



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

ESTUDO DE UM FORNO SOLAR FABRICADO COM GABINETES DE COMPUTADOR EM DESUSO

MATEUS DA SILVA CHIANCA
NATAL – RN, 2019



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

ESTUDO DE UM FORNO SOLAR FABRICADO COM GABINETES DE COMPUTADOR EM DESUSO

MATEUS DA SILVA CHIANCA

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. Luiz Guilherme Meira de Souza.

NATAL – RN

2019



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

ESTUDO DE UM FORNO SOLAR FABRICADO COM GABINETES DE COMPUTADOR EM DESUSO

MATEUS DA SILVA CHIANCA

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza _____

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Orientador.

Me. Mario César de Oliveira Spinelli _____

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Avaliador Externo.

Me. Salomão Savio Batista _____

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Avaliador Externo.

NATAL, 19 de junho de 2019.

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiramente a Deus. A meu pai Francisco Assis Chianca Filho e a minha mãe Maria do Rosária da Silva Chianca, que estiveram sempre presentes em todos os momentos da minha vida. Esta pequena conquista é apenas a primeira de muitas que iremos conquistar juntos.

Agradecimentos

Eu agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter iluminado meu caminho e me protegido durante toda a jornada de universitário.

Aos meus pais que me apoiaram em todos os momentos e não mediram esforço para que essa conquista acontecesse.

A meu amigo e orientador o Prof. Dr. Luiz Guilherme Meira de Souza, por seus ensinamentos, por sua criatividade, pela sua ajuda e incentivo durante todo o processo de realização desse trabalho.

A todos que fazem parte do Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar – LMHES que contribuíram direta ou indiretamente do desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de curso que estiveram ao meu lado durante todo esse processo de formação acadêmica.

A banca examinadora, pela avaliação e orientações que foram de suma importância para a finalização deste trabalho.

CHIANCA, M. S. **Estudo de um forno solar fabricado com gabinetes de computador em desuso**. 2019. 95p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

Resumo

O presente trabalho apresenta um forno solar alternativo do tipo caixa, fabricado com duas CPUs HP COMPAQ ELITE 8000 em desuso e materiais de baixo custo. Com isso, faz-se a reciclagem das CPUs e torna-se uma alternativa para famílias de baixa renda. O forno foi empregado para assar alimentos que normalmente são feitos em fornos a gás ou elétricos. O forno apresenta como principais características o baixo custo e simples processo de fabricação, montagem e operação. O objetivo principal para fabricação desse tipo de forno foi o reaproveitamento de materiais que poluem o meio ambiente e a viabilização de um equipamento a base de energia limpa e renovável para famílias de baixa renda. Serão apresentados os resultados dos ensaios do assamento dos alimentos que confirmam a viabilidade térmica do forno solar proposto. O protótipo do forno solar apresentou uma boa capacidade para assar alimentos, simultaneamente, mas seus tempos de assamento foram superiores ao do forno a gás convencional. Como exemplos desses tempos tem-se: 30 minutos para assar duas pizzas com 460g cada, 300g de nuggets em 35 min, 200g de linguiça calabresa em 90 min, 700g de brownie em 107 min e bolos dois bolos de 700g cada, em 80 min.

Palavras chaves: Forno solar, CPUs, baixo custo, assar, meio ambiente.

CHIANCA, M. S. **Study of a solar oven manufactured with disused computer cabinets.** 2019. 95p. Conclusion work project (Graduate in Mechanical Engineering) – Federal University of Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

Abstract

The present work presents an alternative solar furnace of the type box, manufactured with two HP COMPAQ ELITE 8000 CPUs in disuse and materials of low cost. With this, the CPUs are recycled, and it becomes an alternative for low-income families. The oven was used to bake foods that are made in gas or electric ovens. The furnace presents the main features of low cost and manufacturing process, assembly and operation. The main purpose for the manufacture of this type of furnace was the reuse of materials that pollute the environment and the viabilization of equipment based on clean and renewable energy for low income families. The results of the food baking tests confirming the thermal viability of the proposed solar furnace will be presented. The prototype of the solar furnace presented a good ability to bake food simultaneously, but its baking times were superior to that of the conventional gas oven. As examples of these times we have: 30 minutes to bake two pizzas with 460g each, 300g of nuggets in 35 min, 200g of calabrian sausage in 90 min, 700g of brownie in 107 min and cakes two cakes of 700g each in 80 min.

Keywords: Solar oven, CPUs, low cost, baking, environment.

Lista de Ilustrações

Figura 1 – Radiação solar e suas componentes.	7
Figura 2 – Principais processos que influênciam a radiação solar.	8
Figura 3 – Radiação global diária no Brasil – Média anual (MJ/m ² dia).	10
Figura 4 – Radiação solar global diária Brasileira (Wh/m ² dia).	11
Figura 5 – Mapa da distribuição diária de energia solar no mundo.	12
Figura 6 – Evolução da capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo.	13
Figura 7 – Caixa solar construída por Horace de Saussure.	15
Figura 8 – Esquema de fogão solar concentrador.	16
Figura 9 – Fogão solar do tipo concentrador elaborado por Lion.	17
Figura 10 – Fogão solar concentrador construído a partir de antena parabólica.	17
Figura 11 – Fogão solar com concentrador parabólico.	17
Figura 12 – Desenho forno solar tipo Olla.	18
Figura 13 – Forno solar tipo Olla.	18
Figura 14 – Fogão solar tipo painel.	19
Figura 15 – Forno solar fabricado com caixas de papelão.	20
Figura 16 – Forno solar fabricado com MDF.	20
Figura 17 – Esquema de funcionamento de um forno solar do tipo caixa.	21
Figura 18 – Forno solar construído com pneus de automóvel em desuso.	21
Figura 19 – Forno solar fabricado com um fogão a gás em desuso.	21
Figura 20 – Placas de EPS.	23
Figura 21 – Efeito estufa gerado no forno solar tipo caixa.	24
Figura 22 – Orientação do vidro no forno solar tipo caixa.	25

Figura 23 – Esquema de refletores para fornos solares.....	25
Figura 24 – Calor transferido por condução através da panela para o cabo.....	26
Figura 25 – Ar aquecido que escapa do forno pelas frestas através da convecção..	27
Figura 26 – Calor irradiado através do forno aquecido.	27
Figura 27 – Gabinete HP ELITE 8000 SFF.	29
Figura 28 – Chapas metálicas removidas de outro computador.	31
Figura 29 – Chapas furadas.....	31
Figura 30 – Furação dos gabinetes.....	32
Figura 31 – Junção lateral dos gabinetes.....	32
Figura 32 – Interior dos gabinetes unidos.	32
Figura 33 – Vista lateral da junção dos dois gabinetes.	33
Figura 34 – Tampa superior da CPU cortada e furada.....	33
Figura 35 – CPU com uma das laterais tampada e rebitada com a chapa.	34
Figura 36 – Pintura interna do forno com a tinta preto fosco.....	34
Figura 37 – Placas de Isopor® em toda a superfície externa do forno.....	35
Figura 38 – Pintura interna e externa do forno finalizada.....	36
Figura 39 – Tampa de vidro sobre o forno solar.....	37
Figura 40 – Gráfico Temperatura X Tempo ensaio sem carga.	45
Figura 41 – Faces do forno solar.....	46
Figura 42 – Tempo de ensaio X Temperatura.....	48
Figura 43 – Ensaio do forno solar com carga.....	49
Figura 44 – Pizzas assadas no forno solar.	49
Figura 45 – Vista superior (A) e fundo (B) da pizza assada no forno solar.	50

Figura 46 – Nuggets assados no forno solar.....	50
Figura 47 – Processo de cozimento do brownie e da linguiça calabresa.	51
Figura 48 – Linguiça calabresa assada.....	52
Figura 49 – Brownie assando dentro do forno solar.....	53
Figura 50 – Processo de assamento dos bolos de chocolate.	54
Figura 51 – Bolos de chocolate assados no forno solar.....	55
Figura 52 – Processo de assamento das pizzas Seara.	57
Figura 53 – Pizzas assadas no forno solar.	58
Figura 54 – Tempos de assamento do forno a Gás x Forno Solar (em minutos).	59
Figura 55 – Vidro do forno embaçado durante o assamento das pizzas.....	60

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Principais propriedades do EPS.....	23
Tabela 2 – Lista de Materiais.	29
Tabela 3 – Dimensões do forno solar.....	30
Tabela 4 – Dimensões do espelho refletor.....	30
Tabela 5 – Lista de ferramentas.....	30
Tabela 6 – Medições do forno sem carga no dia 10 de agosto de 2018.	45
Tabela 7 – Temperaturas externas do ensaio sem carga, dia 24.05.2019.....	46
Tabela 8 – Temperaturas das laterais internas às 10h30.	47
Tabela 9 – Temperaturas internas e radiações do forno no ensaio sem carga.....	47
Tabela 10 – Dados do assamento das pizzas.....	50
Tabela 11 – Dados do assamento dos nuggets no forno solar.	51
Tabela 12 – Dados de assamento da linguiça calabresa no forno solar.	52
Tabela 13 – Dados de assamento do brownie de chocolate no forno solar.	53
Tabela 14 – Dados de assamento dos bolos.	55
Tabela 15 – Temperaturas internas e radiações durante o assamento dos bolos. .	56
Tabela 16 – Temperaturas das superfícies às 12h05.	56
Tabela 17 – Dados de assamento das pizzas.....	58
Tabela 18 – Temperaturas durante o ensaio com as pizzas.....	58
Tabela 19 – Temperaturas das superfícies externas às 12h55.....	59
Tabela 20 – Taxa de energia térmica perdida pelo perímetro do forno solar.	62
Tabela 21 – Temperaturas e áreas externa do vidro e do fundo do forno.....	62
Tabela 22 – Balanço térmico e eficiência do forno solar em estudo, sem carga.....	65

Tabela 23 – Aporte energético e eficiência do forno, com carga – Bolos.....	65
Tabela 24 – Aporte energético e eficiência do forno, com carga – Pizzas.	65
Tabela 25 – Custos em reais para a fabricação do forno.....	66

Sumário

Dedicatória	i
Agradecimentos.....	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Lista de Ilustrações.....	v
Lista de Tabelas	viii
Sumário	x
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivo Geral.....	4
1.1.2 Objetivos Específicos	4
2 Revisão Bibliográfica	5
2.1 Energia Solar	5
2.2 Características da Energia Solar.....	6
2.3 Potencial da energia solar no Brasil e no mundo.....	8
2.3.1 Potencial no Brasil	8
2.3.2 Potencial no mundo.....	11
2.4 Processos de aproveitamento dos raios solares.....	13
2.4.1 Energia solar ativa – fototérmica	13
2.4.2 Energia solar ativa – fotovoltaica.....	14
2.4.3 Energia solar passiva – bioclimática.....	14
2.5 Tipos de fornos e fogões solares no mundo	14
2.5.1 Fogão concentrador	15
2.5.2 Forno tipo Olla.....	18
2.5.3 Fogão de painel.....	18
2.5.4 Forno tipo caixa.....	19

2.6 Princípio de funcionamento e aquecimento do forno solar tipo caixa	.22
2.6.1 Armazenamento de calor.....	22
2.6.2 Ganho de calor	23
2.6.3 Transferência ou perda de calor.....	26
3 Materiais e Métodos	28
3.1 Projeto para concepção do forno solar tipo caixa	28
3.1.1 Materiais.....	28
3.1.2 Dimensões do forno	29
3.1.3 Presença e quantidade de refletores.....	30
3.2 Processos de fabricação e montagem do forno proposto	30
3.2.1 Ferramentas	30
3.2.2 Desmontagem dos gabinetes.....	31
3.2.3 Junção dos gabinetes.....	31
3.2.4 Tampas laterais do forno.....	33
3.2.5 Pintura da superfície absorvedora.....	34
3.2.6 Isolamento térmico	35
3.2.7 Pintura externa do forno	35
3.2.8 Aplicação do vidro	36
3.3 Balanço térmico do forno solar.....	37
3.3.1 Energia que entra no forno solar (E_{ef}).....	37
3.3.2 Energia perdida pelo forno (E_{pf}).....	38
3.3.3 Rendimento solar do forno (η_{forno}).....	42
4 Resultados e Discussões	43
4.1 Procedimento experimental.....	43
4.1.1 Equipamentos empregados durante o ensaio	43
4.1.2 Procedimentos preliminares do ensaio.....	43
4.1.3 Procedimentos operacionais do ensaio	44

4.2 Ensaio sem carga	44
4.2.1 Ensaio dia 10 de agosto de 2018	44
4.2.2 Ensaio dia 24 de maio de 2019	46
4.3 Ensaio com carga	48
4.3.1 Ensaio dia 10 de agosto de 2018	48
4.3.2 Ensaio dia 24 de maio de 2019	53
4.4 Resumo dos resultados dos ensaios com carga.....	59
4.5 Balanço energético do forno solar proposto.....	61
4.5.1 Energia absorvida pelo forno.....	61
4.5.2 Energia perdida pelo forno	61
4.5.3 Rendimento térmico do forno	64
4.6 Custos na construção do forno proposto	66
5 Conclusões.....	68
6 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	69
7 Referências	70

1 Introdução

Atualmente o planeta terra vem sendo afetado por vários problemas ambientais causados principalmente pela ação do homem. Essas ações contribuem para a poluição do ar, dos rios, lagos, oceanos e destruição das matas e florestas. Para que haja uma redução dos distúrbios ambientais faz-se necessário a diminuição da quantidade de lixo gerada pela humanidade, redução na utilização de combustíveis fósseis e da energia elétrica.

De acordo com LAYRARQUES (2000), o desenvolvimento sustentável possibilita o ecocapitalismo, que gera o aumento e o desenvolvimento de tecnologias limpas pelas empresas e pela população, fazendo com que haja a redução do lixo que é jogado na natureza, para isso emprega-se a coleta seletiva, a reciclagem do lixo e a reutilização da água. Segundo LEFF (1996) o ecocapitalismo surgiu como uma retificação dos problemas ambientais causados pelas empresas.

O MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2018) relata que a reciclagem é um conjunto de técnicas que visam o reaproveitamento do lixo. Já FONSECA (2013) diz que a reciclagem nada mais é que um método de transformação de um material já usado em um novo. Resumindo, a reciclagem transforma o lixo em uma nova matéria prima, que pode ser reutilizada no ciclo produtivo das fábricas ou no artesanato como novo produto.

De acordo com LOMASSO et al (2015) a reciclagem é uma alternativa vantajosa, tanto do ponto de vista social quanto ambiental. Sendo composta por vários processos que variam de acordo com o tipo de material. BRASIL e SANTOS (2004) destacam que a reciclagem faz com que haja a diminuição da utilização dos recursos naturais, da contaminação do solo, da poluição da água, do ar e dos alimentos. Além disso, existe a economia de energia elétrica, a restauração da qualidade de vida das pessoas, a criação de novos produtos e empregos.

Além da reciclagem, a energia limpa vem sendo alvo de vários estudos para sua utilização. Segundo GOMES (2009) o emprego das fontes renováveis é a melhor opção para a obtenção de energia, pois é uma solução ecologicamente correta que

não degrada o meio ambiente. PINTO (2013) define a energia limpa como uma energia oriunda de fontes naturais, que não agredem o meio ambiente.

Pode-se destacar como energias limpas, renováveis: energia eólica, biomassa, energia das marés e a energia solar. De acordo com BOENTE (2015), as principais vantagens das energias renováveis são: aumento na diversidade de oferta de energia, incremento na geração de empregos em diversos setores fazendo com que a economia prospere, preservação do meio ambiente, redução da poluição e diminuição da emissão dos gases de efeito estufa. Além disso, pesquisas recentes mostram que só existe petróleo suficiente para mais um século de consumo.

Segundo NASCIMENTO, MENDONÇA e CUNHA (2012) os combustíveis derivados de petróleo devem ser substituídos pelos de origem renovável, pois são encontrados em bastante abundância e não são poluentes. COMETA (2004) destaca que a busca pelas energias renováveis se deu basicamente devido à crise energética ou Guerra de Kippur, que ocorreu em 1973, fazendo com que os preços dos combustíveis fósseis aumentassem e inviabilizasse o seu uso.

De acordo com DIENSTMANN (2009) a energia solar é a energia obtida através dos raios solares, ou seja, é aquela que chega ao território terrestre como ondas eletromagnéticas, os fótons, de maneira direta ou difusa. Por esse motivo a energia solar é aplicada em diversas tecnologias que se encontram em constante evolução e por isso é a que mais se destaca. Logo, ela é empregada no aquecimento e destilação da água, na secagem e desidratação de alimentos e, em fornos solares. Por esses motivos é denominada de energia solar térmica. Outra forma da aplicação da energia solar é a fotovoltaica, que gera energia elétrica através dos raios solares.

