXA FABRICADO COM MATERIAIS ALTERNATIVOS

UYATAN RODRIGO DE LUCENA FREITAS SOUZA

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Avelino Manuel da Silva Dias _____

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Orientador

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza _____

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador Interno

Me. Mário Cesar Oliveira Spinelli _____

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Avaliador Externo

NATAL, dezembro de 2018.

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente a Deus. A minha mãe Rosangela Freitas e a minha avó Marli de Freitas. A minha noiva Solange França. E aos meus amigos Lucas Teixeira, Mateus Chianca, Victor Matheus, Edykellton, Rodrigo Rodrigues, Pedro Justo, Jamisson que infelizmente acabou indo para outra engenharia. Aos Professores Drs. Avelino Dias e Luiz Guilherme.

Souza, U.R.L.F. **Estudo de um forno do tipo caixa fabricado com materiais alternativos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2018.

Resumo

O presente trabalho vem propor a construção de um forno do tipo caixa de baixo custo a partir de materiais alternativos. Sua viabilidade, durabilidade, manutenção, custo final e facilidade no transporte foram avaliadas quando comparados com um forno convencional (aquele que utiliza o GLP, gás de cozinha). Evitando assim a queima excessiva de combustíveis que causam o aumento do efeito estufa (lenha ou gás de cozinha). Alguns desses combustíveis costumam ser inacessíveis para algumas famílias de baixa renda. O objetivo do presente projeto visa atender em comunidades carentes, sendo esse forno uma solução ecologicamente correta e economicamente viável, podendo, inclusive, se tornar forma de geração de renda para essas comunidades carentes. No presente trabalho, apresentam-se os processos de fabricação e montagem do forno, eficiência térmica e mostrando sua facilidade de fabricação e sua fácil manuseabilidade. Os resultados obtidos no tempo de preparo em relação ao forno convencional, com e sem carga, foram comparados. Estes resultados mostraram uma ótima eficiência tanto no preparo de alimentos quanto no tempo do preparo, garantindo sua viabilidade técnica.

Palavras-chave: Energia Renováveis, Forno solar, Baixo custo

Souza, U.R.L.F. **Study of a box type oven made of alternative materials.** 2018. Conclusion workproject (Graduate in Mechanical Engineering) - Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2018.

Abstract

The present work proposes the construction of a low cost box type oven from alternative materials. Its viability, durability, maintenance, final cost and ease of transportation were evaluated when compared to a conventional oven (that uses Liquefied Petroleum Gas - LPG). This prevents excessive burning of fuels that cause an increase in the greenhouse effect (firewood or LPG). Some of these fuels are often inaccessible to some low-income families. This project aims to serve the needy communities, which is a process of ecologically correct and economically viable solution, and may even become a way of generating income for these poor communities. In the present work, the processes of manufacture and assembly of the furnace, thermal efficiency and showing its ease of manufacture and its easy handling are presented. The results obtained in the preparation time in relation to the conventional oven, with and without load, were compared. These results showed a great efficiency both in the preparation of food and in the preparation time, guaranteeing its technical viability.

Keywords: Renewable Energy, Solar oven, Low Cost.

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Materiais e Ferramental.....	19
Tabela 2 – Temperaturas das superfícies do forno	29
Tabela 3 – Dados coletados sem carga	31
Tabela 4 – Dados coletados com carga	33
Tabela 5 – Custo dos materiais (Reais)	35

Lista de Figuras

Figura 1 – Matriz Energética Mundial.....	4
Figura 2 - Matriz Energética do Brasil.	5
Figura 3 – Comparação da Matriz Energética Mundial e Brasil.	6
Figura 4 – Espectro da radiação solar com detalhamento da faixa visível humano. ...	6
Figura 5 – Topografia do território brasileiro.....	9
Figura 6 – Classificação climática para o Brasil	10
Figura 7 – Total diário da irradiação global horizontal	11
Figura 8 – Índices de acordo com as regiões brasileira.....	11
Figura 9 – Forno Solar tipo Caixa.....	13
Figura 10 – Forno Solar tipo Caixa.....	14
Figura 11 – Forno Solar tipo Parabólico	14
Figura 12 – Forno Solar tipo Parabólico	15
Figura 13 – Forno Cookit	15
Figura 14 – Forno Fun Panel	16
Figura 15 – Forno Sunny	16
Figura 16 – Forno Shade	16
Figura 17 – Gavetas fixadas	18
Figura 18 – Chapas de metal retiradas de um gabinete	19
Figura 20 – Lixação da parte interna da gaveta	20
Figura 21 – Pintura do Forno	21
Figura 22 – Isolante térmico.....	21
Figura 23 – Forno pronto.....	22

Figura 24 – Termopares e Termômetro.....	23
Figura 25 –Termômetro digital.	23
Figura 26 – Ensaio do forno.	24
Figura 28 – Cozimento dos alimentos.....	25
Figura 29 - Faces do forno	27
Figura 30 – Temperaturas x Tempo	32
Figura 31 – Diferença Entre forno solar e convencional em relação ao tempo.	33
Figura 32 – Pizza após ensaio	34
Figura 33 – Nuggets após ensaio.....	34

Lista de abreviaturas e siglas

TEP	A tonelada equivalente de petróleo (tep) é a unidade comum, adotada internacionalmente para somar os quantitativos de diferentes fontes de energia. A razão entre o poder calorífico inferior (PCI) de cada forma de energia e o PCI do petróleo, de 10.000 kcal/kg, determina o fator de conversão de unidades comerciais (m ³ , t, GWh etc.) para TEP.
MT	Mega Toneladas.
TCO₂	Tonelada de dióxido de carbono;
Óleo	Petróleo e seus derivados.
Carvão	Carvão mineral bruto, de diferentes tipos, e seus derivados.
Gás	Gás Natural.
Renováveis	Fontes de Energias Renováveis.
GEE	Gases de Efeito Estufa
LMHES	Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar

Sumário

Dedicatória	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Figuras	v
Lista de abreviaturas e siglas	vii
Sumário	viii
1 Introdução	1
1.1 Apresentação do Trabalho	1
1.2 Objetivo Geral	3
1.3 Objetivos Específicos	3
2 Revisão Bibliográfica	4
2.1 Energias Renováveis e Matriz Energética	4
2.2 Energia Solar	5
2.3 Potencial Solar Brasileiro	8
2.4 Fornos Solares.....	12
2.4.1 História	12
2.4.2 Forno solar do tipo caixa	13
2.4.3 Forno solar do tipo Parabólico ou concentrador.....	14
2.4.4 Forno do tipo painel	15
3 Matérias e Métodos	18
3.1 Processo de Fabricação e Montagem	18
3.2 Procedimento Experimental	22
3.3 Balanço de Energia.....	25
3.3.1 Energia que entra no forno	25
3.3.2 Energia perdida pelo forno.....	26
3.3.3 Energia Absorvida Pelo Forno	30

3.3.4 Rendimento Interno Do Forno	30
4 Resultados e Discussões	31
5 Conclusões.....	37
6 Referências	38

1 Introdução

1.1 Apresentação do Trabalho

O forno a lenha no preparar alimentos ainda é bastante utilizado principalmente em locais onde a população dificilmente tem acesso ao gás liquefeito de petróleo (GLP), popularmente conhecido como gás de cozinha. Além disso, o alto preço do gás de cozinha muitas vezes torna seu uso inacessível para algumas famílias de classe econômica baixa que acabam optando pelo uso da lenha. Por isso, a madeira, na sua forma direta como lenha ou do seu derivado, o carvão vegetal, tem sido um combustível vital para o cozimento de alimento para um enorme número de famílias e comunidades em diversas regiões do planeta. Estima-se que, a cada seis pessoas, duas utilizam a madeira como a principal fonte de energia, particularmente em países subdesenvolvidos, sustentando processos de secagens, cozimentos, fermentações, produções de eletricidade etc. (FAO, 2003). Porém o poder calorífico de um botijão de 13Kg de GLP corresponde à queima de dez árvores. Ou seja, a energia fornecida pela queima da lenha, em torno de 2.900kcal/kg, é inferior ao gás GLP com seus 11.500kcal/kg. Isso significa que o consumo de GLP evitaria a queima de milhões de árvores no Brasil, apesar de já serem consumidos cerca de 340 milhões de botijões por ano. (SINDIGÁS, 2018).

Essa exploração por recursos limitados, como o carvão vegetal, o GLP que é derivado do petróleo são as que mais degradam o meio ambiente, causando poluição, aquecimento global, efeito estufa, dentre outros tipos de poluição que, infelizmente não contribuindo para um desenvolvimento sustentável, comprometendo assim as futuras gerações.

A busca incessante por fontes alternativas de energia, as energias renováveis que são aquelas obtidas de maneira natural, como por exemplo, a energia solar e eólica, e que além de ser uma energia limpa é inesgotável, vem ganhando a cada dia mais incentivo, além do apoio técnico, científico e financeiro recebido de diversos órgãos e instituições brasileiras (Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás/CEPEL e Universidades, entre outros). (ANEEL, 2018).

A luz solar é a principal fonte de energia da Terra. A constante solar é igual a 1.368 W/m² a 1 UA (unidade astronômica) do Sol, ou seja, próxima à órbita da Terra,

sendo que o planeta recebe 50.000.000 GW/s. Porém, a luz solar na superfície da Terra é atenuada pela sua atmosfera, diminuindo a potência por unidade de área recebida na superfície para aproximadamente 1.000 W/m², em um céu claro (NOVASOL, 2018). A energia solar pode ser coletada através de uma variedade de processos sintéticos e naturais. A luz solar é indispensável para a manutenção de vida na Terra, sendo responsável pela manutenção de água no estado líquido, no qual aquece a água e faz com que evapore formando as nuvens que quando sobrecarregadas condensa na forma de gotículas de água e começa o processo de precipitação na qual as gotículas suspensas no ar se tornam pesadas e caem no solo no formato de chuva assim ocorrendo a infiltração, uma parte dessa água alimenta o lençóis subterrâneos e a outra parte pode ser absorvida pelas plantas que depois de utilizadas devolvem a atmosfera por meio do processo de transpiração, e através de fotossíntese em certos organismos, produz o oxigênio (O₂) necessário para a manutenção da vida (MAGALHÃES, 2018). A radiação da energia solar também pode ser capturada através de células solares, para a produção de eletricidade ou para efetuar outras tarefas úteis como por exemplo o aquecimento.