Segundo o Observatório do Clima – OC (2016), 2/5 dos investimentos em energia renováveis em 2015 ocorreram em países emergentes como: Brasil, China, Índia e África do Sul. De acordo com a BLUESOL (2017) os EUA e a China vêm liderando a produção de energia solar no mundo, mas a Alemanha pretende suprir 100% do seu consumo energético, através das fontes renováveis, até o ano de 2050.

De acordo com BEZERRA (2001), o Brasil possui um amplo parque de geração de energia elétrica advindo das hidrelétricas, das termoelétricas, das eólicas e das biomassas. No entanto, o emprego da energia solar no Brasil pode ser uma

excelente opção para complementar a geração de energia elétrica, oriundas das hidrelétricas, reduzindo a utilização da água dos reservatórios, principalmente no período de escassez das chuvas na região nordeste do Brasil.

PEREIRA et al (2017) destaca que o local menos ensolarado do Brasil pode gerar diariamente 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m². REIS (2009) relata que a região nordeste apresenta um elevado potencial de geração de energia proveniente do sol, com um potencial médio de 600 W/m², podendo chegar a picos de 1000 W/m².

Desse modo, o nordeste brasileiro é classificado como uma região extremamente favorável para aplicação e utilização da energia advinda dos raios solares, ou seja, do sol. MELO (2008) afirma que atualmente existem várias maneiras para captação da energia solar, desde as mais simples até as mais elaboradas. As mais empregadas e conhecidas são as placas fotovoltaicas, os coletores solares, os secadores solares, os fogões solares e fornos solares.

O emprego da energia solar para assar alimentos é visto como uma das técnicas mais antigas da aplicação dessa fonte de energia e, possui uma grande função social, pois vem sendo bastante usada por famílias com baixo poder aquisitivo e que vivem em regiões assoladas pela seca. Por isso, LION (2007) destaca que famílias que residem na África utilizam fornos solares devido seu baixo custo.

O emprego dos fornos solares pode ser uma solução econômica e ambiental para amenizar a situação de vida da população de baixa renda, pois o uso do gás de cozinha é de alto custo. Além disso, algumas regiões do país existe a dificuldade de compra do gás, por serem áreas afastadas e de difícil acesso. O forno solar pode ser uma alternativa para assar os alimentos sem que se utilize a lenha, gás de cozinha ou até mesmo a energia elétrica, fazendo com que a utilização dos combustíveis não renováveis ficasse restritos a dias chuvosos, dias com pouca luz do sol e a noite.

A função do forno solar é assar alimentos utilizando os raios solares, que são transformados em energia térmica no interior do forno. De acordo com REZENDE (2015) e ULTANIR (1994) para se fabricar e usar um forno solar não é necessário possuir conhecimentos técnicos específicos. Já que os materiais empregados para sua construção são de baixo custo e de fácil acesso.

O presente trabalho apresenta um modelo de forno solar do tipo caixa, fabricado com sucatas de CPU e materiais de baixo custo, que se destina a assar alimentos. O forno proposto tem a capacidade de assar, por exemplo, dois bolos ou duas pizzas simultaneamente.

As principais características do forno solar proposto são: simples processo de fabricação, montagem e operação, além de seu baixo custo. Tais características são pré-requisitos para facilitar o repasse tecnológico de um protótipo solar.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Fabricar e avaliar a viabilidade de um forno solar do tipo caixa de baixo custo, fabricado com material reciclável, gabinetes de computador – CPU, para produzir o assamento de alimentos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Projetar e fabricar um forno solar com materiais recicláveis e de baixo custo, acessíveis à população de baixa renda, estimulando a reciclagem e a preservação do meio ambiente;

Descrever o passo a passo das etapas de construção e montagem do forno;

Testar o forno assando vários tipos de alimentos, comparando os tempos de assamentos obtidos nos fornos convencionais, a gás, com os do forno solar.

2 Revisão Bibliográfica

Para uma melhor compreensão do processo de fabricação e do funcionamento de um forno solar e a relevância que este possui faz-se necessária uma revisão bibliográfica que abrange diversos assuntos como: o que é de fato a energia solar, as características da energia solar, o potencial da energia solar no Brasil e no mundo, os processos de aproveitamento dos raios solares, os principais tipos de fornos e fogões solares no mundo e, o princípio de funcionamento e aquecimento de um forno solar do tipo caixa.

2.1 Energia Solar

A energia solar é considerada como toda energia oriunda da luz e da irradiação dos raios solares, sendo uma fonte inesgotável de energia, pois está sempre se renovando. De acordo com PINTO et al. (2015) a terra recebe do sol cerca de 1.410 W/m^2 de energia, isso devido ao movimento de translação que a terra possui, mas apenas 19% dessa energia é absorvida, pois os outros 35% é refletido pelas nuvens. Dessa forma, durante um ano a quantidade de energia que é absorvida pela atmosfera é de aproximadamente $3.850.000 \times 10^{18} \text{ W/m}^2$.

Essa energia solar pode ser empregada de forma sustentável em diversas áreas como o aquecimento solar (de ambientes, de alimentos, de água), energia solar fotovoltaica (é a energia elétrica que é gerada a partir da luz do sol) e a energia heliotérmica (é o acúmulo do calor advindo do sol que é transformado em energia mecânica e depois em elétrica).

Segundo BEZERRA (1998) a energia proveniente do sol pode ser considerada direta ou indiretamente responsável pelo nascimento das outras fontes de energia, como: eólica, biomassa, hidrelétricas e maremotriz. Pode estar relacionada também ao fenômeno da fotossíntese, ao crescimento dos seres vivos e combustíveis fósseis, que são processados através dos resíduos orgânicos que se encontram no subsolo. Essas são consideradas energias produzidas de forma indireta.

Já as de forma direta são aquelas que necessitam diretamente do sol, ou seja, da radiação solar com alto poder energético, para a produção de energia elétrica, produção de calor, aquecer alimentos e água, que pode ser conseguido através dos

coletores, fogões e fornos solares, que produzem energia limpa de baixo custo e baixo impacto ambiental. Para essas finalidades a radiação empregada é a denominada de global, segundo PINHO (2008).

REIS (2009) relata que a energia solar é a que possui maior potencial energético se comparada as outras energias alternativas. Sendo uma energia ecologicamente correta, já que não polui o meio ambiente, pode ser empregada por grandes empresas e por pessoas de baixa renda, como é o caso do forno solar.

2.2 Características da Energia Solar

Quando se faz uma comparação com as outras fontes de energias que estão disponíveis no mundo, a energia solar possui várias características que são bastante relevantes para seu emprego. Uma dessas características, se não a principal, é que a energia derivada dos raios solares não é poluente, além de ser encontrada de forma abundante na natureza. Além disso, é uma fonte de energia inesgotável, ou seja, nunca irá desaparecer.

Segundo SANTOS (2018) a superfície do sol que é chamada de fotosfera se encontra a uma temperatura de 5.800°C e que acima dessa camada existe a cromosfera que possui temperaturas que variam de 6.000°C a 20.000°C . Com isso, BEZERRA (1998) afirma que para uma temperatura de 5.500°C o sol erradia $6,41 \times 10^7 \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$, onde toda essa emissão radiante é obtida por meio dos fenômenos termonucleares da transformação de hidrogênio em hélio. Além disso, MARTINS (2004) relata que o sol se encontra a 151 milhões de quilômetros da terra e é por esse motivo que a população do planeta não recebe toda essa energia.

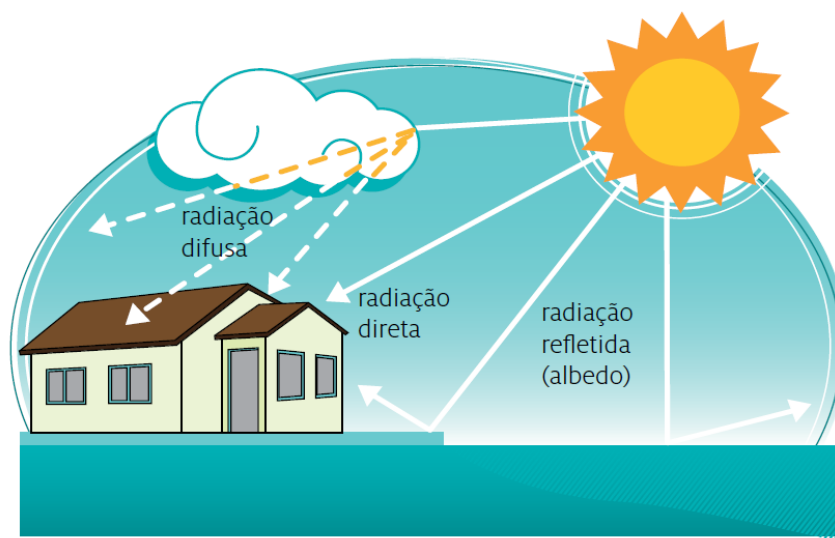
De acordo com a ELETROSUN (2018) a radiação solar é uma determinada quantidade de energia advinda do sol que recai em uma determinada superfície no decorrer de um determinado período, podendo ser medida em Wh, kWh, Wh/m^2 ou kWh/m^2 . Já QUERINO et al. (2006) diz que a radiação solar é toda radiação eletromagnética vinda do Sol que atinge a superfície da terra.

A radiação solar é composta basicamente de duas componentes: a radiação solar direta (E_{dir}) que é diretamente nativa do sol, que chega a superfície terrestre sem que haja qualquer mudança em sua direção e a radiação difusa (E_{dif}), inclui em

sua composição a radiação refletida pela superfície da terra, e chega a vista do observador pela difusão de partículas de pó e de moléculas de ar. A Figura 01 e a Eq. (1) demonstram a radiação solar global (E_G), que nada mais é que a soma da radiação difusa com a direta, que pode corresponder a uma irradiância na superfície terrestre de aproximadamente 1.000 W/m^2 em dias em que o céu se encontra limpo.

$$E_G = E_{dif} + E_{dir} \quad (1)$$

Figura 1 – Radiação solar e suas componentes.



Fonte: ELETROSUN (2018).

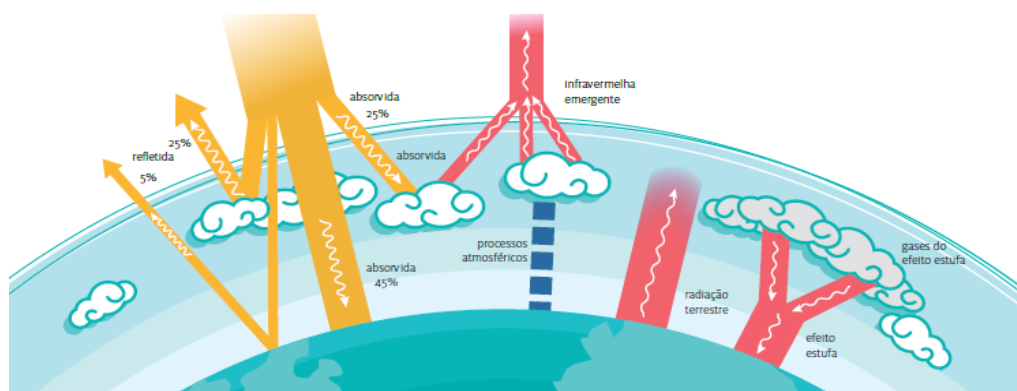
A radiação solar é diretamente afetada pelas condições atmosféricas que podem ser: a temperatura do meio, a pressão atmosférica, os ventos, as formações de nuvens ou nebulosidade, a umidade relativa do ar, as precipitações, etc. Além dessas condições a disponibilidade da radiação também pode depender do eixo do planeta terra e da sua trajetória elíptica, da latitude da região e do período do ano.

Quando se leva em consideração os componentes eletromagnéticos presentes na radiação solar, pode-se compreender que existe uma superposição dessas ondas e estas são divididas em três tipos, dessa maneira tem-se: 42% de luz visível, 55% de infravermelho e apenas 3% de ultravioleta. Já o comprimento de onda das radiações varia de $0,25\mu$ à 4μ , respectivamente segundo RAMOS (2009).

A atmosfera possui a propriedade de eliminar grande parte de sua energia solar, principalmente na faixa ultravioleta e de infravermelho. Ao transpor a atmosfera a radiação solar passa por processos físicos de absorção e reflexão. Segundo a

ELETROSUN (2018) as nuvens, os gases e as partículas atmosféricas refletem aproximadamente 25% e absorvem 25% da radiação que a recai. Já os 50% restante chega a superfície terrestre de duas formas, sendo 45% absorvido em uma minúscula porção e os 5% refletida. Lembrando que o fenômeno que ocorre na atmosfera também ocorre na superfície do planeta. Na Figura 02 é possível observar os principais processos de influência a radiação solar e da radiação térmica que ocorre na atmosfera e na terra.

Figura 2 – Principais processos que influencia a radiação solar.



Fonte: ELETROSUN (2018).

2.3 Potencial da energia solar no Brasil e no mundo

O sol é uma fonte de energia inesgotável que proporciona um grande potencial solar para o planeta terra. Segundo a CEPEL (2006), a quantidade de energia que o sol proporciona para a terra é de aproximadamente $1,5 \times 10^{18}$ kWh, mas só uma pequena parte dessa energia é utilizada. Segundo METEONORM (1999) a radiação global média aproveitada da energia solar no mundo é de 1.367 kWh.

2.3.1 Potencial no Brasil

O Brasil é um país da América do Sul com aproximadamente 8.514.876 km² de extensão. É considerado um país tropical, e por isso recebe uma grande quantidade de raios solares durante todo o ano, segundo o MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÕES (2018). Por esse motivo, é um país que apresenta um enorme potencial de geração de energia elétrica e de aproveitamento da energia solar, para diversos projetos e áreas, além da elétrica. Segundo SILVA (2018) a irradiação solar que o Brasil possui é superior à de países

como Alemanha, França e Espanha que possuem um amplo aproveitamento da energia solar.

O Brasil apresenta elevados níveis de irradiação solar, mais ainda aproveita pouco essa irradiação para a geração de energia elétrica ou alternativas como é o caso dos fornos solares. LION (2007) afirma que o Brasil já possui estudos nessa área e que analisa a eficácia de pequenos módulos solares em regiões remotas, fazendo um mapeamento do potencial solar dessa região, o que facilitará a implementação dessa tecnologia em todo o Brasil.

No Brasil a geração de energia é basicamente através das hidrelétricas, que é de certa forma uma energia renovável, mas segundo a EPE (2016) será necessário o uso de mais fontes renováveis como a solar, a eólica e a biomassa. Aumentando o uso das energias limpas em aproximadamente 23% até 2030, e com isso, ocorrerá a diminuição do emprego dos combustíveis fósseis.

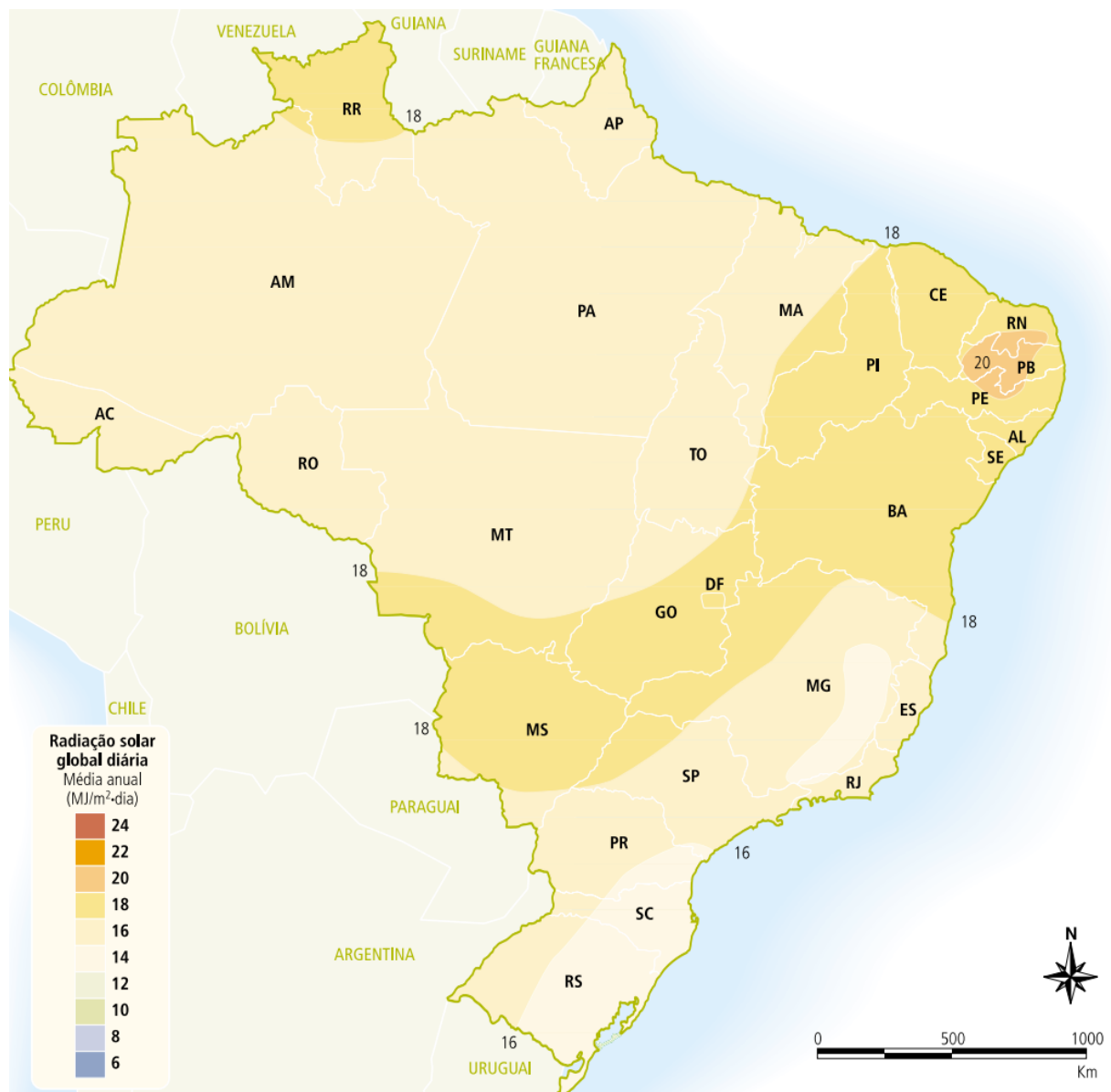
De acordo com a MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2016), o Brasil possuía 81 MW de energia solar fotovoltaica instalada, em dezembro de 2016. Já em junho de 2018 essa capacidade era de 1601 MW, segundo a MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2018). Com isso, é importante ressaltar que a capacidade de geração de energia elétrica através do sol não coloca o Brasil entre os vinte líderes mundiais, já que estes países possuem uma capacidade de produção instalada superior a 1 GWh. RAMOS FILHO (2011) relata que o emprego da captação da irradiação solar para a geração de energia elétrica ainda não é tão difundido devido aos altos custos de implantação dessa tecnologia.

Segundo QUEIROZ (2005) e MELO (2008), o Brasil é um país tropical que é favorecido pela sua posição geográfica com um elevado potencial para a captação da irradiação solar, o equivalente a $1,13 \times 10^{10}$ GWh em quase todo o ano, como por exemplo no Nordeste, portanto, o emprego de equipamentos e tecnologias para essa captação são bastante eficientes.

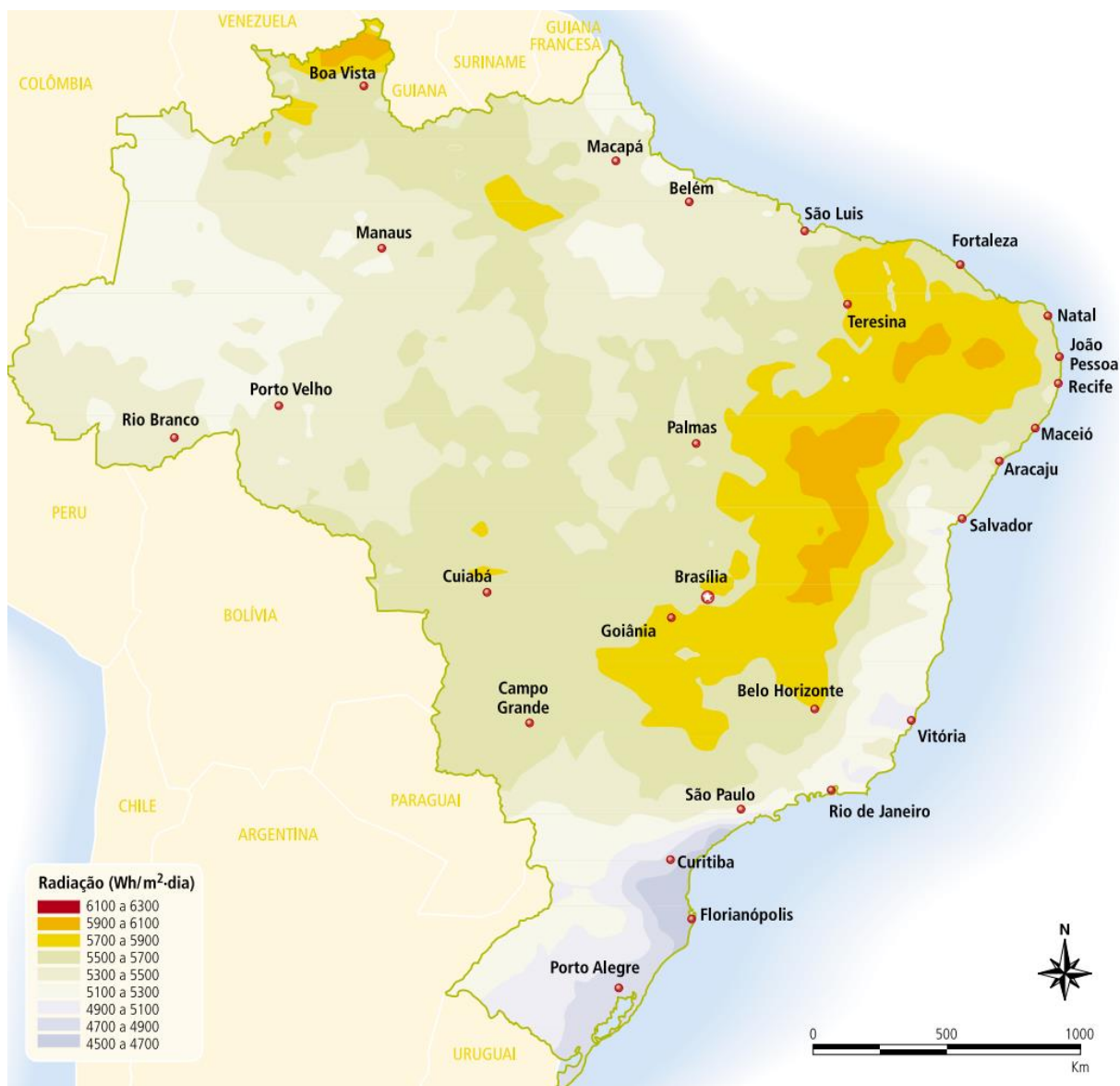
É possível observar nas Figuras 03 e 04 o potencial solar do Brasil, onde os maiores índices de radiação se encontram na região Nordeste, principalmente no Vale do São Francisco. O Rio Grande do Norte, que também faz parte da região nordeste, é um dos três estados do Brasil com maior incidência de raios solares, apresentando

um potencial de radiação solar que gira em torno de 800 W/m², segundo SOUZA FILHO (2008) e MENDES (2012).

Figura 3 – Radiação global diária no Brasil – Média anual (MJ/m² dia).



Fonte: ANEEL (2005) adaptado de TIBA (2000).

Figura 4 – Radiação solar global diária Brasileira (Wh/m² dia).

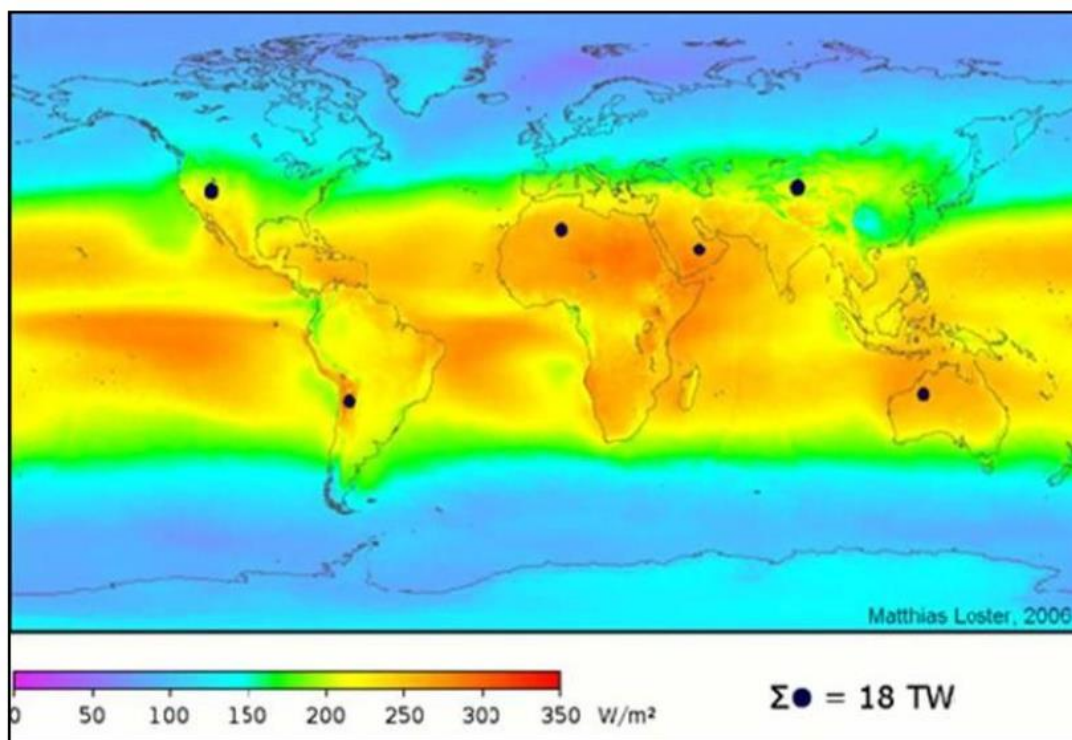
Fonte: ANEEL (2005) adaptado de COLLE (1998).

2.3.2 Potencial no mundo

É importante destacar que nos países de clima predominantemente tropical há uma incidência de grandes quantidades de radiação solar, ou seja, apresentam mais dias com sol, que em países de climas temperados e subtropicais, isso ocorre principalmente devido sua posição geográfica. Por isso, esses países apresentam um elevado potencial para implementação de equipamentos de captação dos raios solares. É possível observar na Figura 05 o mapa mundial da distribuição diária da energia solar inserida no planeta terra, em W/m², onde os pontos pretos representam

as áreas que podem suprir toda a demanda de energia do planeta terra utilizando apenas a energia solar.

Figura 5 – Mapa da distribuição diária de energia solar no mundo.

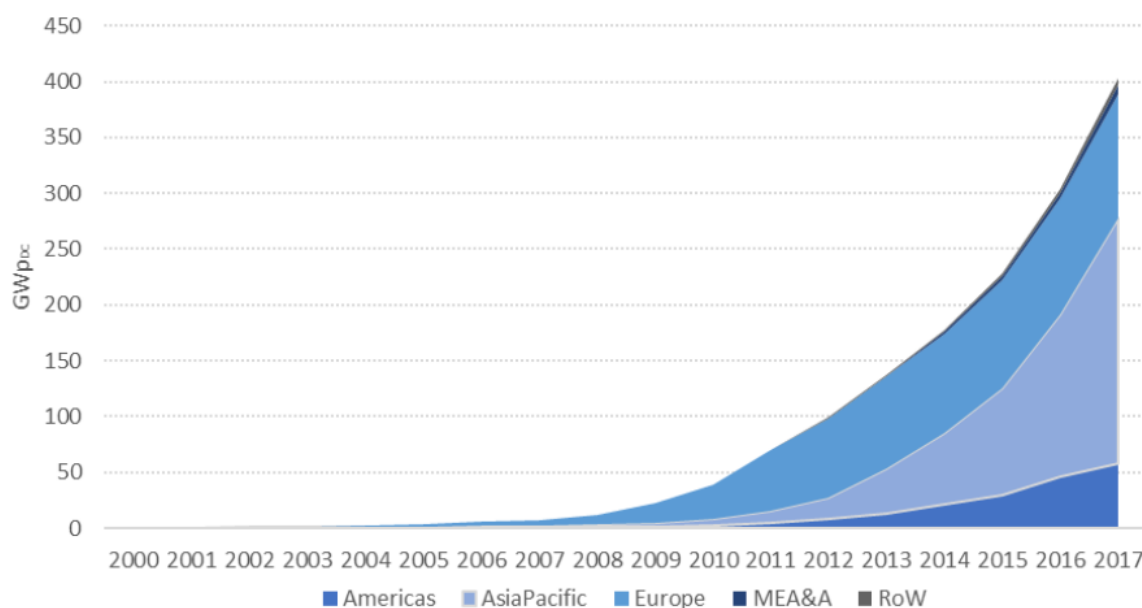


Fonte: CASTRO (2012) adaptado de ALONSO (2009).

Segundo MORELLI (2012), atualmente o emprego das energias renováveis no mundo é relativamente baixo, cerca de 13%, pois os outros 87% são de energias não renováveis. Mas o mercado mundial, que emprega o sol para a geração de energia, vem crescendo de forma exponencial nos últimos anos. De acordo com o IEA (2016), em 2015 a capacidade total instalada dessa tecnologia era por volta de 227 GW_{pDC} (p_{DC} – Quantidade de energia em corrente contínua).

A evolução da capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo pode ser observada no gráfico da Figura 06.

Figura 6 – Evolução da capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo.



Fonte: IEA (2018).

Observado o gráfico da Figura 06 é possível perceber que a capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo começou a crescer a partir dos anos 2000 e, em 2017 já era cerca de 402,5 GW_{pDC}.

2.4 Processos de aproveitamento dos raios solares

Desde o início dos tempos o homem vem utilizando o sol para as suas atividades do dia a dia, como: para conservar alimentos, secar café e frutas, couro de animal, entre outros. Já nos dias de hoje o sol vem sendo fonte de pesquisa de novas tecnologias, ou seja, de fontes renováveis que possam ser empregadas para geração de energia elétrica, aquecimento de água e cocção de alimentos. Assim sendo, a energia solar pode ser classificada em ativa e passiva. Onde a ativa é subdividida em fototérmica e fotovoltaica e a passiva em bioclimática.

2.4.1 Energia solar ativa – fototérmica

A energia solar fototérmica é aquela que está diretamente ligada com a quantidade de energia que um corpo é capaz de absorver na forma de calor, quando este recebe a radiação dos raios solares. Por isso, faz-se necessário utilizar um equipamento ou técnica para captar e armazenar essa forma de energia. Segundo a AMBIENTE BRASIL (2018), para aquecer fluidos, como a água, pode ser usado

concentradores ou coletores solares. Esses coletores são empregados principalmente em residências pessoais, em clubes, em hospitais, em hotéis, etc.

2.4.2 Energia solar ativa – fotovoltaica

A energia elétrica adquirida por meio dos sistemas fotovoltaicos foi anunciada em 1839 por Edmond Becquerel. Segundo GREEN et al. (2000) os sistemas fotovoltaicos geram energia elétrica através da transformação de radiação solar. Isso ocorre em uma célula fotovoltaica constituída basicamente de silício amorfo.

Segundo a NEOSOLAR (2018) os sistemas fotoelétricos estão divididos em dois grupos: os sistemas isolados e os que são conectados à rede. Os sistemas isolados são empregados em localidades remotas onde a implantação da rede elétrica é de difícil acesso ou o custo de implantação da mesma é alto. Esses sistemas utilizam placas constituídas basicamente de células fotoelétricas que captam a radiação solar e armazenam a energia elétrica gerada em baterias. Enquanto isso, os sistemas conectados diretamente a rede são empregados para complementar a energia elétrica oriunda da rede, não necessitando de baterias para armazenar a energia gerada. No entanto, no Brasil os sistemas fotovoltaicos ainda possuem um custo elevado.

2.4.3 Energia solar passiva – bioclimática

Segundo a ECOEFICIENTES (2018), os sistemas solares passivos bioclimáticos são aqueles que tem como função principal captar e acumular o calor advindo da energia solar. A radiação solar nesse tipo de sistema é inserida de forma direta, e por isso, não necessita de nenhum dispositivo ou tecnologia para recircular o calor. Esse tipo de sistema é simples, pois necessita apenas de vidros para que a radiação solar entre no meio, mas esse mesmo vidro tem função de impedir que o calor saia. É bastante empregada em equipamentos solares como: coletores, secadores, destiladores, fogões e fornos.

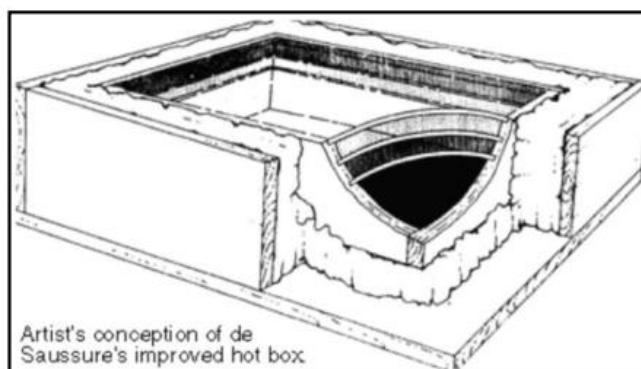
2.5 Tipos de fornos e fogões solares no mundo

Não é de hoje que se utiliza a energia solar para facilitar a vida das pessoas. Segundo LINCOLINS (2019) a energia solar foi aplicada inicialmente por Arquimedes de Siracusa na guerra que aconteceu entre gregos e romanos na antiguidade. O engenheiro Arquimedes teria construído um “lazer” que utilizava os raios solares para

incinerar os navios dos inimigos. Ele usou basicamente espelhos parabólicos que direcionavam a radiação dos raios solares para queimar as velas dos navios romanos.