Uma das tarefas do presente trabalho é o aproveitamento dessa energia solar no preparo de alimentos, através da utilização de um forno solar. O forno solar nada mais é do que uma estufa com cobertura transparente para dar passagem aos raios do sol, mas também impedir que o calor saia. Ou seja, uma caixa térmica receptora e concentradora do calor proveniente da energia solar. Além de não poluir o meio ambiente, pois evita a utilização da lenha ou GLP, esse projeto do forno não necessita de nenhum tipo de combustível não renovável, depende apenas de uma boa insolação.

1.2 Objetivo Geral

Estudar a viabilidade de um forno solar e a sua eficiência na cocção de alguns alimentos, comparando o tempo gasto no cozimento com um forno convencional a gás.

1.3 Objetivos Específicos

- Projetar e construir um forno do solar do tipo caixa.
- Descrever e analisar todas as etapas do processo construtivo.
- Avaliar o custo benefício desse produto, demonstrando todas as características como, por exemplo, peso do forno, durabilidade, manutenção, facilidade no transporte e dimensões do forno.

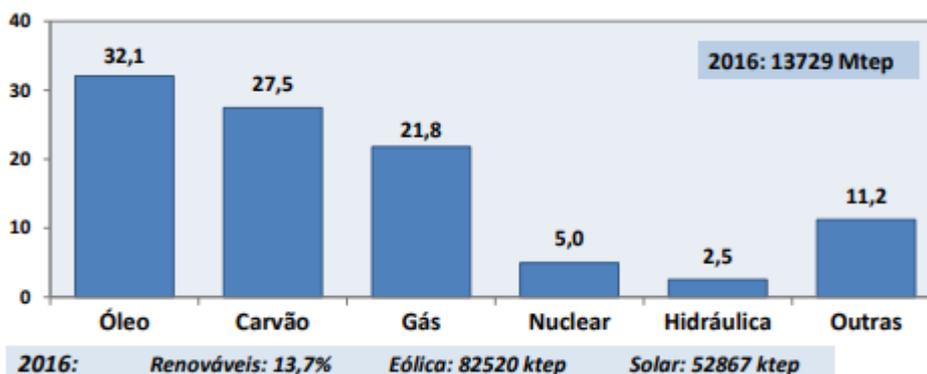
2 Revisão Bibliográfica

2.1 Energias Renováveis e Matriz Energética

Energia renovável, energia alternativa ou energia limpa são três nomes possíveis para qualquer energia obtida por meio de fontes renováveis, que não geram impactos ambientais negativos (ECYCLE, 2018). Os incentivos à utilização de energias renováveis e o grande interesse que este assunto levantou nestes últimos anos se deve principalmente à conscientização da possível escassez dos recursos não renováveis como, por exemplo, recursos fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural) e da necessidade de redução das emissões de gases nocivos para a atmosfera (GEE - gases de efeito de estufa).

Consumir energia 100% limpa tem se mostrado como o jeito mais eficiente de compensar as emissões de gás carbônico (CO₂). Em 2016, o mundo emitiu 32.320 milhões de toneladas de CO₂, mostrando indicador de 2,35 toneladas de CO₂ por TEP de energia consumida. Apesar de todos os esforços na redução dos GEE, esse indicador se mostrou apenas um pouco inferior ao verificado 10 anos atrás, de 2,37 toneladas de CO₂ por tonelada equivalente de petróleo (TEP). No Brasil, o indicador de emissões ficou em 1,47 toneladas de CO₂ por TEP (63% do indicador mundial), em razão da maior presença de fontes renováveis na sua matriz energética. Mundialmente, uma das fontes de energia mais usada ainda o Óleo (Petróleo e seus derivados) com o consumo de mais de 32,1% contra quase 13,7% de energias renováveis, como hidrelétrica, solar e eólica, Figura 1.

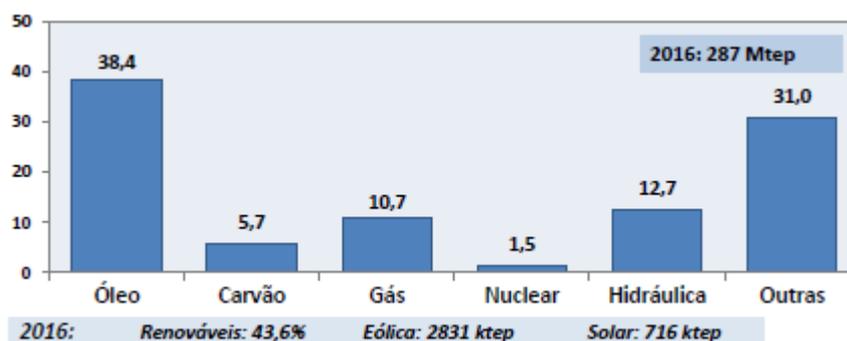
Figura 1 – Matriz Energética Mundial.



Fonte: Energia, Ministério de Minas e Energia, 2018

O Brasil possui uma matriz energética melhor equilibrada entre as fontes de energia não renováveis e a renováveis, Figura 2.

Figura 2 - Matriz Energética do Brasil.



Fonte: Energia, Ministério de Minas e Energia, 2018

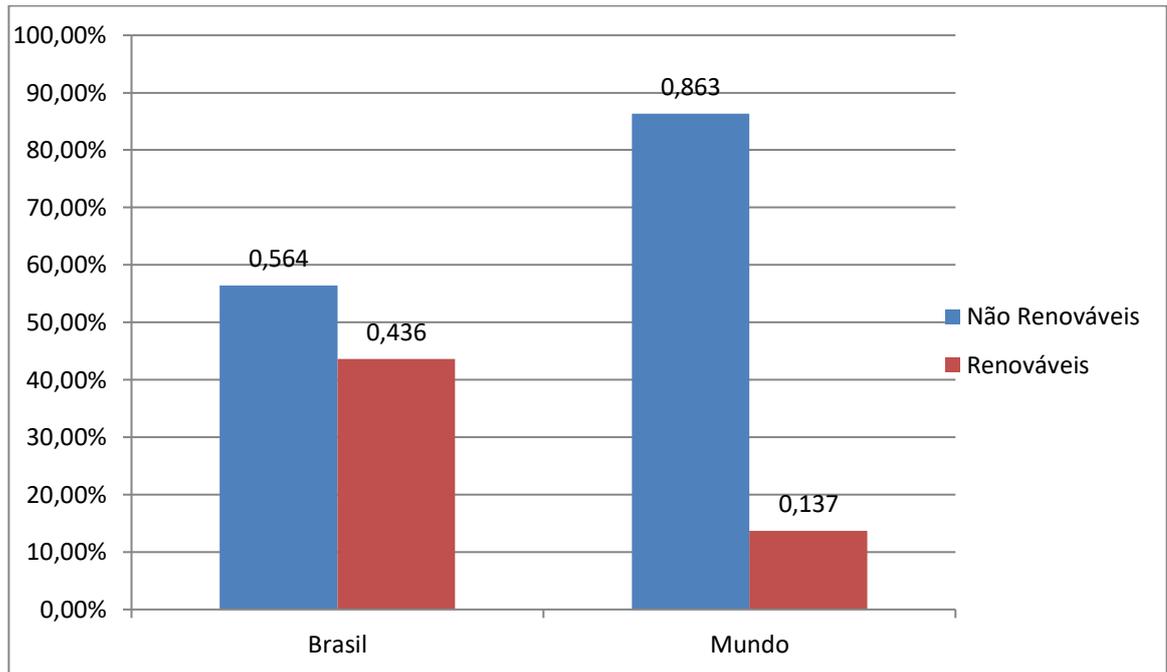
Considerando que os tipos de energia que compõem o item *Outras* são: Biomassa, Biodiesel, Eólica, Solar, Geotérmica, Marés, Ondas, etc (Figura 2). Também conforme se verifica na Figura 2, a matriz energética brasileira é composta 54,8% de energia não renováveis contra os 43,7% da renovável que é mostrado na Figura 2. A Figura 3 mostra a relação de energia não renováveis e renováveis mundial e em comparação com a matriz brasileira baseado na Figura 2. (ANEEL, 2018).

De acordo com a Figura 3, no Brasil a utilização de energia renovável está muito superior quando comparado ao mundo, e isso é de suma importância, pois as energias não renováveis são as maiores responsáveis pela emissão de GEE. Como consumimos mais energia das fontes renováveis que em outros países, dividindo a emissão de gases de efeito estufa pelo número total de habitantes no Brasil, veremos que nosso país emite menos GEE por habitante.

2.2 Energia Solar

É a energia proveniente da radiação solar que é aproveitada e utilizada por meio de diferentes tecnologias, principalmente como o aquecimento solar, geração de energia fotovoltaica, energia heliotérmica e arquitetura solar. A energia solar é considerada uma fonte de energia renovável e sustentável.

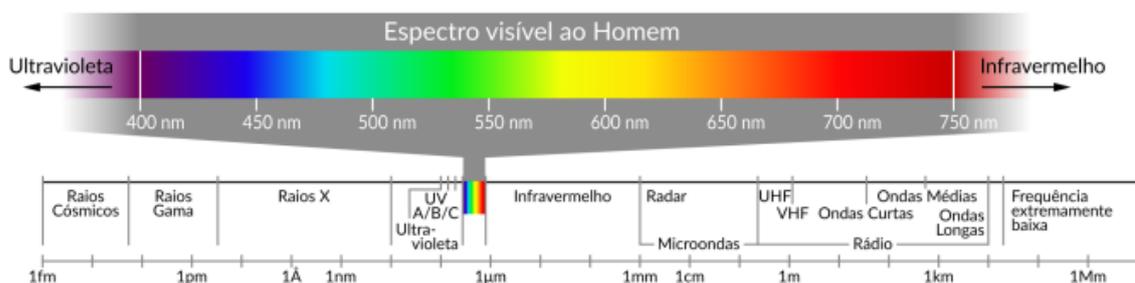
Figura 3 – Comparação da Matriz Energética Mundial e Brasil.



Fonte: Energia, Ministério de Minas e Energia, 2018

A energia irradiada pelo Sol cobre uma ampla faixa do espectro eletromagnético, Figura 4. Cerca de 81% da energia que chega ao Sistema Terra/Atmosfera está em uma faixa de comprimentos de onda que vai do visível ao infravermelho. Essa energia alimenta todos os processos térmicos, dinâmicos e químicos, sejam eles naturais ou artificialmente desenvolvidos, com aplicação do conhecimento científico e tecnológico produzido pela sociedade. Dentre os processos naturais, a fotossíntese (produção de biomassa), o ciclo hidrológico (evaporação/precipitação), a dinâmica da atmosfera e oceanos (ventos e correntes oceânicas) são exemplos com os quais estamos interagindo de forma rotineira.

Figura 4 – Espectro da radiação solar com detalhamento da faixa visível humano.



Fonte: INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição, 2017

Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustível fóssil e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Como por exemplo a energia Eólica, a radiação solar provoca o aquecimento desigual da terra em função do formato esférico do planeta, do ângulo de incidência da radiação solar, das nuvens e da rotação da Terra. E a superfície terrestre libera na atmosfera, de maneira contínua e não uniforme, o calor recebido do sol. Nas zonas onde o calor é menos liberado, a atmosfera fica mais fria e a pressão é maior, enquanto que, nas zonas onde mais calor é liberado, o ar se aquece e a pressão dos gases atmosféricos diminui. Como a atmosfera tende a constantemente restabelecer o equilíbrio de temperatura e pressão, o ar se move, pelo que chamamos de forças de pressão, a partir das áreas onde a pressão é mais elevada para àquelas em que a pressão é menor. Portanto, o vento é o movimento de uma massa de ar entre as zonas de diferentes pressões. Quanto maior a diferença de pressão, mais rápido o fluxo de ar e, conseqüentemente, mais forte o vento (JONH, 2015). Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

A demanda por energia continua a aumentar em todo o mundo e muitos países estão se esforçando para encontrar soluções renováveis, sustentáveis e ecologicamente corretas para esse problema. A dependência do petróleo e do gás como fonte de geração de energia e combustível é uma das principais preocupações de vários países, especialmente aqueles que são importadores de petróleo e seus derivados.

Como o mundo enfrenta preços crescentes do petróleo, instabilidade política nas áreas de produção de petróleo e os efeitos adversos do uso de recursos não renováveis, diferentes nações estão buscando fontes alternativas de energia e aumentando o interesse pela produção de energia limpa e renovável. A capacidade fotovoltaica global tem aumentado a uma taxa de crescimento anual média de mais de 40% desde 2000 e tem um potencial significativo para o crescimento a longo prazo nas próximas décadas.

2.3 Potencial Solar Brasileiro

O Brasil possui um grande potencial para gerar eletricidade a partir do sol. No lugar menos ensolarado no Brasil é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica (FV) (SOL, 2018). Segundo o INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição (2018), diariamente incide entre 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² no país, ver Figura 8.

A disponibilidade e a variabilidade do recurso energético solar estão intrinsecamente associadas às condições de tempo e clima da região. Isso ocorre porque sistemas meteorológicos provocam alterações na nebulosidade e nas concentrações dos gases e aerossóis, afetando os processos radiativos que atenuam a radiação solar ao longo de seu percurso na atmosfera.

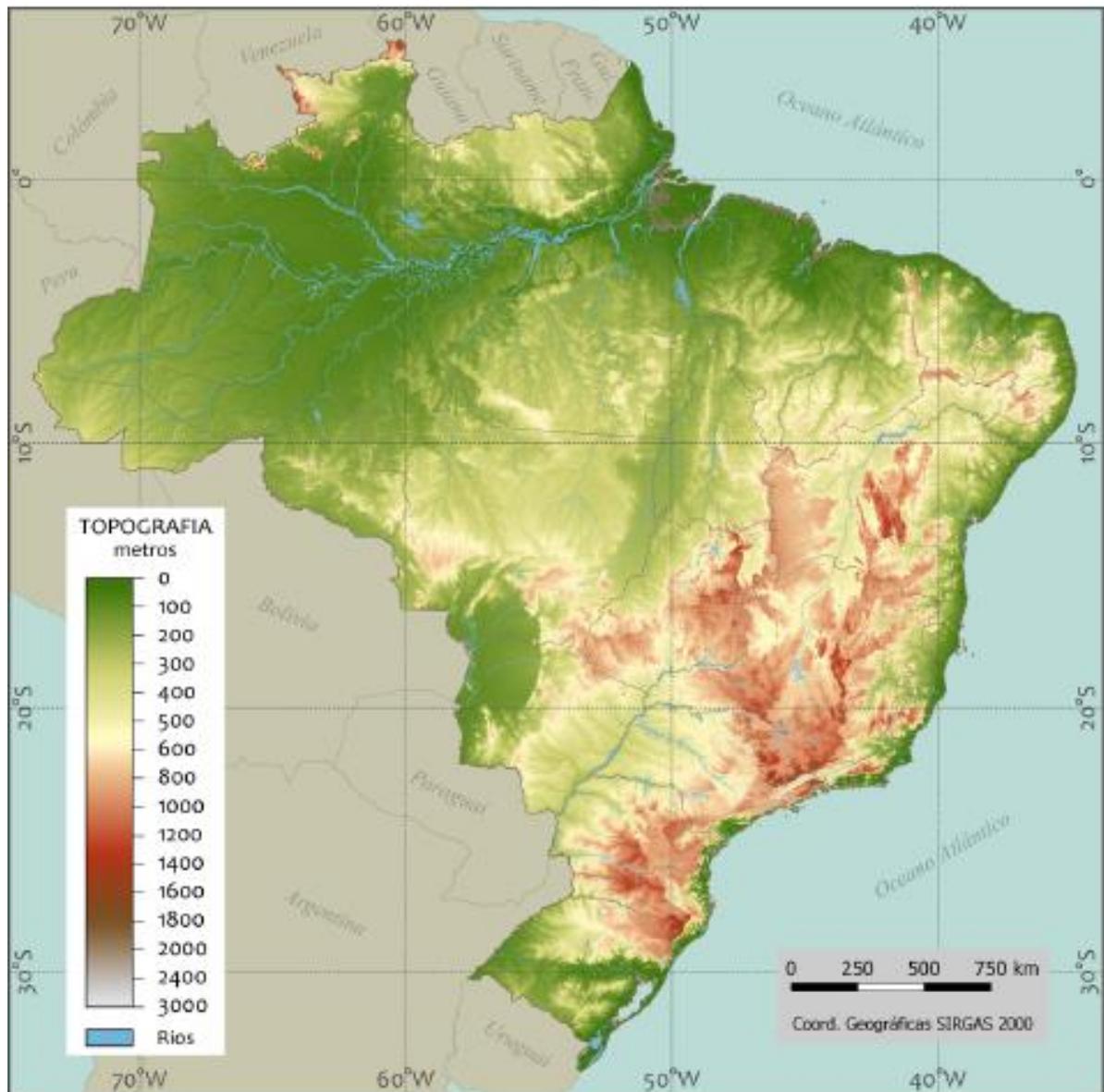
O clima do Brasil é diversificado em consequência de fatores variados, como a extensão territorial, o relevo e a dinâmica das massas de ar. A Figura 5 mostra o relevo brasileiro, que possui influência direta nas condições de tempo e de clima de uma região. Pontos mais elevados tendem a ser mais frios, além de criarem condições propícias para a formação de nebulosidade através da condensação por levantamento nas encostas. (INPE, 2018). A dinâmica atmosférica é de suma importância porque atua diretamente tanto na temperatura quanto na precipitação, provocando as diferenças climáticas regionais.

A Figura 6 ilustra a distribuição dos climas característicos no território brasileiro segundo Köppen (VIANELLO e ALVES, 2013). Pode-se notar que grande parte do território brasileiro apresenta os climas tropical e subtropical (médias latitudes e altitudes elevadas no Sudeste brasileiro). Parte do sertão nordestino apresenta o clima classificado como semiárido.