No que diz respeito a cocção de alimentos, a radiação solar só começou a ser utilizada a partir de 1767 pelo franco-suíço Horace de Saussure. Horace projetou uma pequena caixa solar, Figura 07, empregada para cozinhar frutas. Segundo RAMOS FILHO (2011) esse tipo de forno atingia temperaturas de aproximadamente 88°C.

Figura 7 – Caixa solar construída por Horace de Saussure.



Fonte: SOLARCOOKING (2018).

Atualmente, são estudados e fabricados alguns tipos diferentes de fornos e fogões solares. Estes aparelhos transformam a radiação solar em calor para assar os alimentos e são classificados basicamente em quatro tipos, que são: fogão concentrador, forno tipo olla, fogão de painel e forno tipo caixa.

2.5.1 Fogão concentrador

Segundo RAMOS (2011) o fogão solar concentrador capta a radiação solar e ao mesmo tempo concentra essa radiação em um único ponto, região focal do fogão, nesse mesmo ponto é posicionada o absorvedor, ou seja, é o local onde será situada a panela que ficará responsável pela cocção dos alimentos colocados nela. É importante ressaltar que a área da superfície absorvedora é sempre menor que a área de captação da radiação solar.

Geralmente esse tipo de fogão solar possui refletores que podem ser de alumínio bem polido ou constituídos de espelhos. Estes têm por função facilitar que a radiação solar seja captada e conseqüentemente aumente a intensidade energética do absorvedor.

É possível observar na Figura 08 um esquema de funcionamento de um fogão solar concentrador.

Figura 8 – Esquema de fogão solar concentrador.



Fonte: MATEMÁTICA DA VIDA (2018).

Segundo SOUZA (2014) o fogão solar concentrador apresenta algumas características importantes, que são:

- Possui aquecimento rápido se comparado com outros tipos de fogões solares;
- Temperatura de aquecimento é de aproximadamente 800°C;
- A temperatura varia de acordo com o tamanho da parábola;
- Carece de luz solar direta durante todo o processo de cozimento do alimento;
- O fogão pode se desequilibrar através da ação do vento, devido a fragilidade da estrutura projetada;
- A cada 30 minutos deve-se ajustar o seu foco para seguir a trajetória do sol;
- O alimento tende a esfriar mais facilmente devido o ajuste do foco ou da presença de nebulosidade, que dificultam raios solares chegarem ao fogão;
- O usuário do forno pode sofrer queimaduras devido a radiação solar refletida pelos espelhos;
- O fogão deve se encontrar exposto diretamente ao sol durante todo o tempo de cozimento dos alimentos.

É possível observar alguns modelos de fogões concentradores nas Figuras 09, 10 e 11.

Esses tipos de fogões se diferenciam uns dos outros pelos materiais empregados em sua construção, ou seja, cada um teve um projeto diferente, mas com a mesma finalidade que era a cocção de alimentos utilizando os raios solares.

Figura 9 – Fogão solar do tipo concentrador elaborado por Lion.



Fonte: LION F (2007).

Figura 10 – Fogão solar concentrador construído a partir de antena parabólica.



Fonte: SOUZA (2008).

Figura 11 – Fogão solar com concentrador parabólico.



Fonte: CORIOLANO (2018).

2.5.2 Forno tipo Olla

O forno solar tipo Olla é considerado o mais simples dos fornos solares, pois ele não necessita de nenhum tipo de estrutura para sustenta-lo. Segundo RAMALHO et al. (2012) esse tipo de forno solar é constituído basicamente por uma panela interna de material escuro, de aço esmaltado, e de uma panela externa de material transparente, na maioria dos casos utiliza-se vidro transparente. Essa superfície transparente é responsável pelo efeito estufa que ocorre ao redor da panela escura.

De acordo com TEIXEIRA et al. (2007) a capacidade de cozimento do forno solar Olla é limitada pelas suas pequenas dimensões, comportando apenas uma panela por vez. Já os outros fornos solares, de dimensões maiores, comportam vários tipos de alimentos ao mesmo tempo. Outra desvantagem desse forno é o ajuste do foco, que é bastante difícil, sendo necessário várias regulagens durante o cozimento.

Este forno é bastante empregado para cocção de alimentos que não necessitem de uma grande quantidade de tempo de cozimento. Sua temperatura gira em torno de 146°C, mas isso depende principalmente de sua litragem, ou seja, de suas dimensões. É possível reparar o forno tipo Olla nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 – Desenho forno solar tipo Olla.



Fonte: SANTOS FILHO (2018).

Figura 13 – Forno solar tipo Olla.



Fonte: REZENDE (2015).

2.5.3 Fogão de painel

O fogão solar do tipo painel pode ser considerado como uma evolução do fogão tipo Olla, pois sua construção e montagem é simples, sendo constituído por uma panela escura, onde ocorrerá o assamento do alimento, e de outra panela

transparente. Emprega-se papelão, papel alumínio ou vidro para fazer os refletores desse forno.

O princípio de funcionamento desse forno baseia-se basicamente em colocar a panela transparente no centro da estrutura reflexiva e dentro dela a panela escura. Quando os raios solares incidem no painel reflexivo e conseqüentemente na panela transparente ocorre uma concentração de calor fazendo com que ocorra a cocção do alimento dentro da panela preta. Por ser escura, essa panela absorve mais facilmente o calor. É possível observar o fogão tipo painel na Figura 14.

Figura 14 – Fogão solar tipo painel.



Fonte: TODOPRODUCTIVIDAD (2018).

2.5.4 Forno tipo caixa

O forno solar do tipo caixa recebe esse nome por ser um receptáculo fechado. A maioria dos projetos desse tipo de forno possuem formato retangular, que lembra uma caixa, mas há projetos com vários formatos diferentes que empregam o mesmo princípio. De acordo com SOUZA (2011) a fabricação desse tipo de forno é simples e barata, pois os materiais empregados são de baixo custo e na maioria dos casos são de objetos recicláveis, como: caixa de papelão, pneus de automóveis, gaveta de armários de madeira ou metal, madeira, papelão e com gabinete de computador, etc.

ARAÚJO (2015) relata que a principal vantagem do forno solar tipo caixa é que ele pode funcionar sem que haja interferência direta do usuário. Com isso, o

alimento que se encontra em processo de assamento permanecerá aquecido por mais tempo. Além disso, esse forno solar é de fácil manuseio, não produz nenhum efeito danoso ao operador, já que não produz nenhum tipo de chama. É importante ressaltar que ele atinge temperaturas elevadas, com médias de 150°C, mas podem ser maiores dependendo do projeto. Ao retirar o alimento de seu interior deve-se ter cuidado devido as altas temperaturas. É possível observar alguns fornos solares do tipo caixa de materiais diferentes nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Forno solar fabricado com caixas de papelão.



Fonte: ZIMMERMANN (2018).

Figura 16 – Forno solar fabricado com MDF.



Fonte: REZENDE (2015).

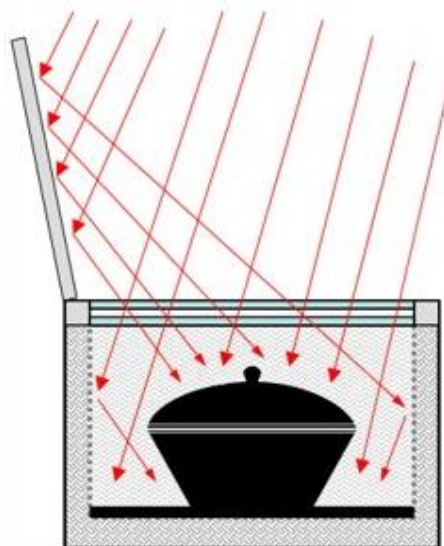
Dependendo do projeto, os materiais empregados na fabricação do forno solar do tipo caixa podem ser diversos, no entanto, todos apresentam as mesmas particularidades que são:

- Tampa superior de vidro ou material transparente, para facilitar a entrada dos raios solares no interior do forno;
- Interior deve ser escuro, na maioria dos casos é preto fosco, para favorecer a absorção e armazenamento do calor;
- Presença de material isolante, para evitar que o calor saia de dentro do forno.

O forno solar do tipo caixa suporta refletores externos, que variam de 0 a 4 dependendo do projeto, estes podem ser planos ou levemente cônicos, e são empregados essencialmente para aumentar a temperatura interna do forno e, por conseguinte diminuir o tempo de preparo do alimento.

A Figura 17 possui o esquema de funcionamento do forno solar do tipo caixa com um refletor em sua tampa.

Figura 17 – Esquema de funcionamento de um forno solar do tipo caixa.



Fonte: SOCIEDADE DO SOL (2018).

Na Figura 18 é possível observar um exemplo de forno solar tipo caixa com um refletor e na Figura 19 um forno com três refletores.

Figura 18 – Forno solar construído com pneus de automóvel em desuso.



Fonte: VARELA (2013).

Figura 19 – Forno solar fabricado com um fogão a gás em desuso.



Fonte: MELO (2008).

2.6 Princípio de funcionamento e aquecimento do forno solar tipo caixa

A principal finalidade de um forno solar do tipo caixa é assar o alimento, mas também pode aquecer água. É vasta a quantidade de alimentos que podem ser preparados nesse tipo de forno, que podem ser: pizzas, linguiça, bolos, pães, nuggets, dentre outros.

SILVA (2017) diz que o assamento do alimento nesse forno se dá devido à incidência dos raios solares, radiação, em seu interior. Essa radiação recai sobre o forno de forma direta ou refletida, através do material transparente ou vidro empregado, e se transforma em energia calorífica que é absorvida pela base metálica do forno e pela forma que contém o alimento.

O calor que é gerado no interior do forno faz com que a temperatura interna aumente de forma gradativa até que o ganho e a perda de calor se equilibrem. Por esse motivo, emprega-se refletores e isolamentos térmicos para que a temperatura no interior deste seja mais alta quando ocorrer a incidência dos raios solares.

2.6.1 Armazenamento de calor

É possível destacar que da energia que entra no interior desse forno solar parte dela é armazenada em seu interior através de materiais denominados isolantes. Os isolamentos diminuem a perda de calor entre o forno e o ambiente e, podem ser feitos de isopor, madeira, entre outros.

2.6.1.1 Isopor (EPS) como material isolante

O EPS (poliestireno expandido) ou Isopor® como é mais conhecido, é um tipo de plástico de material celular rígido, que é o resultado da polimerização do estireno em água. O EPS, Figura 20, pertence ao grupo dos termoplásticos e segundo MANO (2000) ele apresenta-se como uma espuma que pode ser moldada. Com isso, NAVROSKI et al. (2010) diz que o Isopor® é regulamentado pela norma ISO-1043/78 e sua composição gira em torno de 98% de ar e de 2% de massa.

REIS (2009) afirma que o motivo principal de se escolher o EPS como isolante térmico é devido ao seu baixo coeficiente de condutividade térmica (CCT), medido em $W/m^{\circ}K$. Com um pequeno CCT o Isopor® apresenta um elevado isolamento térmico.

Isso ocorre pelo fato deste material conservar de forma permanente uma grande quantidade de ar no interior de suas células.

Figura 20 – Placas de EPS.



Fonte: MUNDIEPS (2018).

SANTOS (2008) relata que o EPS vem sendo bastante utilizado pelas pessoas e pela indústria devido a seu baixo custo, leveza e sua capacidade de isolamento térmico. Sua aplicação varia desde embalagens até revestimentos. Como isolante térmico é empregado em fornos solares do tipo caixa e na construção civil. Na Tabela 01 é possível observar as principais propriedades do EPS.

Tabela 1 – Principais propriedades do EPS.

Propriedades	Valor
Condutividade térmica (k)	0,027 W/m ⁰ K
Massa específica (ρ)	55 kg/m ³

Fonte: INCROPERA (2016).

2.6.2 Ganho de calor

2.6.2.1 Efeito estufa

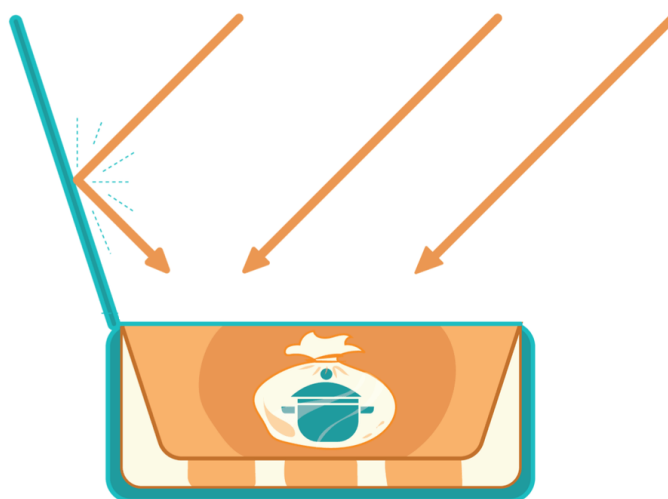
Existe similaridade entre o efeito estufa em equipamentos construídos pelo homem, o forno solar por exemplo, com o aquecimento da atmosfera. Segundo SANTOS (2000) o aquecimento da atmosfera é um fenômeno da natureza que é decorrente de uma interação que ocorre entre a radiação solar oriunda do sol, que é uma fonte geradora de radiação infravermelha, radiação ultravioleta e luz visível, com

a emissão de radiação térmica do planeta terra, que é basicamente um corpo receptor, dissipador e refletor dos raios solares. Já os gases presentes na atmosfera funcionam como um vidro de uma estufa, que permite a passagem da radiação e luz solar para o interior do planeta, mas ao mesmo tempo aprisiona o calor que é gerado dentro do planeta ou dentro da estufa.

O efeito estufa causado nos fornos solares, baseia-se no que acontece na natureza e em ambientes selados. De acordo com ARAÚJO (2015) a energia que é absorvida pela panela e pela chapa do forno converte-se em energia calorífica que apresenta um maior comprimento de onda que é irradiada e incorporada ao forno. Logo, esse calor não é capaz de sair do interior do forno devido a presença do vidro, ficando assim retida nesse ambiente fechado. Esse fenômeno também ocorre com a luz que é refletida no interior do forno.

Sendo assim, a performance e eficiência do forno solar estão diretamente relacionados a quantidade de calor que a chapa do forno e a forma ou panela são capazes de absorver para que ocorra o assamento do alimento. É possível verificar o efeito estufa gerado num forno solar do tipo caixa na Figura 21.

Figura 21 – Efeito estufa gerado no forno solar tipo caixa.

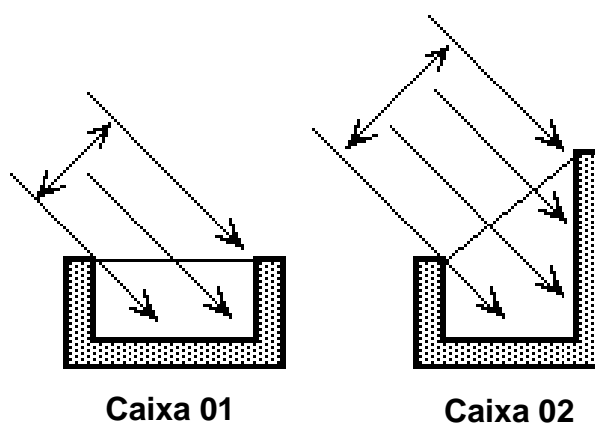


Fonte: NOVAESCOLA (2018).

Segundo MOURA (2007) uma forma de aumentar o ganho de calor do forno é através da orientação e inclinação do vidro em relação aos raios solares, ou seja, quanto mais o forno receber os raios solares, maior será a quantidade de calor gerada em seu interior.

É possível notar que a área do vidro da caixa 01 na Figura 22 é igual à da área da caixa 02, o que muda basicamente é a inclinação que foi dada ao vidro. Com isso, a caixa 02 receberá mais raios solares, pois a inserção de luz está mais voltada em direção ao sol que a caixa 01. Mas como a caixa 02 possui maior área de parede perderá calor mais facilmente que a caixa 01, mais essa implicação pode ser reduzida com o isolamento adequado dessa parede.