A Figura 7 apresenta a escala em toda sua extensão, contemplando todas as cores e os valores correspondentes utilizados nos mapas de irradiação global horizontal, direta normal e no plano inclinado na latitude. No entanto, nos mapas a escala é apresentada contemplando apenas o intervalo de valores presente na variável solarimétrica representada. Por exemplo, o mapa das médias anuais da

irradiação global apresenta a parcela da escala que contém os valores e cores encontrados nesse mapa

Figura 5 – Topografia do território brasileiro



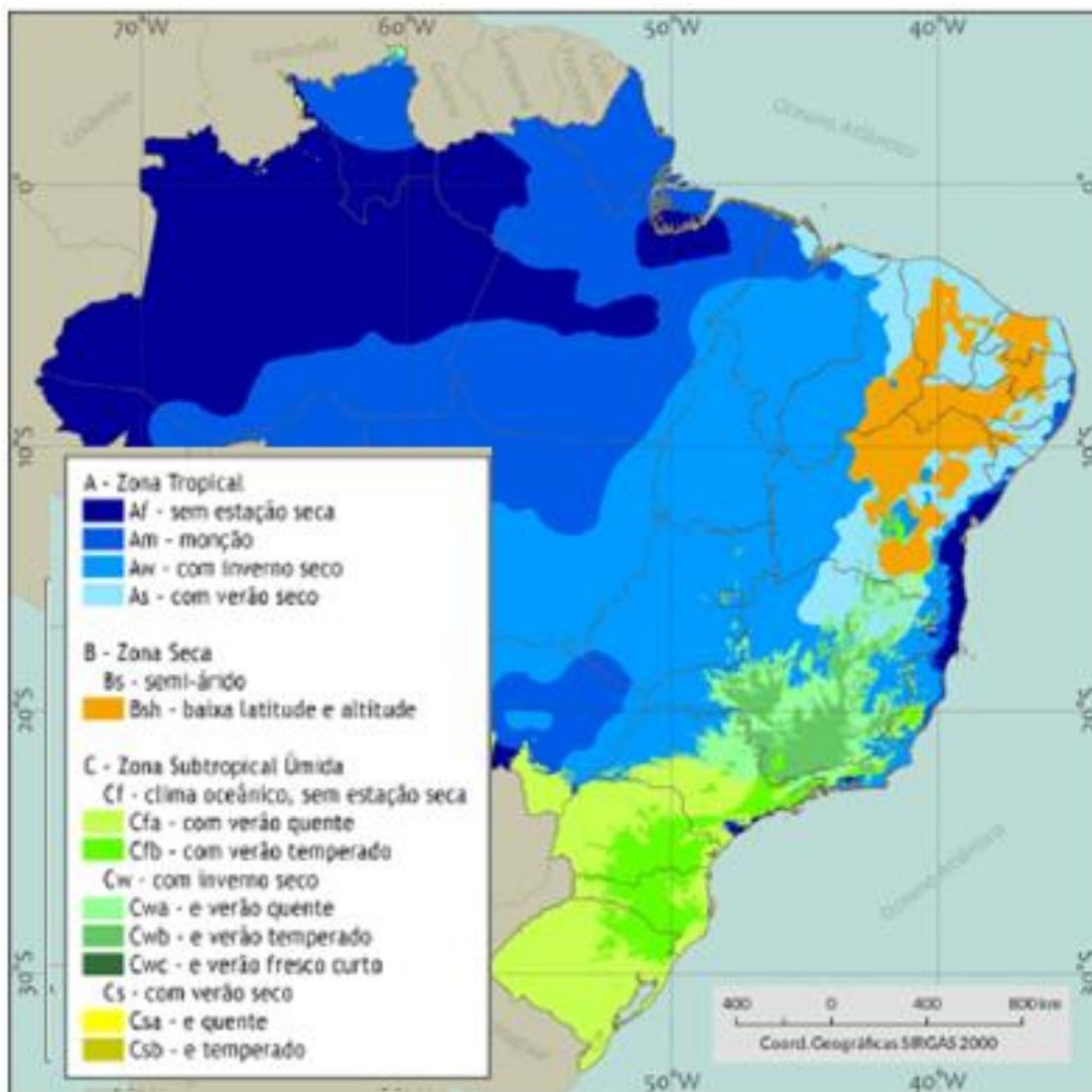
Fonte: INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição, 2017

Na Figura 8, podemos ver que os maiores índices de irradiação solar estão na região nordeste com uma média de 5.483 Wh/m.

O potencial brasileiro tem destaque no cenário de energia solar mundial e aumenta ainda mais quando consideramos sua reserva de silício, matéria prima primordial na fabricação de componentes de computadores, lâmpadas especiais,

celulares e painéis solares de geração elétrica, a maior reserva de silício, com o mais alto índice de pureza do mundo, está em Cristalina, no interior de Goiás.

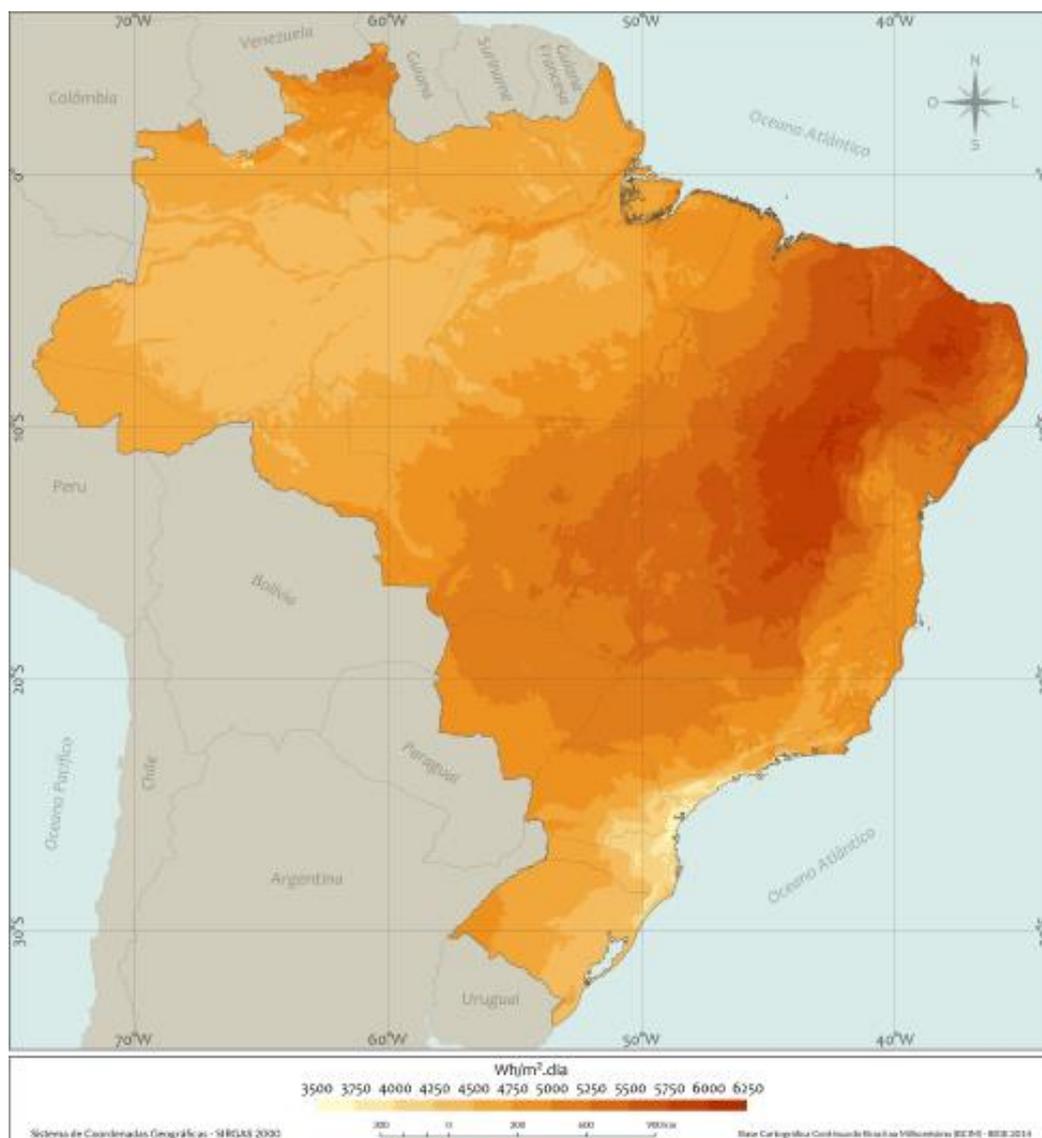
Figura 6 – Classificação climática para o Brasil



Fonte: INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição, 2017

A partir de iniciativas governamentais, o Brasil vem aumentando a participação da energia solar em seu espectro energético, dominado pelos métodos hidrelétrico e termelétrico. Com mais incentivo e a participação da população, temos todas as condições necessárias para fazer do país um grande produtor de energia solar, agente ativo e referência na transformação energética e sustentável do planeta.

Figura 7 – Total diário da irradiação global horizontal



Fonte: INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição, 2017

Figura 8 – Índices de acordo com as regiões brasileiras

Região	r	Viés (Wh/m ²)	Viés (%)	REQM (Wh/m ²)	REQM (%)	Irradiação Global Horizontal Média Observada (Wh/m ²)
Norte	0,81	30	0,6%	467	9,7%	4825
Nordeste	0,87	12	0,2%	456	8,3%	5483
Centro-Oeste	0,86	23	0,5%	421	8,3%	5082
Sudeste	0,91	4	0,1%	416	8,4%	4951
Sul	0,98	-4	-0,1%	395	8,9%	4444
Médio	0,89	12	0,2%	421	8,2%	5153

Fonte: INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição, 2017.

2.4 Fornos Solares

2.4.1 História

O primeiro forno solar foi criado pelo naturalista francês Horace Bénédicte de Saussure (1740 —1799) em 1767 e os primeiros experimentos com esse tipo de forno foram descritos por seu filho Nicolas Théodore de Saussure (1767 — 1845). Seu forno foi construído com duas caixas de madeira de pinho uma dentro da outra, isoladas com lã com três coberturas de vidro. Com esse forno, Saussure conseguiu a temperatura de 90° C. (BEYER, 2004).

Além dos Saussures, outros fornos solares também foram desenvolvidos por diversas outras pessoas, como o matemático e astrônomo inglês John Herschel (1792 —1871) que em 1837 usou fornos solares em uma expedição que fez à África do Sul. William Adams, na Índia em 1878, desenvolveu um equipamento capaz de cozinhar 6 kg em um período de tempo de 4 a 5 horas. No ano de 1870, Augustine Mouchot, desenvolveu um forno solar capaz de assar 0,5 kg de pão em 45 minutos. (BEYER, 2004).

Embora a utilização da energia solar em larga escala ainda seja restrita, no mundo inteiro já há iniciativas de diversos países para aproveitar a energia solar, seja por meio de painéis fotovoltaicos, seja por meio de fornos solares.