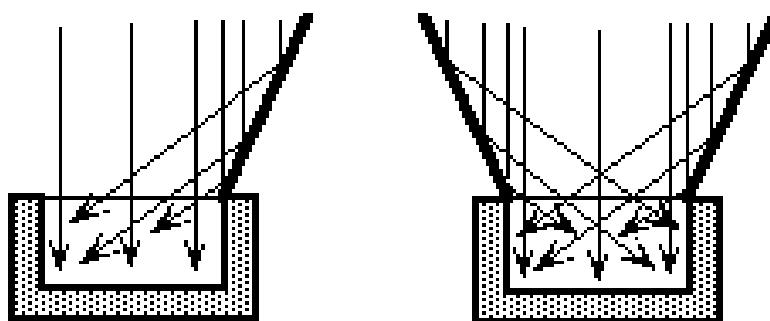
Figura 22 – Orientação do vidro no forno solar tipo caixa.



Fonte: AALFS (2018).

Outro modo de aumentar a quantidade de calor no interior do forno solar é o emprego de refletores. Segundo SANTOS FILHO (2008) esses refletores podem ser simples ou multifocais e a função principal deles é refletir os raios solares para dentro do forno, fazendo com que haja um aumento de temperatura, em consequência disso o tempo de cozimento do alimento diminuirá, se comparado ao forno sem refletores. O refletor pode ser em uma estrutura separada ou no próprio forno, isso irá ser definido no projeto. A Figura 23 apresenta o esquema de refletores em fornos solares do tipo caixa para aumentar a quantidade de calor no interior do forno.

Figura 23 – Esquema de refletores para fornos solares.



Fonte: AALFS (2018).

2.6.3 Transferência ou perda de calor

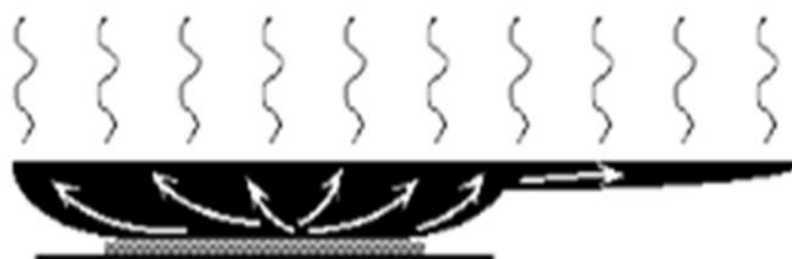
De acordo com INCROPERA (2016) o calor no interior de um forno solar pode ser transferido ou perdido devido a três modos básicos, que são: a condução, a convecção e a radiação. Esses modos de transferência de calor acontecem quando existe uma diferença de temperatura e essa transferência ocorre do corpo com maior temperatura para o de menor temperatura.

2.6.3.1 Condução

De acordo com ÇENGEL (2012) a condução é basicamente a transferência de energia das partículas que possuem mais energia de uma substância para as com menos quantidade de energia, devido a interação que ocorre entre elas. Dessa forma, a condução é a passagem de calor de partícula para partícula desde a extremidade com maior quantidade de calor até a extremidade com menos quantidade de calor. A condução pode ser verificada em gases, líquidos e sólidos.

No forno solar, a panela ou a forma é aquecida pela radiação solar e a transferência de calor para o alimento ocorre por meio da condução. É possível observar um exemplo da condução na Figura 24.

Figura 24 – Calor transferido por condução através da panela para o cabo.



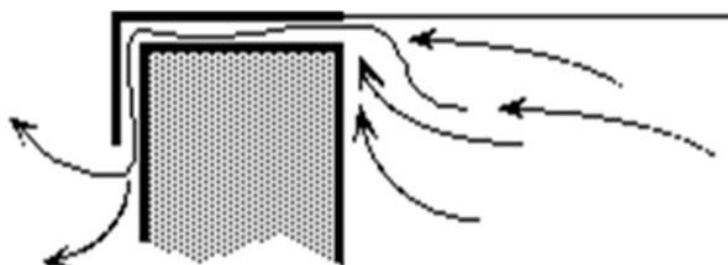
Fonte: AALFS (2018).

2.6.3.2 Convecção

ÇENGEL (2012) afirma que a convecção é semelhante a condução, pois também exige a presença de um meio físico para se propagar. Contudo, se difere da condução devido a necessidade da presença e movimentação de um fluido, que podem ser líquidos ou gases. No processo de cozimento no interior do forno solar, o ar que se encontra aquecido dentro do forno sobe e faz com que o ar frio desça,

fazendo a troca de calor que, aquece todo o interior do forno. A Figura 25 demonstra um exemplo da convecção.

Figura 25 – Ar aquecido que escapa do forno pelas frestas através da convecção.



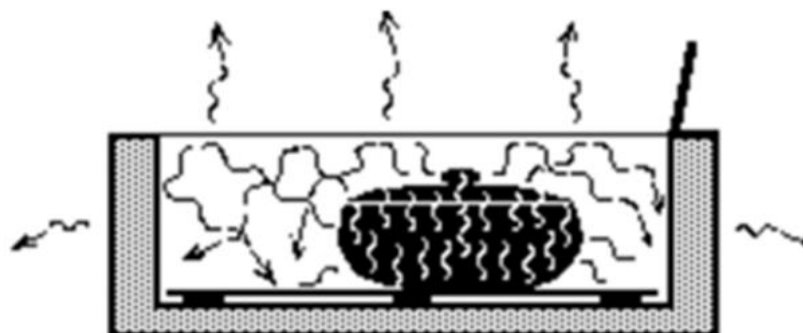
Fonte: AALFS (2018).

2.6.3.3 Radiação

A radiação solar é a energia que é emitida pelos raios solares, de modo particular é transmitida na forma de radiação eletromagnética que é a infravermelha. Por esse motivo, o calor se propaga dentro do forno fazendo com que ocorra o assamento do alimento. Segundo MAGRI (2012) um corpo que apresenta temperatura absoluta acima de zero emitirá radiação em várias direções, através de uma ampla faixa de comprimento de onda.

A radiação presente dentro do forno também é emitida pelos objetos que se encontram em seu interior e até mesmo pela comida que está sendo assada. Com isso, a energia emitida através da radiação num dado comprimento de onda irá depender do material que constitui o corpo, da temperatura e das condições da superfície que este se encontra. A Figura 26 demonstra um exemplo da radiação.

Figura 26 – Calor irradiado através do forno aquecido.



Fonte: AALFS (2018).

3 Materiais e Métodos

Nesse tópico serão descritos os métodos utilizados para a fabricação e montagem do forno solar tipo caixa fabricado a partir de gabinetes de computador e a metodologia desenvolvida para a realização dos ensaios.

3.1 Projeto para concepção do forno solar tipo caixa

Para a concepção do forno solar tipo caixa faz-se necessário levar em consideração alguns fatores que são: materiais, dimensões do forno, presença e quantidade de refletores.

3.1.1 Materiais

A escolha do material para a fabricação do forno deve levar em consideração a presença da umidade, já que a maior parte dos alimentos que serão assados nesse forno possuem água em sua composição. Se os materiais empregados forem frágeis a umidade poderá danificar a estrutura do forno. Portanto, o material estrutural deve ser durável.

No forno emprega-se também um material isolante, cuja finalidade é evitar a troca de calor do corpo isolado para o exterior. É empregado em toda superfície interna ou externa do forno, mas não é aplicada na tampa superior por onde entrará os raios solares. Existem vários materiais isolantes, dentre eles tem-se: lã de rocha, lã de vidro, madeira e isopor. O importante é que o material isolante permita uma condução mínima de calor de dentro para fora do forno, pois quanto menor for a perda de calor pelo isolante maior será a temperatura de assamento do alimento.

Já o material da tampa do forno deve ser transparente, na maioria dos casos emprega-se o vidro, para que a radiação solar seja inserida no interior do forno solar, fazendo com que haja o aquecimento do próprio forno e do alimento através do efeito estufa.

O forno solar objetivado é do tipo caixa, desenvolvido a partir de dois gabinetes de computador da HP Compaq 8000 Elite que se encontravam em desuso no LMHES da UFRN. Na Figura 27 é possível observar a CPU usada no projeto.

Figura 27 – Gabinete HP ELITE 8000 SFF.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A lista dos materiais empregados para confecção do forno está na Tabela 02.

Tabela 2 – Lista de Materiais.

Materiais
Chapa de MDF
Cola branca, Acrilex, 500 g
Dois Gabinetes HP ELITE 8000 SFF
Espetos de bamboo para churrasco, Billa, Ø 3 mm
Placas de EPS (ISOPOR), 30 mm
Rebites em alumínio, Ø 2,5 mm
Solvente, Gênese, 900 ml
Tinta preto fosco/Negro mate – Esmalte sintético automotivo, Rural, 900 ml
Tinta vermelho fogo, Acrilex, 37 ml
Vidro

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.1.2 Dimensões do forno

De acordo com AALFS (2018), um forno tipo caixa deve ser dimensionado levando em consideração o tamanho da caixa e o design, que devem permitir uma boa quantidade de alimentos em seu interior. Além disso, o forno deve possuir um comprimento maior que a sua largura, pois quando se emprega refletores durante o assamento acarretará em temperaturas mais constantes com relação ao movimento diário do sol (ângulo azimutal).

As dimensões externas de um gabinete é de 36,5 x 33,6 x 10 cm. Como o forno é a junção de dois gabinetes suas dimensões finais são de 73,0 x 33,6 x 10 cm, com uma litragem de aproximadamente 25 litros. As dimensões do forno estão apresentadas na Tabela 03.

Tabela 3 – Dimensões do forno solar.

Dimensões	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
Externa	0,785	0,390	0,235	0,31	70
Interna	0,730	0,336	0,100	0,25	25

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.1.3 Presença e quantidade de refletores

A presença e a quantidade de refletores no forno solar fazem com que os raios solares sejam direcionados para o interior do forno aumentando a temperatura interna deste. A superfície refletora que direciona os raios solares para o interior do forno é um espelho plano e suas dimensões estão contidas na Tabela 04.

Tabela 4 – Dimensões do espelho refletor.

Dimensões do espelho refletor			
Comprimento (m)	Largura (m)	Espessura (m)	Área (m ²)
0,923	0,347	0,002	0,32

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.2 Processos de fabricação e montagem do forno proposto

As etapas de fabricação do forno solar foram: ferramentas, desmontagem dos gabinetes, junção dos gabinetes, tampas laterais do forno, pintura da superfície absorvedora, isolamento térmico, pintura externa do forno e aplicação do vidro.

3.2.1 Ferramentas

As ferramentas utilizadas na confecção do forno estão listadas na Tabela 05.

Tabela 5 – Lista de ferramentas.

Ferramentas				
Broca 2,5 mm	Cortador de vidro	Martelo	Rebitadeira	Tesoura
Caneta permanente	Furadeira	Pincel	Rolo de pintura	Trena

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.2.2 Desmontagem dos gabinetes

Inicialmente foi feita a remoção dos parafusos da tampa superior dos gabinetes, em seguida retirou o painel frontal. Com todos os componentes externos removidos fez-se então a extração de todos os componentes internos, que foram: driver de DVD, placa PCI, HD, memórias, cabos, placa mãe, fonte de energia, etc. Esses procedimentos foram realizados em ambas as CPUs.

3.2.3 Junção dos gabinetes

Para a junção dos dois gabinetes foi reutilizada pequenas chapas que foram retiradas da carcaça de outro gabinete em desuso que se encontrava no laboratório, Figura 28. Nessas chapas metálicas foram feitas marcações para furação com o auxílio de uma trena e de uma caneta permanente. Com isso, foram feitos os furos com uma furadeira elétrica empregando uma broca de 2,5 mm. Observa-se na Figura 29 as chapas com seus devidos furos.

Figura 28 – Chapas metálicas removidas de outro computador.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 29 – Chapas furadas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Em seguida foram feitos furos na lateral e no fundo de cada CPU, Figura 30. Usando como referência as chapas furadas anteriormente. Com todas as furações realizadas foi efetuada a junção dos dois gabinetes com auxílio da rebidadeira e rebites de 2,5 mm de diâmetro. Foi empregado os rebites, pois estes trazem mais resistência a estrutura e por serem mais fáceis de utilizar.

Na figura 31 é possível observar a junção lateral dos dois gabinetes.

Figura 30 – Furação dos gabinetes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 31 – Junção lateral dos gabinetes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Na Figura 32 é possível ver o interior dos gabinetes após a junção. Já na Figura 33 visualiza-se a base externa dos gabinetes.

Figura 32 – Interior dos gabinetes unidos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 33 – Vista lateral da junção dos dois gabinetes.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.2.4 Tampas laterais do forno

Foi utilizada a tampa superior da CPU para fechar as laterais dos gabinetes. Então, foi feita a medição da largura e da altura da CPU com a trena e, fez-se a marcação na tampa com essas medidas. Em seguida, foi utilizada uma tesoura para cortar a tampa em duas chapas menores. Posteriormente, marcou-se os furos com base na furação da própria CPU e, por fim fez-se a furação dessas lâminas de aço e a fixação das mesmas com os rebites, fechando as laterais do forno. Na Figura 34 é possível ver a tampa cortada e a chapa furada.

Figura 34 – Tampa superior da CPU cortada e furada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Já a Figura 35 mostra umas das laterais do gabinete fechada e rebitada com a chapa e a outra lateral ainda aberta.

Figura 35 – CPU com uma das laterais tampada e rebitada com a chapa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.2.5 Pintura da superfície absorvedora

Após a junção das duas CPUs em uma única caixa, se deu início a pintura interna do forno. A tinta empregada foi preto fosco a base de solvente. Esse tipo de tinta foi escolhido devido a sua eficácia na absorção dos raios solares. Com isso, a radiação solar ao ser inserida no interior do forno não será refletida. Então, os raios serão absorvidos, elevando a quantidade de calor no interior do forno. Durante o processo de pintura do interior da caixa, Figura 36, empregou-se pincel, rolo e o solvente.

Figura 36 – Pintura interna do forno com a tinta preto fosco.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.2.6 Isolamento térmico

Após a pintura foi feito o isolamento térmico do forno. Para isso utilizou-se uma fina chapa de MDF, reaproveitada de um quadro escolar em desuso. Essa chapa foi fixada ao gabinete apenas no fundo do forno com cola branca, ficou posicionada entre o aço do gabinete e o Isopor®. Além disso, foi aplicado em toda a superfície externa dos gabinetes folhas de Isopor®, Figura 37. O Isopor® foi fixado com o auxílio de palitos de churrasco e cola branca.

Figura 37 – Placas de Isopor® em toda a superfície externa do forno.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.2.7 Pintura externa do forno

Além da pintura interna foi feita a pintura de todo o Isopor® para garantir ao forno um aspecto mais apresentável. Para isso foi usado a tinta fosca vermelho fogo. O resultado da pintura pode ser observado na Figura 38.

Figura 38 – Pintura interna e externa do forno finalizada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.2.8 Aplicação do vidro

A tampa do forno foi feita de uma chapa de vidro em desuso do Laboratório de Maquinas Hidráulicas e Energia Solar da UFRN. Para a confecção da tampa fez-se a medição do comprimento e da largura do forno e, então, fez-se a marcação no vidro e por fim foi feito o corte do mesmo com um cortador de vidro profissional. Foi cortado também pequenas chapas de vidro que foram fixadas sobre a tampa para facilitar a abertura do forno.

É importante salientar que o vidro foi empregado no intuito de facilitar a entrada dos raios solares no interior do forno. Além disso, o vidro possui a função de gerar o efeito estufa no interior do forno, evitando que o calor saia. A tampa de vidro foi apenas apoiada sobre o EPS sem nenhum tipo de cola, o que facilitou seu manuseio. Na Figura 39 é possível visualizar o forno com sua tampa de vidro.

Figura 39 – Tampa de vidro sobre o forno solar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.3 Balanço térmico do forno solar

As radiações solares se inserem no forno proposto através do vidro superior que funciona como tampa e através do espelho plano externo que é a superfície refletora e concentradora que direciona os raios solares para o interior do forno. Essas radiações que entram no forno solar são de duas formas: radiação solar global incidente sobre a tampa de vidro e radiação solar direta refletida pelo espelho externo.

3.3.1 Energia que entra no forno solar (E_{ef})

A energia que entra no forno solar provém da radiação solar global incidente na cobertura do forno solar e da radiação solar direta refletida no espelho externo. A equação (2) mostra a energia total que entra no forno solar.

$$E_{ef} = E_g + E_{re} \quad (2)$$

Onde:

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

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

E_{re} = Energia da reflexão dos espelhos da parte superior do forno solar (W).

Para o cálculo das energias que entram no forno solar emprega-se as equações (3) e (4):

$$E_g = I_g \cdot \tau_v \cdot A_v \quad (3)$$

$$E_{re} = I_d \cdot \rho_e \cdot \tau_v \cdot A_{ue} \quad (4)$$

Onde:

I_g = Radiação instantânea global que entra no forno solar (W/m²);

I_d = Radiação instantânea direta que entra no forno solar (W/m²). Em condições de céu limpo com poucas nuvens $I_d = 0,8 \cdot I_g$;

ρ_e = Refletividade do espelho;

τ_v = Transmissividade do vidro;

A_v = Área do vidro (tampa do forno);

A_{ue} = Área útil do espelho.