A França é uma das pioneiras no uso de energia solar. Em 1969, foi inaugurado o forno solar de Odeillo, nos Pirineus, um dos maiores fornos solares do mundo com uma potência térmica de 1MW. (FERRARO, 2018) Na torre do coletor a temperatura chega a atingir 3800° C. Também na França, uma estrada de um quilometro coberto com 2,8 metros quadrados de painéis solares revestidos de resina foi ligado à rede de energia elétrica. (WELLE, 2018).

A companhia portuguesa SunOK, fundada no final de 2008, é responsável pela produção dos primeiros fornos solares em larga escala. (CICLOVIVO, 2018).

No Brasil, o estudo dos fornos solares teve início no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba na década de 80, através do Professor Arnaldo Moura Bezerra. (CRESESB, 2018).

E hoje conta com inúmeras universidades fazendo pesquisa na área, exemplo disso é na UFRN, no Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar, coordenado pelo professor Luiz Guilherme Meira de Souza, que pesquisa a energia solar há 40 anos - 37 deles, na UFRN. Existem inúmeras outras peças semelhantes espalhadas no ambiente do laboratório. São protótipos de fornos, fogões e secadores desenvolvidos no laboratório de máquinas hidráulicas do curso de Engenharia Mecânica. (GONÇALVES, 2018).

2.4.2 Forno solar do tipo caixa

São fornos com estrutura que se assemelha com uma caixa, com tampa de vidro para efeito estufa no qual o aquecimento dá-se essencialmente porque a convecção é suprimida. Não há troca de ar entre o interior e o exterior, sendo assim a energia que entra pela radiação solar que aquece o ambiente interno não é perdida com as correntes ascendentes que roubariam o calor. Possuem abas ou refletores laterais que concentram a energia térmica solar dentro da caixa, Figuras 9 e 10. Possuem rendimento maior que os fogões de painel. Também permitem temperaturas superiores a 100 graus. A construção é mais onerosa, demandando maior tempo. Este tipo de fogão necessita de certo direcionamento de acordo com o movimento da Terra, de modo a concentrar a energia solar dentro da caixa.

Figura 9 – Forno Solar tipo Caixa



Fonte: FOGAOSOLAR, 2018.

Figura 10 – Forno Solar tipo Caixa



Fonte: FOGAOSOLAR, 2018.

2.4.3 Forno solar do tipo Parabólico ou concentrador.

São os fogões de melhor rendimento quando comparados ao caixa e o tipo painel. São de formato parabólico, com foco convergente. Permitem altas temperaturas, com menores tempo de cozimento, Figuras 11 e 12. São direcionais, necessitando reajuste de angulo da parábola. Permitem cozinhar, fritar, assar, com rendimento igual ou superior a energia térmica da chama de um fogão a gás convencional. Podem ser construídos com diversos materiais: fibra de vidro, plástico moldado, papelão, alumínio polido em estrutura de apoio, etc. Contudo, possuem as desvantagens de serem mais caros e de construção mais complexa.

Figura 11 – Forno Solar tipo Parabólico



Fonte: GONÇALVES, 2018.

Figura 12 – Forno Solar tipo Parabólico

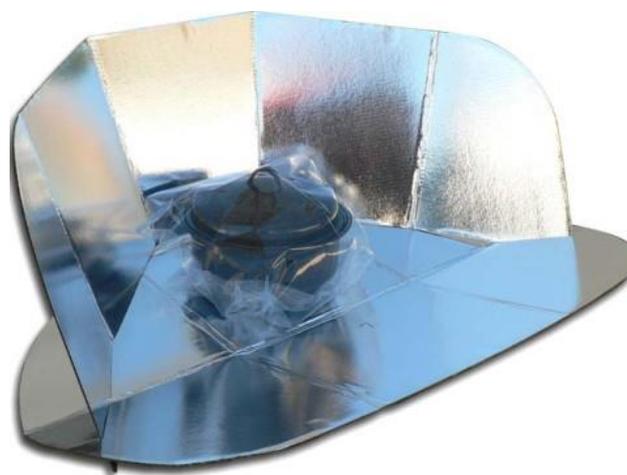


Fonte: GONÇALVES, 2018.

2.4.4 Forno do tipo painel

São os mais fáceis de serem fabricado, com menor investimento de tempo e dinheiro. Normalmente feitos de painéis de papelão, que pode ser reciclado de caixas de papelão usadas, com revestimento de superfície reflexiva, como papel alumínio, filmes de poliéster metalizado, folhas de alumínio polido (Figuras 13, 14, 15 e 16). Os painéis são dobrados de modo a concentrar o foco onde será colocada a panela para cocção. Este tipo de fogão apresenta menor rendimento quando comparados com o tipo caixa e o parabólico, temperaturas de até 100 graus centigrados. O tempo de cozimento é maior. Para maior rendimento, pelo efeito estufa, a panela deve ser revestida de saco plástico para fornos ou recipiente de vidro transparente.

Figura 13 – Forno Cookit



Fonte: FOGAOSOLAR, 2018.

Existem muitos modelos disponíveis, o mais famoso é o Cookit, funcional, mas com maior gasto de material. Outros modelos surgiram após, com maior eficiência e menor gasto de material, como o Fun Panel, Sunny, funil, Windshield shade (feito com shade automotivo).

Figura 14 – Forno Fun Panel



Fonte: FOGAOSOLAR, 2018.

Figura 15 – Forno Sunny



Fonte: FOGAOSOLAR, 2018.

Figura 16 – Forno Shade



Fonte: FOGAOSOLAR, 2018.

3 Matérias e Métodos

3.1 Processo de Fabricação e Montagem

O forno fabricado foi um protótipo de um forno do tipo caixa, no qual foi predestinado ao uso doméstico no período das 8h às 14h, uma vez que esse período é, teoricamente, o mais eficiente para o cozimento dos alimentos como por exemplo Pizzas, Nuggets, dentre alguns alimentos que normalmente são feitos em fornos convencionais.

Os materiais que foram utilizados na fabricação foram duas gavetas que iriam ser reciclados, no qual a parte principal dela é toda de metal, não se sabe ao certo o tipo de metal, foi fixado uma chapa de metal de material reciclado com o objetivo de fixar as duas gavetas, a Figura 17 ilustra as gavetas já fixadas e a Figura 18 mostra as chapas de metal que foram utilizadas na fixação das gavetas.

A Tabela 1 a seguir mostra as ferramentas e os materiais utilizados na fabricação do forno.

Figura 17 – Gavetas fixadas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 – Chapas de metal retiradas de um gabinete



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 1 – Materiais e Ferramental

MATERIAIS	FERRAMENTAL
Duas Gavetas	Trena
Placa de metal	Martelo
Vidro	Cortador de vidro
Rebites	Rebitadeira
Pregos	Lixa d'agua 320
Tinta Preto Fosco	Trena
Placas de EPS (ISOPOR) 30mm	Pincel
Cola branca	
Palito de Churrasco	
Resina	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro passo na fabricação do forno foi aquisição do gabinete para a retirada das chapas metálicas, que foi doado pelo Instituto Internacional de Física da UFRN, que o mesmo iria ser reciclado, com a doação do gabinete retiramos algumas partes de metal, como mostra a Figura 18 que foram utilizados para a fixação da gaveta. Em seguida foi utilizado uma rebidadeira para juntar as gavetas.

Com a fixação das gavetas o segundo passo foi lixar a parte interna da gaveta, pois a mesma tinha uma cor branca no qual não é eficiente quanto a cor preta na absorção de calor.

A Figura 20 ilustra essa etapa do processo da retirada da tinta branca usando uma lixa d'água 320 na parte interna do forno.

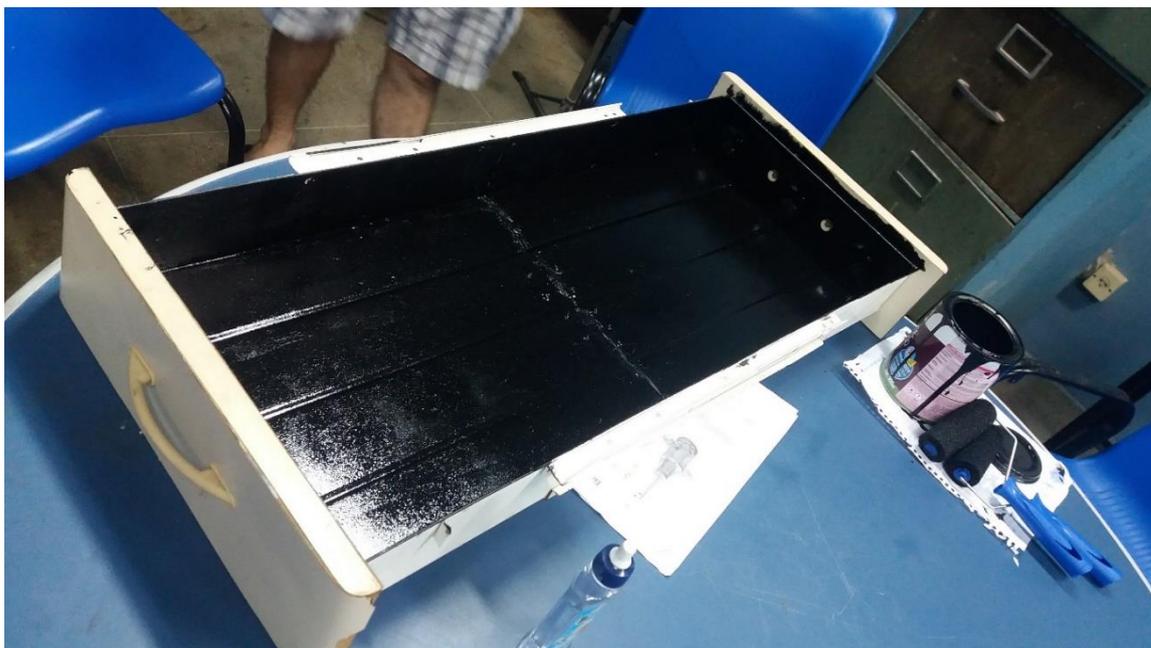
Figura 19 – Lixação da parte interna da gaveta



Fonte: Elaborado pelo autor.

O terceiro passo foi a pintura do forno, primeiramente compramos uma tinta preta fosco, devido a eficiente na absorção da luz ser melhor, ela não é refletida, sendo o raio solar totalmente absorvido e transformado em calor. A Figura 21 ilustra o processo de pintura do forno.

Figura 20 – Pintura do Forno



Fonte: Elaborado pelo autor.

O quarto passo foi a introdução do isolante térmico que no caso foi utilizado isopor, o isopor foi comprado e fixado nas laterais e na inferior do forno, o mesmo foi fixado com cola branca e palitos de churrasco o resultado é ilustrado na Figura 22. A opção do uso do isopor em relação a outros isolantes, é que o mesmo é de fácil acesso e de menor custo.

Figura 21 – Isolante térmico



Fonte: Elaborada pelo autor.

A quinta etapa do processo foi a pintura do isopor com uma cor que o deixasse bem-apresentado, focado somente na estética do forno.

A última etapa foi o corte do vidro, no qual foi doado pelo Laboratório de Maquinas Hidráulicas e Energia Solar, com o objetivo de ser utilizado como a tampa do forno, evitando a dispersão desse calor. O vidro foi cortado do mesmo tamanho do forno e colocado na parte superior, alguns pedaços de vidro foram cortados e colados com resina na parte superior do vidro com a função de facilitar o manuseio da tampa, no modo de abrir e fechar.

Figura 22 – Forno pronto.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 23 mostra o resultado da fabricação do forno. No qual podemos também observar o suporte que foi doado para o experimento. O suporte era feito de metal e uma base no qual era colocado o forno solar, contava também com o espelho que foi essencial no procedimento experimental, que tem como objetivo refletir os raios solares para dentro do forno.

3.2 Procedimento Experimental

O experimento foi realizado no Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar da UFRN no dia 07 de setembro de 2018. O experimento foi realizado entre 10h

e 14h, no qual se tinha como objetivo coletar a temperatura da placa absorvedora e do ar interno do forno. Nesse dia a temperatura ambiente estava em torno de 28°.

Antes de começar o experimento se fez necessário limpar a superfície refletora (espelho), durante o período do experimento, foi necessário orientar a base e a parte que comportava a superfície refletora, para se obter uma melhor incidência dos raios solares, para se ter uma melhor eficiência e alcançar a temperatura máxima do forno. As temperaturas foram coletadas com termopares acoplados a um termômetro digital como ilustram as Figuras 24 e 25.

Figura 23 – Termopares e Termômetro.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 24 –Termômetro digital.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira etapa do ensaio foi realizada sem carga, durante o período de 1h e os dados foram coletados a cada 5 minutos. Os dados coletados foram a temperatura da placa absorvedora e a temperatura interna do ar. O ensaio começou as 11h05, e foi finalizado as 12h10. Como ilustra a Figura 26.

Figura 25 – Ensaio do forno.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda etapa experimental foi a cocção de dois alimentos. Foram colocados ao mesmo tempo uma pizza (media, 460g) e uma porção de um pacote de nuggets dentro do forno. Durante o período de assamento dos alimentos, foi coletado a temperatura da placa absorvedora, fixado no centro do forno, e o ar interno do forno, que foi fixado na extremidade do forno. Essa etapa começou assim que foi finalizada a etapa sem carga, no qual ao adicionar os alimentos as temperaturas do forno já estavam na máxima, em torno de $121,1^{\circ}\text{C}$. Ao decorrer o tempo, cada alimento ficou pronto em tempos distintos, e as temperaturas foram coletados a cada 5 minutos, tanto da placa absorvedora quanto do ar interno do forno. A Figura 28 ilustram o forno no processo de cocção dos alimentos.

Figura 26 – Cozimento dos alimentos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um dos problemas que surgiu foi o vidro embaçado, parte interior do vidro condensava, dificultando a absorção dos raios solares, precisando-se limpar com um pano a parte do vidro interior do forno para cada novo alimento que fosse ser assado.

3.3 Balanço de Energia

3.3.1 Energia que entra no forno

A energia que entra no forno deriva de duas fontes: da radiação solar global incidente no forno e da radiação solar direta refletida nos espelhos externos situados no topo do forno. A Equação 3.1 ilustra a energia total que entra no forno.

$$E_{ef} = E_g + E_{re} \quad (3.1)$$

Onde:

E_{ef} = energia que entra no forno (W);

E_g = energia da radiação solar global que incide diretamente no forno (W);

E_{re} = energia da reflexão dos espelhos localizados na parte superior do forno (W).

Para o cálculo das energias de entrada no forno utilizou-se as Equações 3.2 e 3.3.

$$E_g = I_g \tau_v A_v \quad (3.2)$$

$$E_{re} = I_d \rho_e \tau_v A_{au} \quad (3.3)$$

Onde:

I_g = Radiação instantânea global que entra no forno = 950,0Wh/m²;

I_d = Radiação instantânea direta que entra no forno = 760,0Wh/m²;

Para condições de céu limpo com poucas nuvens $I_d = 0,8I_g$;

ρ_e = Refletividade do espelho = 0,95;

τ_v = Transmissividade do vidro = 0,85;

A_v = Área do vidro = 0,28 m²;

A_{au} = Área útil dos espelhos = 0,32 m².

$$E_g = 950,0 * 0,85 * 0,28 = 226,1 \text{ W}$$

$$E_{re} = 760,0 * 0,95 * 0,85 * 0,32 = 196,4 \text{ W}$$

Logo a energia efetiva que entra no forno é dada pela soma a seguir:

$$E_{ef} = 226,1 + 196,4 = 422,5 \text{ W}$$

3.3.2 Energia perdida pelo forno

Como não existe um isolamento ideal, sempre haverá perdas de energia, sendo que para o caso do forno, a energia será perdida pelas laterais e parte inferior no qual todas as perdas são dadas por convecção. Enquanto que para o espelho, a perda dar-se-á tanto por convecção, como também por radiação.

A Equação 3.4 ilustra todas as perdas.

$$E_{pf} = E_{p_{fS}} + E_{p_{fO}} + E_{p_{fN}} + E_{p_{fL}} + E_{p_{fV}} + E_{p_{fI}} \quad (3.4)$$

Onde:

$E_{p_{fS}}$ = Energia perdida pelo forno pela região sul (W);

$E_{p_{fO}}$ = Energia perdida pelo forno pela região oeste (W);

$E_{p_{fN}}$ = Energia perdida pelo forno pela região norte (W);

$E_{p_{fL}}$ = Energia perdida pelo forno pela região leste (W);

$E_{p_{fV}}$ = Energia perdida pelo forno pela região vidro (W);

$E_{p_{fI}}$ = Energia perdida pelo forno pela região inferior (W).

A Figura 29 ilustra as posições de todas as faces do forno solar construído no presente trabalho de conclusão de Curso (TCC).

Figura 27 - Faces do forno



Fonte: Elaborado pelo autor

Para a quantificação da energia perdidas, usaremos a lei de Newton para o resfriamento, no caso da convecção (Equação 3.5), e a derivação da lei de Stefan-Boltzmann, para a radiação (Equação 3.6).

$$E_{pf} = Q_{convec} = h_c * A_{se} * (T_s - T_{amb}) \quad (3.5)$$

$$E_{pf} = Q_{rad} = h_r * A_{se} * (T_s - T_{amb}) \quad (3.6)$$

Onde:

h_c = coeficiente de transferência de calor por convecção, em W/m²K;

h_r = coeficiente de transferência de calor por radiação, em W/m²K;

A_{se} = área da superfície, em m²;

T_s = temperatura da superfície, em K;

T_{amb} = temperatura ambiente, em K;

Calculando os coeficientes convectivo e radiativo (h_c e h_r):

O coeficiente de transferência de calor, por convecção, entre a superfície externa e o ar ambiente, pode segundo Duffie & Beckman (1991), ser determinado pela equação 3.7.

$$h_{c(ve-a)} = 2,8 + 3 * v_v \quad (3.7)$$

Esta equação é válida para velocidades de vento compreendidas entre 0,0 e 7,0 m/s. No local onde foram feitos os testes, de acordo com a central meteorológica do LMHES.

Com a finalidade de calcular o coeficiente convectivo h_c , foi mensurado no LMHES/UFRN, a velocidade média do vento $V_v = 0,7$ m/s à uma temperatura média ambiente de 28 °C. Dessa forma, com a obtenção da velocidade, chegou-se ao coeficiente convectivo, Equação 3.8.

$$h_{c(ve-a)} = 2,8 + 3 * 0,7 = 4,9 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (3.8)$$

O coeficiente de troca térmica radiativa entre a superfície externa da cobertura e a abóbada celeste, conforme Duffie & Beckman (1991), é função das condições climáticas do local considerado podendo ser determinado através da Equação 3.9.

$$h_{r(ve-a)} = 5,16 * 10^{-8} \frac{T_{ve}^4 - T_{sky}^4}{T_{ve} - T_{amb}} \quad (3.9)$$

Onde:

T_{ve} = temperatura externa do vidro, em K.

T_{sky} = temperatura da abóbada celeste, em K.

T_{amb} = temperatura ambiente, em K

Sem incorrer em erros significativos, pode-se obter o valor de T_{sky} , a partir de T_{amb} , através da Equação 3.10.

$$T_{sky} = 0,0552 * T_{amb}^{1,5} \quad (3.10)$$

Para o cálculo da temperatura do céu, faz-se necessário converter a temperatura ambiente, medida em Celsius, para Kelvin, de modo que, 28°C será 301,15 K. Logo a temperatura do céu T_{sky} é fornecida pela Equação 3.11.

$$T_{sky} = 0,0552 * 301,15^{1,5} = 288,48 K \quad (3.11)$$

A Tabela 2 a ilustra as temperaturas no fundo e nas laterais e a parte superfície do vidro.