3.3.2 Energia perdida pelo forno (E_{pf})

A energia perdida pelo forno solar em estudo ocorreu pelas superfícies externas do mesmo. Essas energias foram calculadas com base na média das temperaturas medidas. Considerou-se que as perdas ocorreram através da forma convectiva e da radiativa, entre superfícies externas e o ar ambiente. A equação (5), abrange as perdas pelas: laterais, fundo e pelo vidro (que é a tampa do forno).

$$E_{pf} = E_{lat} + E_{fun} + E_v \quad (5)$$

Onde:

E_{pf} = Taxa de energia total perdida (W);

E_{lat} = Taxa de energia perdida pelas laterais (W);

E_{fun} = Taxa de energia perdida pelo fundo do forno (W);

E_v = Taxa de energia perdida pelo vidro (W).

a) Perda térmica pelas laterais do forno

A taxa de energia perdida pelas laterais do forno é dada pela equação (6) e o coeficiente global de perdas pelas laterais foi calculado através da equação (7).

$$E_{lat} = U_{lat} \cdot A_{lat} \cdot (T_{mint} - T_{mext}) \quad (6)$$

Onde:

E_{lat} = Taxa de energia perdida pelas laterais do forno (W/m²K);

A_{lat} = Área lateral do forno (m²);

T_{mint} = Temperatura média interna na lateral do forno (K);

T_{mext} = Temperatura média externa na lateral do forno (K).

$$U_{lat} = \frac{1}{\frac{e_{pu}}{K_{PU}} + \frac{e_{aço}}{K_{aço}}} \quad (7)$$

Onde:

U_{lat} = Coeficiente global de perdas pela lateral do forno (W/m²K);

e_{pu} = Espessura da camada isolante de Poliestireno (m);

K_{PU} = Condutividade térmica do Poliestireno (W/mK);

$e_{aço}$ = Espessura da chapa de aço (m);

$K_{aço}$ = Condutividade térmica do aço (W/mK).

b) Perda térmica pelo fundo do forno

Para o cálculo da taxa de energia perdida pelo fundo do forno utilizou-se de um coeficiente global de perdas específico através da equação (8). Devido ao fato de o isolamento térmico ser distinto das laterais, sendo composto e disposto, na ordem de cima para baixo, nas seguintes camadas de materiais: chapa de aço, chapa de MDF e chapa de isopor.

$$U_{fun} = \frac{1}{\frac{e_{aço}}{K_{aço}} + \frac{e_{MDF}}{K_{MDF}} + \frac{e_{pu}}{K_{PU}}} \quad (8)$$

Onde:

U_{fun} = Coeficiente global de perdas pelo fundo do forno (W/m²K);

$e_{aço}$ = Espessura da chapa de aço (m);

$K_{aço}$ = Condutividade térmica do aço (W/mK).

e_{MDF} = Espessura da chapa de MDF (m);

K_{MDF} = Condutividade térmica da madeira MDF (W/mK);

e_{pu} = Espessura da camada isolante de Poliestireno (m);

K_{PU} = Condutividade térmica do Poliestireno (W/mK);

Assim, a taxa de energia perdida foi determinada pela equação (9).

$$E_{fun} = U_{fun} \cdot A_{fun} \cdot (T_{mint} - T_{mext}) \quad (9)$$

Onde:

E_{fun} = Taxa de energia perdida pelo fundo do forno (W);

A_{fun} = Área do fundo do forno (m²);

T_{mint} = Temperatura média interna na lateral do forno (K);

T_{mext} = Temperatura média externa na lateral do forno (K).

c) Perda térmica pela tampa de vidro do forno

O coeficiente de transferência de calor, por convecção, entre a superfície externa do vidro e o ar ambiente, pode ser determinado pela equação (10).

$$h_{c(ve-a)} = 2,8 + 3 \cdot v_v \quad (10)$$

Onde:

h_c = Coeficiente de troca térmica convectiva;

v_v = Velocidade do vento, em m/s.

A equação (10) é válida para velocidades de vento compreendidas entre 0 e 7 m/s. No dia do ensaio não foi possível medir a velocidade do vento, pois a central meteorológica do laboratório não estava funcionando, mas com base em outros experimentos feitos no LMHES percebeu-se que a velocidade variava entre 0 e 2,0 m/s. Logo, com a orientação do professor orientador a velocidade usada foi: $v_v = 0,7 \text{ m/s}$.

O coeficiente de troca térmica radiativa entre a superfície externa da cobertura e o ambiente, conforme DUFFIE&BECKMAN (1991), é função das condições climáticas do local considerado podendo ser determinado através da equação (11).

$$h_{r(ve-a)} = 5,16 \cdot 10^{-8} \frac{T_{ve}^4 - T_{sky}^4}{T_{ve} - T_a} \quad (11)$$

Onde:

$h_{r(ve-a)}$ = Coeficiente de troca térmica radiativa entre a superfície externa do vidro e o ambiente;

T_{ve} = Temperatura externa do vidro (K);

T_{sky} = Temperatura da abóbada celeste (K);

T_a = Temperatura ambiente (K).

A partir do valor T_a o valor de T_{sky} pode ser obtido através da equação (12) sem implicar em erros significativos.

$$T_{sky} = 0,0552 \cdot T_a^{1,5} \quad (12)$$

O cálculo do coeficiente global de perdas pelo vidro é dado pela equação (13) e a taxa de energia perdida pelo vidro de cobertura foi determinada pela equação (14).

$$U_v = \frac{1}{\frac{1}{h_{c(ve-a)} + h_{r(ve-a)}}} \quad (13)$$

$$E_v = U_v \cdot A_v \cdot (T_{ve} - T_a) \quad (14)$$

Onde:

E_v = Taxa de energia perdida pelo vidro (W);

U_v = Coeficiente global de perdas do vidro (W);

A_v = área do vidro (m²);

T_{ve} = Média da temperatura externa do vidro (K);

T_a = Temperatura ambiente (K).

3.3.3 Rendimento solar do forno (η_{forno})

A taxa de energia absorvida pelo forno é dada pela equação (15).

$$E_{abs} = E_{ef} - E_{pf} \quad (15)$$

Onde:

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

E_{pf} = Taxa de energia perdida pelo forno (W).

Então, o rendimento térmico do forno (η_{forno}) é dado pela razão da energia absorvida (E_{abs}) e a energia total que entra no forno solar (E_{ef}), descrita na eq. (16).

$$\eta_{forno} = \frac{E_{abs}}{E_{ef}} \quad (16)$$

4 Resultados e Discussões

Nessa seção, serão apresentados os resultados obtidos durante os ensaios do forno solar confeccionado com duas CPUs de computador em desuso, bem como suas discussões relativas ao processo de assamento dos alimentos testados, que demonstram a viabilidade do forno solar proposto.

4.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado no Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar da UFRN no dia 10 de agosto de 2018, das 10h às 14h05 e no dia 24 de maio de 2019, das 10h às 13h. O objetivo principal do ensaio era fazer a coleta da temperatura da superfície absorvedora, chapa interna do forno, das laterais, do fundo, do vidro e do ar no interior do forno e, com isso, calcular a eficiência do forno solar.

4.1.1 Equipamentos empregados durante o ensaio

Foram empregados alguns equipamentos durante o experimento do forno que foram:

- Cronômetro;
- Radiômetro;
- Termopares;
- Termômetro ótico digital.

4.1.2 Procedimentos preliminares do ensaio

Antes do experimento propriamente dito foi realizada a higienização do interior do forno e a limpeza do espelho, que é a superfície refletora. Colocou-se o forno em local aberto e com bastante incidência dos raios solares. Foi instalado os termopares no interior do forno e, então, fez a ligação destes no equipamento de medição. O forno foi posicionado em uma estrutura metálica com um vidro refletor que foi reaproveitada de outro projeto antigo.

4.1.3 Procedimentos operacionais do ensaio

Foram considerados alguns fatores, divididos em: variáveis controladas e não controladas.

- Variáveis controladas:
 - Posicionamento do forno – Orientação da superfície refletora seguindo a movimentação dos raios solares para se ter a maior incidência de sol durante o processo de cocção, aumentando a temperatura do forno e consequentemente sua eficiência.
 - Coleta das temperaturas da base, do ar, das laterais, do fundo e do vidro, tanto interno quanto externo – Medição a cada 5 ou 10 minutos.
- Variáveis não controladas:
 - Velocidade do vento;
 - Condições climáticas;
 - Radiação.

4.2 Ensaio sem carga

O primeiro teste realizado no forno foi sem nenhum tipo de carga, ou seja, sem alimento. Com isso, pode-se determinar as temperaturas máximas e médias do ar no interior do forno e da superfície absorvedora.

4.2.1 Ensaio dia 10 de agosto de 2018

O ensaio iniciou-se as 10h e foi finalizado às 11h, as temperaturas foram coletadas a cada 5 minutos. As temperaturas medidas foram: a da placa absorvedora e a do ar no interior do forno. Nesse dia a temperatura ambiente estava em torno de 29°C.

A Tabela 06 apresenta os dados medidos durante o teste sem carga. É importante salientar que nesse primeiro teste não mediu as laterais, o fundo e o vidro do forno.

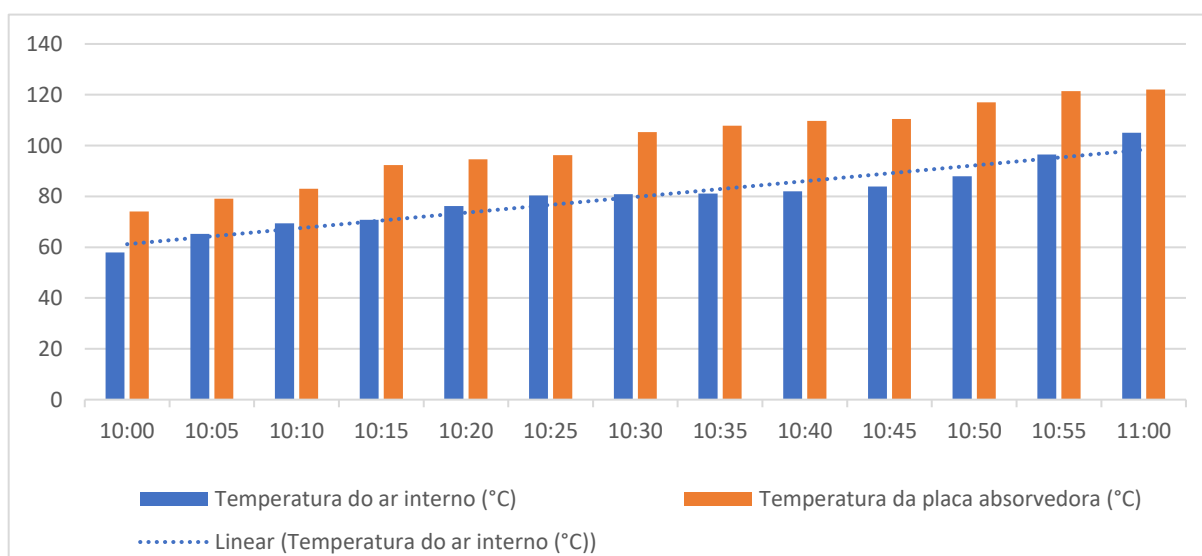
Tabela 6 – Medições do forno sem carga no dia 10 de agosto de 2018.

TEMPERATURAS (°C)		
Horário	Temperatura do ar	Temperatura da placa absorvedora
10:00	57,9	74,0
10:05	65,3	79,1
10:10	69,4	83,0
10:15	70,8	92,3
10:20	76,2	94,6
10:25	80,4	96,2
10:30	80,8	105,3
10:35	81,1	107,8
10:40	82,0	109,7
10:45	83,9	110,5
10:50	87,9	117,0
10:55	96,5	121,4
11:00	105,0	122,0
Média	79,8	101,0

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

De acordo com a Tabela 06, verificou-se que as temperaturas do forno apresentaram um aumento gradativo com o passar do tempo. A temperatura inicial do ar e da chapa absorvedora foram 57,9°C e 74°C respectivamente. A temperatura interna do ar máxima foi de 105°C e a máxima da placa absorvedora foi de 122°C às 11h. É possível observar o comportamento das temperaturas no gráfico da Figura 40.

Figura 40 – Gráfico Temperatura X Tempo ensaio sem carga.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.2 Ensaio dia 24 de maio de 2019

O teste realizado nesse dia foi mais completo se comparado ao do dia 10 de agosto de 2018, pois mediu-se todas as superfícies internas e externas do forno como também a temperatura do ar. Logo, o intervalo de tempo empregado foi de 10 minutos entre as medições. O ensaio iniciou-se às 10h e foi finalizado às 10h30. A temperatura ambiente medida foi de 29°C. Com isso, pode-se determinar as máximas temperaturas do forno. A Figura 41 ilustra as posições de todas as faces do forno solar em estudo e a Tabela 07 apresenta as temperaturas externas.

Figura 41 – Faces do forno solar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 7 – Temperaturas externas do ensaio sem carga, dia 24.05.2019.

TEMPERATURAS EXTERNAS (°C)						
Horário	Temp. Vidro	Temp. Fundo	Temp. Lateral Oeste	Temp. Lateral Norte	Temp. Lateral Leste	Temp. Lateral Sul
10:00	55,0	39,9	42,1	45,0	36,5	39,8
10:10	55,5	40,2	41,6	45,4	37,0	37,8
10:20	57,0	41,0	43,0	45,8	37,7	39,6
10:30	59,6	42,6	45,3	46,5	39,4	40,2
Média	56,78	40,93	43,0	45,68	37,65	39,35

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 08 apresenta apenas as temperaturas das laterais internas medidas às 10h30, pois usou-se um termômetro ótico para realizar essas medições. Por esse motivo, apenas uma medição foi feita, para não ficar abrindo o forno a todo tempo.

Tabela 8 – Temperaturas das laterais internas às 10h30.

TEMPERATURAS DAS LATERAIS INTERNAS	
Lateral	Temperatura (°C)
Norte	75,0
Sul	90,0
Leste	82,0
Oeste	84,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

As temperaturas do ar e da chapa absorvedora foram medidas com termopares no interior do forno e por isso possui quatro medições com um intervalo de 10 minutos entre cada uma delas.

A Tabela 09 apresenta as temperaturas internas do forno e, além disso, mostra as radiações medidas com o radiômetro.

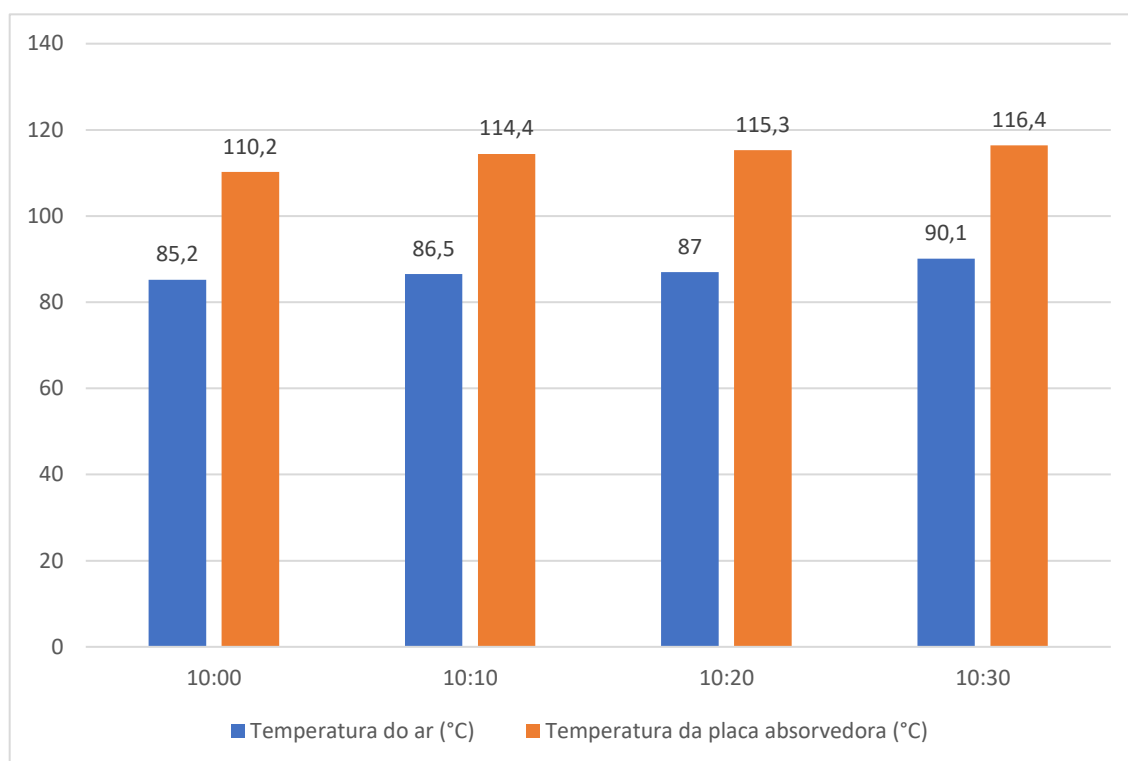
Tabela 9 – Temperaturas internas e radiações do forno no ensaio sem carga.