Tabela 2 – Temperaturas das superfícies do forno

Superfície	T_s (°C)	A_{se} (m²)
Sul	46,0	0,0984
Oeste	46,0	0,0456
Leste	46,0	0,0456
Norte	46,0	0,0984
Externa do Vidro	52,0	0,28
Inferior	42,0	0,3116

Fonte: Elaborado pelo autor

Usando a Equação 3.9 o coeficiente radiativo, $h_{r(ve-a)}$ e convertendo as temperaturas tudo para a unidade Kelvin, temos o valor de:

$$h_{r(ve-a)} = 5,16 * 10^{-8} \frac{325,15^4 - 288,48^4}{325,15 - 301,15} = 9,14 W/m^2K$$

Agrupando-se os devidos termos na equação geral de perdas chega-se aos respectivos valores para cada superfície (equação 3.5):

$$E_{pf} = Q_{convec} = h_c * A_{se} * (T_s - T_{amb})$$

$$E_{pfS} = 4,9 * 0,0984 * (46,0 - 28,0) = 8,68 W$$

$$E_{pfO} = 4,9 * 0,0456 * (46,0 - 28,0) = 4,02 W$$

$$E_{pfN} = 4,9 * 0,0984 * (46,0 - 28,0) = 8,68 W$$

$$Ep_{fL} = 4,9 * 0,0456 * (46,0 - 28,0) = 4,02 \text{ W}$$

$$Ep_{fV} = (4,9 + 9,14) * 0,28 * (52 - 28) = 94,35 \text{ W}$$

$$Ep_{fI} = 4,9 * 0,3116 * (42 - 28) = 21,38 \text{ W}$$

Somando-se as perdas calculadas temos a perda total:

$$E_{pf} = 141,13 \text{ W}$$

3.3.3 Energia Absorvida Pelo Forno

Após o cálculo das taxas de energias de entrada no forno e a perda, a energia absorvida pelo forno é calculada pela diferença entre a energia entrada no forno e a energia perdida.

$$E_{abs} = 422,5 - 141,13 = 281,37 \text{ W}$$

3.3.4 Rendimento Interno Do Forno

O rendimento interno do forno, é calculado pela razão entre as taxas de energia absorvidas e a de entrada. Logo, teremos:

$$\eta_{RI} = \frac{281,37}{422,5} * 100 = 66,59\%$$

4 Resultados e Discussões

O primeiro ensaio iniciou-se as 11h05, em um intervalo de coleta de dados de cinco em cinco minutos, durante uma hora. Coletando as temperaturas da placa absorvedora e a interna do ar. A Tabela 3 mostra as temperaturas coletadas.

Tabela 3 – Dados coletados sem carga

Horário	Temperatura do ar interno (°C)	Temperatura da Placa absorvedora (°C)
11:05	58,5	78,4
11:10	68,1	92,3
11:15	70,8	96,2
11:20	76,9	105,3
11:25	80,0	109,6
11:30	80,8	106,3
11:35	79,8	105,3
11:40	78,2	104,7
11:45	73,2	94,9
11:50	77,0	104,9
11:55	80,9	111,2
12:00	87,5	120,0
12:05	87,5	121,1

Fonte: Elaborada pelo autor.

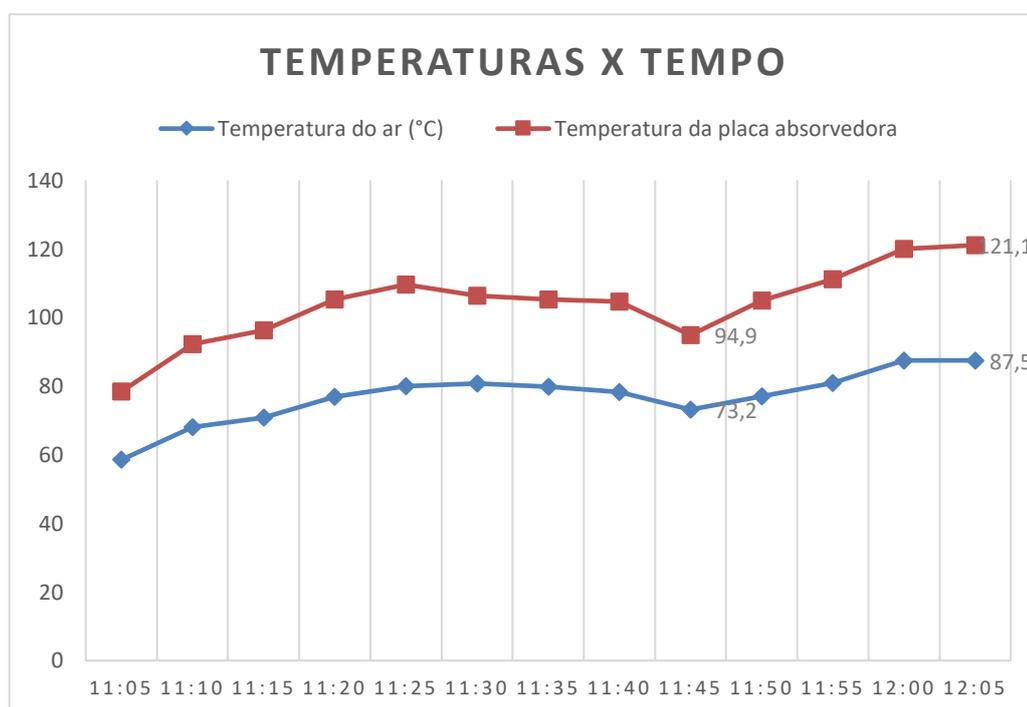
De acordo com a Tabela 3. Verificou-se que a temperatura máxima atingida pela placa absorvedora (metal) foi de 121,1 °C. Analisando a temperatura interna do ar a máxima foi de 87,5°C.

Analisando os dados desta Figura 30, verifica-se que entre às 11h30min até 11h45min se teve um decaimento nas temperaturas devido a um período nublado. A partir de 11h45min, a temperatura do forno voltou a subir, atingido sua máxima temperatura às 12h05min, tanto na placa absorvedora, quanto dentro da caixa. Essa temperatura máxima foi de 121,1°C e 87,5°C, na placa e dentro da caixa, respectivamente.

O segundo ensaio, com carga, se deu imediatamente ao fim do ensaio sem carga, ou seja, às 12h05min. Introduziu-se uma Pizza de 460 g (Sabor Frango com Requeijão) e um Nuggets provenientes de um pacote com 300 g, totalizando uma carga de 760 g em alimentos. Estes alimentos foram retirados em diferentes instantes.

A Figura 30 mostra a distribuição da variação da temperatura dos termopares ao longo do tempo.

Figura 28 – Temperaturas x Tempo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 4 mostra a evolução das temperaturas da chapa absorvedora e do ar ao longo do cozimento dos alimentos.

Segundo o fabricante dos dois alimentos utilizados, a Pizza deveria ficar pronta entre oito a dez minutos, a uma temperatura de pré-aquecimento de 250°C em um forno à gás. Já os Nuggets, esse tempo deveria ser em torno de 9 minutos, mas, a uma temperatura de 210°C. No forno solar, a Pizza demorou vinte e cinco minutos e o Nuggets demandou trinta e um minutos.

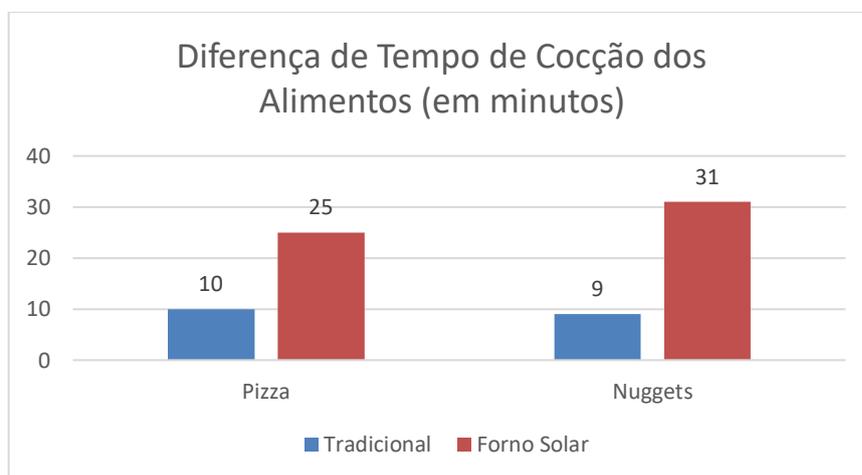
Tabela 4 – Dados coletados com carga

Horario	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da Placa absorvedora (°C)
12:05	87,5	121,1
12:10	86,4	116,7
12:15	85,6	114,5
12:20	84,0	113,2
12:25	83,8	112,4
12:30	83,5	112,1
12:36	85,4	114,1

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 31 mostra uma comparação entre as diferenças de tempo de cocção entre o forno tradicional e o forno solar fabricado. Estes resultados mostram que no forno fabricado o tempo de cozimento é bem superior cerca de três vezes maior quando comparado com o forno convencional a gás.

Figura 29 – Diferença Entre forno solar e convencional em relação ao tempo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As Figuras 32 e 33 ilustram o resultado da cocção dos dois alimentos, ou seja, da Pizza e do Nuggets, respectivamente.

Figura 30 – Pizza após ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 31 – Nuggets após ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor

Os produtos usados na fabricação e seu respectivo preço, estão descritos na Tabela 5, alguns desses materiais foram doados assim diminuindo o valor total do forno.

Tabela 5 – Custo dos materiais (Reais)

MATERIAIS	PREÇO (R\$)
Duas Gaveta	Doado pelo LMHES
Placa de metal	Retirado de um gabinete doado
Vidro	Doado pelo LMHES
Resina	Doado pelo LMHES
Palito de Churrasco pacote com 50	3,99
Cola branca 90g	3,60
Placas de EPS (ISOPOR) 30mmm	13,10
Tinta Preto Fosco	36,00
Tinta Vermelha 4x37ml	12,8
Pincel	1,80
Rebites C/50	6,50
Lixa d'água 320, 2 unidades	3,0
TOTAL	80,79

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5 mostra que para se construir um forno solar com materiais recicláveis acaba se tornando viável, pois o valor final é relativamente baixo quando comparados com um forno convencional que tem os preços dos fogões relativamente alto e o gasto com o botijão de gás de cozinha, além de ter uma alta durabilidade, fácil manutenção, que por muitas vezes se dá somente pela revitalização da pintura do forno. O gasto foi de aproximadamente R\$80,00 e lembrando que muito desses materiais foram doados e muito deles não foram totalmente utilizados.

Quanto as dimensões do forno foram as seguintes:

- Interna
 - Largura = 32,5 cm;
 - Comprimento = 78 cm;
 - Altura = 8,5 cm;
 - Volume = 0,02 m³ = 20 litros
- Externa
 - Largura = 38 cm;
 - Comprimento = 82 cm;
 - Altura = 12 cm;
 - Volume = 0,4 m³ = 40 litros

Quanto as dimensões do vidro:

- Comprimento = 80 cm
- Largura= 35,5 cm
- Área = $2840 \text{ cm}^2 \cong 0,284 \text{ m}^2$

Quando analisamos o peso, ele acaba se tornando leve, pesando aproximadamente 8 kg, isso tudo sem contar a estrutura com a superfície refletora, a base foi emprestada para o ensaio. Já o transporte acaba sendo facilitado devido ao peso ser distribuído ao longo do comprimento de 82 cm e que por ser feito de gaveta, que em cada ponta tem uma alça que facilita a pegada e o manuseio do forno.

5 Conclusões

Os objetivos desse trabalho, como mencionado, era propor a construção de um forno solar do tipo caixa de baixo custo, que fosse de fácil transporte e montagem, e demonstrar a sua viabilidade de utilização para cozimento de alimentos.

A seguir, buscando sempre ser coerentes com os objetivos propostos, vem expor as conclusões de caráter geral que vem respaldar os resultados nos dados obtidos nos ensaios realizados com o protótipo em estudo.

- O tempo de cozimento dos alimentos no forno foram superiores quando comparados com um forno convencional, como já era esperado, foi aproximadamente de 2 a 3 vezes maior, tempo esse que pode sofrer por influencias do meio externo, como por exemplo o clima.
- O forno foi eficiente no período das 10:00 às 14:00 horas, sempre considerando as condições solarimétricas favoráveis.
- Os materiais usados na fabricação, devido alguns desses terem sido doados, fez com que o preço na fabricação fosse menor, e o preço total gasto, que foi em torno de R\$ 80,00, quando comparado com um forno convencional foi relativamente baixo.
- Operacionalidade simples, bem como os processos de fabricação e montagem, podendo ser repassados para comunidades de baixa renda.
- Analisando os resultados, pode-se afirmar ainda que o forno solar fabricado pode ser uma alternativa viável para o cozimento de alguns alimentos, no experimento foram utilizados uma Pizza média de 460g e um pacote de Nuggets de 300g, podendo também ser usados para a cocção de outros alimentos.
- Com a utilização do forno em comunidades carentes, ele pode contribuir na renda, com a venda de bolos e outros alimentos.

6 Referências

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em 25 de nov. 2018.

BEYER, H. G., PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L., COLLE, S., PEREZ, R., SCHILLINGS, C., MANNSTEIN, H., MEYER, R.. Assessing satellite derived irradiance information for South America within the UNEP resource assessment project SWERA. Proceedings of 5th ISES European Solar Conference in Freiburg, Germany, September, 2004.

CICLOVIVO, Redação. **Forno Solar ganha tecnologia e é comercializado em grande escala**. Disponível em: <<https://www.automatichouse.com.br/imprensa/forno-solar-ganha-tecnologia-e-e-comercializado-em-grande-escala/20110428-140913-x880>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

CRESESB. **Associação Brasileira de Energia Solar**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=guia_cresesb&limit=15&orderby=&page=2&filter%5B%5D=&cid=261>. Acesso em: 02 dez. 2018.

Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (1991) Solar Engineering of Thermal Processes. Wiley, Hoboken.

ECYCLE. **O que é energia renovável**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/5031-energia-renovavel>>. Acesso em: 29 out. 2018.

ENERGIA, **Ministério de Minas e Energia no Mundo**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+-+Energia+no+Mundo+-+Matrizes+e+Indicadores+2017+-+anos+ref.+2015+-+16+%28PDF%29/60755215-705a-4e76-94ee-b27def639806;jsessionid=23A29A5505323A1DD0ED0E7D02E956E2.srv155>>. Acesso em: 29 out. 2018.

FAO Wood Energy. Promoting Sustainable Energy Systems. Forest Products Division. Rome, October, 2003.

FERRARO, Nicolau Gilberto. **Aplicações dos espelhos esféricos**. Disponível em: <<http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2010/06/forno-solar.html>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

FOGAOSOLAR. **TIPOS DE FOGÕES SOLARES**. Disponível em: <http://www.fogaosolar.net/Tipos_fogoes.html>. Acesso em: 19 dez. 2018.

GONÇALVES, Josi. **Pesquisadores brasileiros fabricam fogão solar para substituir botijão de gás**. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-44605281>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2018.

JONH, E. N. V. **Tecnologia de Energia Eólica**. Natal, 2015. (Apostila).

MAGALHÃES, Lana. **Ciclo da Água**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/ciclo-da-agua/>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

PORTALSOLAR. **O Que É Energia Solar?** Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar-.html>>. Acesso em: 01 nov. 2018.

RENOVASOL, **O Sol - fonte de energia**. Disponível em: <<http://www.renovasolenergia.com.br/o-sol-fonte-da-energia/>>. Acesso em: 29 out. 2018.

SINDIGÁS, Cartilha Faq. **GLP e o Meio Ambiente**. Disponível em: <https://www.liquigas.com.br/wps/portal!/ut/p/z1/hY5BC4JAFIR_SweP7XttlINVNkpKMKA9p7yla2yrorqxbUr--hY4Vzm1mvoEBggxIFY9aFrbWqmicv5CfxwfkPNpyxHDDkSfJcXmKwtk69uEMBNRbSMdAcjX-UYBuT2PIDkg2uvy8CIQ5X0ggI27CCMPuxsWVtV2_8tDDYRiY1Fo2gl11y0rj4a9Vpd317AuGrlXPqXrtRRpM3qldb6Q!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/>. Acesso em: 02 dez. 2018.

SOL, América do. **Potencial solar no Brasil.** Disponível em: <<http://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 28 nov. 2018.

SOLAR, Boreal. **Potencial de energia solar: Quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar.** Disponível em: <<http://borealsolar.com.br/blog/2016/10/26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

VIANELLO, R. L., ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** S. L.: Editora UFV. 2013. 448 p.

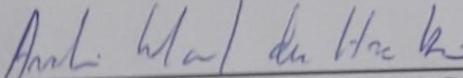
WELLE, Deutsche. **França inaugura primeira estrada solar do mundo.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/franca-inaugura-primeira-estrada-solar-do-mundo.ghtml>>. Acesso em: 02 dez. 2018.



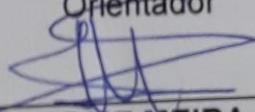
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Natal, 14 de dezembro de 2018.

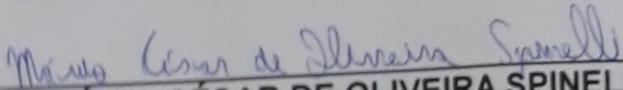
Ao(s) **quatorze** dia(s) do mês de **dezembro** do ano de **dois mil e dezoito**, às **dezessais** horas, no **Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar - Núcleo de Tecnologia Industrial**, neste Campus Universitário, instalou-se a banca examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso do(a) aluno(a) **UYATAN RODRIGO DE LUCENA FREITAS SOUZA**, matrícula **2016008433**, do curso de Engenharia Mecânica. A banca examinadora foi composta pelos seguintes membros: **AVELINO MANUEL DA SILVA DIAS**, orientador; **LUIZ GUILHERME MEIRA DE SOUZA**, examinador interno; **MÁRIO CÉSAR DE OLIVEIRA SPINELLI**, examinador externo. Deu-se início à abertura dos trabalhos pelo **AVELINO MANUEL DA SILVA DIAS**, que após apresentar os membros da banca examinadora, solicitou a (o) candidato (a) que iniciasse a apresentação do trabalho de conclusão de curso, intitulado **“ESTUDO DE UM FORNO SOLAR DO TIPO CAIXA FABRICADO COM MATERIAIS ALTERNATIVOS”**, marcando um tempo de trinta minutos para a apresentação. Concluída a exposição, **AVELINO MANUEL DA SILVA DIAS**, orientador, passou a palavra aos examinadores para arguirem o(a) candidato(a); após o que fez suas considerações sobre o trabalho em julgamento; tendo sido Aprovado, o(a) candidato(a), conforme as normas vigentes na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A versão final do trabalho deverá ser entregue à Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica, no prazo de 07 dias; contendo as modificações sugeridas pela banca examinadora e constante na folha de correção anexa. Conforme o que rege o Projeto Político Pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica da UFRN, o(a) candidato(a) não será o aprovado(a) se não cumprir as exigências acima.



AVELINO MANUEL DA SILVA DIAS
Orientador



LUIZ GUILHERME MEIRA DE SOUZA
Examinador interno



MÁRIO CÉSAR DE OLIVEIRA SPINELLI
Examinador externo