TEMPERATURAS INTERAS E RADIAÇÃO			
Horário	Temp. Superfície Absorvedora (°C)	Temp. Ar (°C)	Radiação (W/m²)
10:00	110,2	85,2	914
10:10	114,4	86,5	925
10:20	115,3	87,0	939
10:30	116,4	90,1	953
Média	114,08	87,2	933

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Figura 42 mostra um gráfico do comportamento das temperaturas em relação ao tempo de ensaio. Pode-se observar um aumento gradativo das temperaturas com o passar do tempo.

Figura 42 – Tempo de ensaio X Temperatura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.3 Ensaio com carga

A seguir será mostrado os ensaios realizados com carga nos dias 10.10.18 e 24.05.19.

4.3.1 Ensaio dia 10 de agosto de 2018

4.3.1.1 Pizza

Os primeiros alimentos adicionados no forno foram duas pizzas Sadia de Frango com Requeijão e Mussarela, com 460g cada.

A Figura 43 mostra o processo de assamento das pizzas no forno solar proposto.

Figura 43 – Ensaio do forno solar com carga.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Já as Figuras 44 e 45 apresentam as pizzas assadas.

Figura 44 – Pizzas assadas no forno solar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Figura 45 – Vista superior (A) e fundo (B) da pizza assada no forno solar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A Tabela 10 mostra os dados de assamento das pizzas no forno em estudo.

Tabela 10 – Dados do assamento das pizzas.

	Horário	Temp. do ar interno (°C)	Temp. da placa absorvedora (°C)
Início	11:00	70,5	91,2
Final	11:30	82,0	120,0

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Segundo a SADIA (2019) o tempo de assamento em um forno a gás à 210°C é de 14 minutos. Já o tempo total para assar as pizzas no forno solar foi de 30 minutos.

4.3.1.2 Nuggets

Após a remoção das pizzas foi introduzido 300g de Nuggets de Frango da Sadia no forno solar para assar. A Figura 46 mostra os Nuggets após serem assados.

Figura 46 – Nuggets assados no forno solar.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A Tabela 11 mostra os dados obtidos durante o assamento dos Nuggets no forno solar proposto.

Tabela 11 – Dados do assamento dos nuggets no forno solar.

	Horário	Temp. do ar interno (°C)	Temp. da placa absorvedora (°C)
Início	11:40	74,2	98,7
Final	12:15	86,1	118,0

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Segundo a SADIA (2019) o tempo de assamento dos Nuggets em um forno a gás à 210°C é de 9 minutos para cada lado, totalizando 18 minutos. Já o tempo total para assar os Nuggets no forno solar foi de 35 minutos.

4.3.1.3 Linguiça calabresa e brownie de chocolate

Com a retirada da bandeja contendo os Nuggets do forno, foi introduzido na sequência uma forma contendo linguiça calabresa Perdigão cortada, cerca de 200g e outra com massa de brownie de chocolate da marca Finna, com aproximadamente 700g. A Figura 47 apresenta o processo de assamento da linguiça calabresa e do brownie no forno solar e a Figura 48 mostra a calabresa já assada.

Figura 47 – Processo de cozimento do brownie e da linguiça calabresa.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Figura 48 – Linguiça calabresa assada.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A Tabela 12 mostra os dados durante o assamento da linguiça calabresa.

Tabela 12 – Dados de assamento da linguiça calabresa no forno solar.

	Horário	Temp. do ar interno (°C)	Temp. da placa absorvedora (°C)
Início	12:18	83,0	117,0
Final	13:48	72,8	106,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Segundo a PERDIGÃO (2019) para assar a linguiça calabresa em um forno à gás convencional pré-aquecido a 200°C leva em torno de 40 minutos. O tempo gasto para assar 200g de linguiça no forno solar foi de 90 minutos.

A Figura 49 mostra o brownie momentos antes de ser retirado do forno.

Figura 49 – Brownie assando dentro do forno solar.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A Tabela 13 apresenta as informações de assamento do brownie de chocolate no forno solar proposto.

Tabela 13 – Dados de assamento do brownie de chocolate no forno solar.

	Horário	Temp. do ar interno (°C)	Temp. da placa absorvedora (°C)
Início	12:18	83,0	117,0
Final	14:05	69,6	99,1

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Segundo a FINNA (2019) o tempo total para assar o brownie é de 25 minutos em um forno a gás a 210°C. O tempo gasto para assar no forno solar foi de 107 minutos.

4.3.2 Ensaio dia 24 de maio de 2019

Nesse novo ensaio foi possível medir as temperaturas das superfícies externas do forno como: laterais, fundo e a tampa de vidro utilizando-se um termômetro ótico digital, como também as laterais internas, a placa absorvedora, a temperatura do ar e o tempo de assamento dos bolos e das pizzas.

4.3.2.1 Bolo de chocolate

Para esse ensaio introduziu no interior do forno dois bolos de chocolate tradicional Finna de 700g cada, Figura 50.

Figura 50 – Processo de assamento dos bolos de chocolate.



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

A Tabela 14 apresenta o horário, as temperaturas da chapa absorvedora e do ar no interior do forno, a radiação logo que se colocou os bolos para assar, assim como quando foram retirados assados.

Tabela 14 – Dados de assamento dos bolos.

Horário		Temp. do ar interno (°C)	Temp. da placa absorvedora (°C)	Radiação (W/m ²)
Início	10:35	77,7	80,9	904
Final	12:05	87,0	91,6	963

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

A Figura 51 mostra os bolos após serem retirados do forno, prontos para o consumo.

Figura 51 – Bolos de chocolate assados no forno solar.



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

A Tabela 15 mostra as temperaturas da chapa absorvedora, do ar e as radiações durante o assamento dos bolos.

Tabela 15 – Temperaturas internas e radiações durante o assamento dos bolos.

TEMPERATURAS INTERNAS E RADIAÇÃO			
Horário	Temp. Superfície Absorvedora (°C)	Temp. Ar (°C)	Radiação (W/m²)
10:35	80,9	77,7	904
10:50	77,7	74,4	932
11:05	80,8	76,6	924
11:20	81,5	77,2	939
11:35	88,5	85,6	947
11:50	89,7	86,2	942
12:05	91,6	87,0	963
Média	84,4	80,7	936

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Observando os dados contidos na Tabela 15 é possível notar que as temperaturas e radiações aumentaram com o decorrer do tempo, mais que às 10h50 elas tiveram uma queda. Isso ocorreu, pois, o tempo ficou um pouco nublado por aproximadamente 8 minutos.

A Tabela 16 contém as temperaturas das superfícies internas e externas do forno, como também as temperaturas do vidro assim que o forno foi aberto para a retirada dos bolos do seu interior.

Tabela 16 – Temperaturas das superfícies às 12h05.

TEMPERATURAS DAS SUPERFÍCIES (°C)					
INTERNAS					
Temp. Vidro	Temp. Fundo	Temp. Lateral Oeste	Temp. Lateral Norte	Temp. Lateral Leste	Temp. Lateral Sul
55,0	91,6	78,0	74,6	78,6	96,0
EXTERNAS					
Temp. Vidro	Temp. Fundo	Temp. Lateral Oeste	Temp. Lateral Norte	Temp. Lateral Leste	Temp. Lateral Sul
53,5	37,0	38,8	34,7	34,4	37,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Segundo a FINNA (2019) o tempo de assamento de um bolo é de 30 minutos em um forno a gás a 180°C, sendo preaquecido por 10 minutos a 180°C. Para assar dois bolos simultaneamente no forno solar demorou um tempo total de 80 minutos.

4.3.2.2 Pizza

Após a retirada dos bolos foi colocado no forno solar duas pizzas de frango com catupiry da Seara para assar, Figura 52.

Figura 52 – Processo de assamento das pizzas Seara.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 17 apresenta o horário, as temperaturas da chapa absorvedora e do ar no interior do forno, a radiação logo que se colocou os bolos para assar, assim como quando foram retirados assados.

Tabela 17 – Dados de assamento das pizzas.

Horário	Temp. do ar interno (°C)	Temp. da placa absorvedora (°C)	Radiação (W/m ²)
Início	12:15	75,0	98,8
Final	12:55	77,4	100,3

Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

A Figura 53 mostra as pizzas após serem retiradas do forno, prontas para o consumo.

Figura 53 – Pizzas assadas no forno solar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 18 têm as temperaturas internas e radiações obtidas a cada 20 min.

Tabela 18 – Temperaturas durante o ensaio com as pizzas.

TEMPERATURAS INTERNAS E RADIAÇÕES			
Horário	Temp. Superfície Absorvedora (°C)	Temp. Ar (°C)	Radiação (W/m ²)
12:15	98,8	75,0	941
12:35	99,7	76,7	962
12:55	100,3	77,4	993
Média	99,6	76,4	965

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Já a Tabela 19 expõe as temperaturas externas obtidas às 12h55, ou seja, assim que o forno foi aberto para a retirada das pizzas.

Tabela 19 – Temperaturas das superfícies externas às 12h55.

TEMPERATURAS DAS SUPERFÍCIES (°C)					
EXTERNAS					
Temp. Vidro	Temp. Fundo	Temp. Lateral Oeste	Temp. Lateral Norte	Temp. Lateral Leste	Temp. Lateral Sul
45,6	38,6	35,6	35,7	37,4	45,9
INTERNAS					
Temp. Vidro	Temp. Fundo	Temp. Lateral Oeste	Temp. Lateral Norte	Temp. Lateral Leste	Temp. Lateral Sul
51,0	100,3	75,6	74,8	73,7	86,5

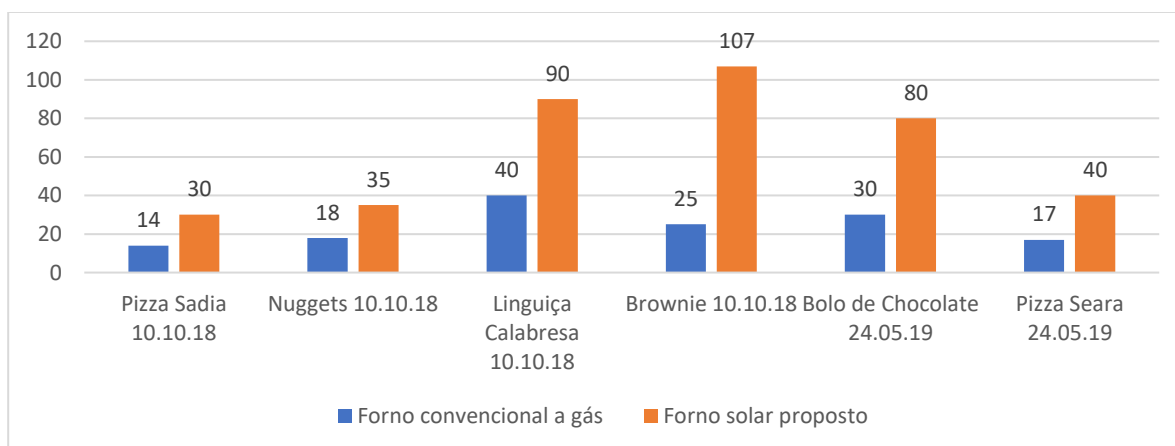
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Segundo a SEARA (2019) o tempo de assamento de uma pizza de frango com catupiry é de 17 minutos em um forno a gás a 180°C, sendo preaquecido por 15 minutos a 200°C. Para assar duas pizzas simultaneamente no forno solar demorou um tempo total de 40 minutos.

4.4 Resumo dos resultados dos ensaios com carga

Como foi realizado dois testes em dias e meses diferentes faz-se necessário uma comparação entre os dados coletados. Além disso, é possível comparar os tempos de assamento do forno solar com o forno a gás, Figura 54. As temperaturas obtidas no dia 10.10.18 foram maiores do que a do dia 24.05.19, pois no dia 24 o tempo ficou nublado durante alguns momentos, o que influenciou diretamente no tempo de assamento, isso pode ser notado no tempo que se obteve para assar as pizzas, Figura 54.

Figura 54 – Tempos de assamento do forno a Gás x Forno Solar (em minutos).



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Fazendo uma análise dos dados obtidos nos dois ensaios realizados é possível constatar que o tempo de cozimento no forno solar é superior ao forno convencional. Isso ocorre devido à baixa temperatura obtida na chapa absorvedora e consequentemente no interior do forno solar.

É possível observar que o tempo de cozimento da linguiça calabresa e do brownie foram bastante elevados e, isso ocorreu devido ao horário em que se iniciou o cozimento destes, após às 12h onde ocorre a diminuição da radiação solar que afeta diretamente a temperatura do interior do forno.

O tempo de assamento dos bolos também foi bem elevado, isso ocorreu devido ao clima que em alguns momentos ficou nublado, fazendo com que houvesse uma diminuição na temperatura do ar e da chapa absorvedora em alguns momentos e, além do que, foi colocado dois bolos para assar ao mesmo que necessitaria de mais calor no interior do forno.

Um problema que ocorreu durante a realização do teste com carga foi que o vidro do forno ficou embaçado, Figura 55, isso foi mais perceptível durante o assamento das pizzas, ocorrendo em todos os alimentos testados. Com isso, na parte inferior, ou seja, no interior do forno o vidro condensou. Essa condensação dificultou a absorção dos raios solares pela chapa absorvedora. Então, foi necessário a limpeza interna de todo o vidro do forno. A limpeza do condensado foi feita empregando-se um tecido limpo.

Figura 55 – Vidro do forno embaçado durante o assamento das pizzas.



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

4.5 Balanço energético do forno solar proposto

4.5.1 Energia absorvida pelo forno

A equação (3) representa a energia proveniente da radiação solar global que incide diretamente no forno solar e a equação (4) é basicamente a energia proveniente da radiação solar direta refletida nos espelhos externos situados no topo do forno solar. A radiação global que será usada é a média das radiações obtidas durante o ensaio do forno, Tabela 09. Logo, $I_g = 933 \text{ W/m}^2$.

$$E_g = I_g \cdot \tau_v \cdot A_v = (933) \cdot (0,85) \cdot (0,25) = E_g = 198,26 \text{ W} \quad (3)$$

$$I_d = 0,8 \cdot I_g = (0,8) \cdot (933) = I_d = 746,4 \text{ W/m}^2$$

$$E_{re} = I_d \cdot \rho_e \cdot \tau_v \cdot A_{ue} = (746,4) \cdot (0,95) \cdot (0,85) \cdot (0,32) \quad (4)$$

$$E_{re} = 192,87 \text{ W}$$

Logo, a energia efetiva que entra no forno é dada pela equação (2) a seguir:

$$E_{ef} = E_g + E_{re} = 198,26 + 192,87 = E_{ef} = 391,13 \text{ W} \quad (2)$$

4.5.2 Energia perdida pelo forno

4.5.2.1 Perdas pelas laterais do forno

Utilizando a equação (7), determina-se o coeficiente global de perdas pelas laterais do forno solar.

$$U_{lat} = \frac{1}{\frac{e_{pu}}{K_{PU}} + \frac{e_{aço}}{K_{aço}}} = \frac{1}{\frac{0,03}{0,035} + \frac{0,0008}{52}} \quad (7)$$

$$U_{lat} = 1,167 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Lembrando que a camada de material que forma todas as laterais do forno é composta por: aço e isopor (poliestireno expandido), com espessuras de 0,8mm e 30mm respectivamente. A equação (6) define a taxa energia perdida pelas laterais.

$$E_{lat} = U_{lat} \cdot A_{lat} \cdot (T_{mint} - T_{mext}) \quad (6)$$

Com o intuito de minimizar a ocorrência de erros nos cálculos, foi considerada a média das temperaturas das laterais, no entanto, foi realizado o cálculo para cada uma. Com isso, a Tabela 21 retrata os resultados de $Q_{lat(i)}$, para cada lateral, pois se fosse feita a média da diferença de temperatura entre as quatro laterais aumentaria a quantidade de erros afetando diretamente na eficiência do forno. Ao final tem-se o E_{lat} através do somatório dos $Q_{lat(i)}$.

Tabela 20 – Taxa de energia térmica perdida pelo perímetro do forno solar.

Dimensões do forno solar proposto					
Lateral	L (m)	H (m)	A (m ²)	ΔT (°C)	$Q_{lat(i)}$ (W)
Norte	0,785	0,235	0,184	29,32	6,30
Sul	0,785	0,235	0,184	50,65	10,88
Leste	0,390	0,235	0,092	44,35	4,76
Oeste	0,390	0,235	0,092	41,00	4,40
E_{lat}					26,34 W

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Tabela 22 contém as temperaturas médias da superfície externa do vidro e do fundo do forno, como também a área referente a essas superfícies.

Tabela 21 – Temperaturas e áreas externa do vidro e do fundo do forno.

Superfície	Temp. Média (°C)	Área (m ²)
Externa do vidro	56,78	0,25
Fundo do forno	40,93	0,31

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.5.2.2 Perdas pelo fundo do forno

Para determinar o coeficiente global das perdas pelo fundo do forno, empregou-se a equação (8), conforme a camada formada por chapa de aço, folha de MDF e camada de isopor.

$$U_{fun} = \frac{1}{\frac{e_{aço}}{K_{aço}} + \frac{e_{MDF}}{K_{MDF}} + \frac{e_{pu}}{K_{PU}}} = \frac{1}{\frac{0,0008}{52} + \frac{0,015}{0,017} + \frac{0,03}{0,035}} \quad (8)$$

$$U_{fun} = 0,575 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Pela equação (9), determina-se a taxa de energia perdida pelo fundo.

$$E_{fun} = U_{fun} \cdot A_{fun} \cdot (T_{mint} - T_{mext}) = (0,575) \cdot (0,31) \cdot (73,15) \quad (9)$$

$$E_{fun} = 13,04 \text{ W}$$

4.5.2.3 Perdas pela tampa de vidro

O coeficiente de troca térmica por convecção, entre o vidro e o ar ambiente foi determinado pela equação (10), abaixo:

$$h_{c(ve-a)} = 2,8 + 3 \cdot v_v \quad (10)$$

Para obtenção do coeficiente de troca térmica radiativa entre a superfície externa do vidro e o ambiente utiliza-se a equação (11), abaixo:

$$h_{r(ve-a)} = 5,16 \cdot 10^{-8} \frac{T_{ve}^4 - T_{sky}^4}{T_{ve} - T_a} \quad (11)$$

A temperatura ambiente (T_a) no dia do experimento era de 29°C. A partir do valor de T_a pode-se obter o valor de T_{sky} através da equação (12), a seguir:

$$T_{sky} = 0,0552 \cdot T_a^{1,5} \quad (12)$$

Onde:

$$T_a = 29^\circ\text{C} + 273,15 = T_a = 302,15 \text{ K}$$

$$T_{sky} = 0,0552 \cdot T_a^{1,5} = (0,0552) \cdot (302,15)^{1,5} = T_{sky} = 289,92 \text{ K}$$

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

$$T_{ve} = 56,78^\circ\text{C} + 273,15 = T_{ve} = 329,93 \text{ K}$$

$$h_{r(ve-a)} = 5,16 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{T_{ve}^4 - T_{sky}^4}{T_{ve} - T_a} = (5,16 \cdot 10^{-8}) \cdot \frac{(329,93)^4 - (289,92)^4}{329,93 - 302,15}$$

$$h_{r(ve-a)} = 8,89 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Então obteve com a equação (13) o coeficiente global de perdas pelo vidro (tampa do forno), conforme a seguir:

$$U_v = \frac{1}{\frac{1}{h_c(v_e-a)} + h_r(v_e-a)} = \frac{1}{(4,9+8,89)} \quad (13)$$

$$U_v = 13,79 W$$

Com a equação (14), abaixo, determina-se o coeficiente global de perdas pelo vidro (tampa do forno).

$$E_v = U_v \cdot A_v \cdot (T_{ve} - T_a) = (13,79) \cdot (0,25) \cdot (329,93 - 302,15) \quad (14)$$

$$E_v = 95,77 W$$

Com base nos cálculos realizados anteriormente é possível definir a taxa de energia total perdida pelo forno, equação (5):

$$E_{pf} = E_{lat} + E_{fun} + E_v = 26,34 + 13,04 + 95,77 \quad (5)$$

$$E_{pf} = 135,15 W$$

4.5.3 Rendimento térmico do forno

A taxa de energia total absorvida pelo forno é dada pela equação (15):

$$E_{abs} = E_{ef} - E_{pf} = 391,13 - 135,15 \quad (15)$$

$$E_{abs} = 255,98 W$$

A eficiência do forno é dada pela equação (16) abaixo:

$$\eta_{forno} = \frac{E_{abs}}{E_{ef}} \times 100 = \frac{255,98}{391,13} \times 100 \quad (16)$$

$$\eta_{forno} = 65\%$$

O resumo do balanço de energia do forno solar sem carga está contido na Tabela 22.

Tabela 22 – Balanço térmico e eficiência do forno solar em estudo, sem carga.

Aporte energético	Taxa de energia (W)	Contribuição (%)
Taxa de energia total incidente (E_{ef})	391,13	100
Taxa de energia perdida pelas laterais (E_{lat})	26,34	6,73
Taxa de energia perdida pelo fundo (E_{fun})	13,04	3,34
Taxa de energia perdida pelo vidro (E_v)	95,77	24,48
Taxa de energia absorvida (E_{abs})	255,98	65,45
Eficiência do forno, sem carga (η_{forno})	65%	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Repetindo os cálculos anteriores foi possível encontrar o rendimento do forno com carga. Para isso montou a Tabela 23 contendo o rendimento do forno com os dois bolos e a Tabela 24 com as pizzas como cargas.

Tabela 23 – Aporte energético e eficiência do forno, com carga – Bolos.

Aporte energético	Taxa de energia (W)	Contribuição (%)
Taxa de energia total incidente (E_{ef})	392,4	100
Taxa de energia perdida pelas laterais (E_{lat})	30,07	7,66
Taxa de energia perdida pelo fundo (E_{fun})	8,45	2,15
Taxa de energia perdida pelo vidro (E_v)	85,75	21,86
Taxa de energia absorvida (E_{abs})	268,13	68,33
Eficiência do forno, com carga (η_{forno_bolos})	68%	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 24 – Aporte energético e eficiência do forno, com carga – Pizzas.

Aporte energético	Taxa de energia (W)	Contribuição (%)
Taxa de energia total incidente (E_{ef})	404,54	100
Taxa de energia perdida pelas laterais (E_{lat})	25,30	6,25
Taxa de energia perdida pelo fundo (E_{fun})	10,87	2,69
Taxa de energia perdida pelo vidro (E_v)	62,37	15,42
Taxa de energia absorvida (E_{abs})	306	75,64
Eficiência do forno, com carga (η_{forno_pizza})	76%	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Observando as Tabelas 22, 23 e 24 percebe-se que a eficiência aumentou mesmo que com carga. O principal motivo para isso ocorrer foi pelo simples fato do forno está com carga, ou seja, como o forno se encontrava com alimento em seu interior, esse alimento absorve boa parte da energia que entra no forno. Com isso, as taxas de energias perdidas pelo fundo, vidro e laterais são reduzidas, fazendo com

que a eficiência do forno aumente. A taxas de energias perdidas foram as menores e a energia absorvida foi a maior no assamento das pizzas, pois estas absorvem mais facilmente o calor, quando comparadas com os bolos.

Outro motivo para o aumento da eficiência com carga é que durante a medição sem carga, que foi realizada das 10h às 10h30, as temperaturas e radiações obtidas foram baixas. Já durante os ensaios com cargas, bolos e pizzas, as temperaturas e radiações foram maiores que também influenciam no aumento considerável da energia que entra no forno solar (E_{ef}).

É importante salientar que para os cálculos das eficiências do forno foi empregado os dados colhidos no dia 24 de maio de 2019, pois estes continham os valores das radiações globais e das temperaturas das laterais, fundo e vidro do forno.

4.6 Custos na construção do forno proposto

Para a construção do forno solar foi necessário a aquisição de alguns materiais. Logo, a Tabela 25 contém todos os produtos empregados na confecção do forno. É importante lembrar que alguns desses materiais foram reaproveitados, ou seja, reciclados e, por esse motivo estão descritos como “Doado pelo LMHES”.

Tabela 25 – Custos em reais para a fabricação do forno.

MATERIAIS	PREÇO (R\$)
Chapa de MDF	Doado pelo LMHES
Cola branca, Acrilex, 500 g	R\$ 10,80
Dois Gabinetes HP ELITE 8000 SFF	Doado pelo LMHES
Espetos de bambu para churrasco, Billa	R\$ 3,00
Pincel e rolo de pintura	R\$ 7,50
Placas de EPS (ISOPOR) 30mm	R\$ 13,10
Quatro unidades de tinta vermelho fogo, Acrilex, 37 ml	R\$ 10,20
Rebites em alumínio, Ø 2,5 mm	R\$ 5,00
Resina	Doado pelo LMHES
Solvente, Gênese, 900 ml	R\$ 18,40
Tinta preto fosco/Negro mate, Rural, 900 ml	R\$ 25,00
Vidro	Doado pelo LMHES
TOTAL	R\$ 93,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O custo total para fabricação do forno solar foi de R\$ 93,00 um valor que é acessível para comunidades de baixa renda, isso se for comparado com um forno a gás, custo de um fogão ou forno de embutir varia de R\$ 350,00 até R\$ 6.000,00, ou com um forno elétrico, que apresenta preços que variam de R\$ 120,00 à R\$ 5.000,00 dependendo do modelo.

Logo, o forno solar é mais barato que um forno a gás ou elétrico, que apresentam valores elevados quando se faz uma comparação direta. Sem contar que o forno a gás necessita que se adquira o gás de cozinha para sua utilização, que atualmente gira em torno de R\$ 70,00 um botijão. Os custos de manutenção são baixos, pois o que será feito é basicamente a revitalização da pintura externa e interno, quando necessário, e limpeza do vidro e do interior do forno quando for usado.

5 Conclusões

Após a construção e teste do forno solar pode-se afirmar que objetivo do estudo foi alcançado com sucesso, já que o intuito era construir, testar e avaliar a viabilidade de um forno solar do tipo caixa de baixo custo, fabricado com material reciclável, gabinete de computador – CPU. Nas condições estabelecidas neste trabalho, pode-se afirmar que:

- O forno solar foi viável na cocção de vários alimentos, com eficiência média de 70%, mas seus tempos de assamento foram superiores aos dos fornos a gás;
- A eficiência do forno sem carga foi de 65% e com cargas foi de: 68% para assar bolos e 76% para pizzas. Essas diferenças nas eficiências foram devidas as variações das temperaturas, das radiações e principalmente o forno está com carga, pois essas cargas (os alimentos) absorvem energia e reduzem as perdas;
- O forno apresentou boa eficiência durante o período das 10h às 14h, sempre respeitando as variações climáticas, mas após as 12h houve uma queda na temperatura devido a diminuição da radiação solar;
- Custo de fabricação baixo, R\$ 93.00, manuseio simples e fácil montagem, são os motivos para esse forno ser utilizado por comunidades carentes, pois pode-se reduzir os gastos com gás de cozinha ou energia elétrica;
- Uma das características principais desse forno é sua capacidade de assar vários alimentos ao mesmo tempo devido suas boas dimensões;
- O transporte do forno não gera grandes dificuldades, pois seu peso é de 7kg;
- A fabricação do forno solar com materiais recicláveis contribui para redução do desequilíbrio ecológico, pois retira do meio ambiente materiais danosos;
- A operacionalidade do forno traz riscos de baixa intensidade para o usuário, sendo necessário maior cuidado ao abri-lo para a retirada do alimento.

6 Sugestões para Trabalhos Futuros

A seguir estão descritas algumas sugestões para próximos trabalhos:

- Assar os alimentos em sacos transparentes para reduzir a condensação (vidro embaçado) da tampa de vidro;
- Para reduzir a condensação pode-se utilizar alimentos que apresente menos quantidade de água em sua composição;
- Assar os alimentos em condições solarimétricas variáveis;
- Revestir todo o forno com madeira para se obter um isolamento além do isopor que foi empregado;
- Fixar o vidro em uma das extremidades ou fabricar uma moldura para ele e, colocar dobradiças nas laterais do forno e na tampa de vidro para facilitar a abertura e fechamento do forno;
- Criar um manual simples com: montagem, operação, tempos de cozimentos para alguns alimentos e cuidados durante a operação desse tipo de forno solar.

7 Referências

AALFS, M. **Principles of Solar Box Cooker Design**. Natal, 22 ago. 2018. Disponível em: <http://solarcooking.wikia.com/wiki/Principles_of_Solar_Box_Cooker_Design#>. Acesso em: 22 ago. 2018.

AALFS, M. **Princípios dos Projetos dos Fogões Solares de Caixa**. Natal, 28 ago. 2018. Disponível em: <<http://solarcooking.org/portugues/sbcdes-pt.htm#>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

AMBIENTE BRASIL. **Energia Solar Fototérmica**. Natal, 01 ago. 2018. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/energia_solar_fototermica.html>. Acesso em: 01 ago. 2018.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil – Agência Nacional de Energia Elétrica**. 2 ed. Brasília, 2005. 243 p.

ARAÚJO, C. C. **Fabricação e Estudo de Um Forno Solar tipo Caixa com Dispositivo de Transporte**. 2015. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

BEZERRA, A. M. **Aplicações Térmicas de Energia Solar**. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2001, 243 p.

BEZERRA, A. M. **Energia Solar: Aquecedores de Água**. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 1998. 129 p.

BOENTE, A. N. P. **Produção de Energia Limpa para Redução dos Impactos Ambientais: Estudo de Caso do Parque Eólico de Gargaú no Estado do Rio de Janeiro**. XII SEGeT, Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Tema: Otimização de Recursos e Desenvolvimento. Associação Educacional Dom Bosco. AEDB. Resende, Rio de Janeiro, 1-10 p. out. 2015.

BRASIL, A. M.; SANTOS, F. **Equilíbrio ambiental e resíduos na sociedade moderna**. São Paulo: Faarte Editora Ambiental, 2004, 223 p.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: uma Abordagem Prática**. 4ª. ed. [s.l.]: Mc Graw Hill, Bookman, 2012. 906 p.

CASTRO, F. K. R. **Construção e Análise de Desempenho de um Fogão Solar à Concentração Desenvolvido a partir de Materiais Recicláveis – Instrumento para Promover uma Política Social e Sustentável para a Cidade de Angicos/RN**. 2012. 76 p. Monografia (Graduação em Ciências e Tecnologia). Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRS, Angicos, 2012.

CEPEL. **Energia Solar – Princípios e Aplicações**. CRESEB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Rio de Janeiro, 2006, 28 p.

COLLE, S., PEREIRA, E. B. **ATLAS de Irradiação Solar do Brasil. (1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície)**. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar – EMC/UFSC. Brasília, 1998. 65 p.

COMETA, E. **Energia Solar: Utilização e Empregos Práticos**. São Paulo: Editora Hemus, 2004, 127 p.

CORIOLOANO, D. L. et al. **Projeto, Desenvolvimento e Teste de Fogões Solares**. Instituto Federal de Sergipe, Curso de Tecnologia em Automação Industrial e Universidade Tiradentes, Instituto de Tecnologia e Pesquisa. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018. 8 p.

DIENSTMANN, G. **Energia Solar uma Comparação de Tecnologias**. Projeto de Diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Departamento de Engenharia Elétrica. Porto Alegre, 2009, 92 p.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 2ª Edição, John Wiley & Sons: New York, 1991.

ECOEICIENTES. O que são Sistemas Solares Passivos? Natal, 02 ago. 2018. Disponível em: <<http://www.ecoeficientes.com.br/sistemas-solares-passivos/>>. Acesso em 02 ago. 2018.

ELETROSUN. Mesmo em Dias Nublados o Gerador Solar Fotovoltaico Gera Energia, Você Sabia Disso? Natal, 27 jul. 2018. Disponível em: <<http://eletrosun.com.br/mesmo-em-dias-nublados-o-gerador-solar-fotovoltaico-gera-energia-voce-sabia-disso/>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). O Compromisso do Brasil no Combate às Audaças Climáticas: Produção e Uso da Energia. Rio de Janeiro, 2016.

FINNA. Mistura para Brownie Tradicional 450g. Natal, 02 jun. 2019. Disponível em: <<http://www.finna.com.br/pt/produtos/mistura-para-bolo-de-brownie-tradicional/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

FINNA. Mistura para Bolo de Chocolate Tradicional 450g. Natal, 02 jun. 2019. Disponível em: <<http://www.finna.com.br/pt/produtos/mistura-para-bolo-de-chocolate-tradicional/>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

FONSECA, L. H. A. Reciclagem: O Primeiro Passo para a Preservação Ambiental. Revista Científica Semana Acadêmica - ISSN 2236-6717. V. 01. N. 36, 1-30 p, 2013.

GOMES, J. W. Construção e Análise de Desempenho de um Forno/Fogão Solar Tipo Caixa Alternativo Construído a Partir de uma Sucata de Pneu. 2009. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables: version 16. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Sydney, v. 8, 377-384 p, 2000

INCROPERA. THEODORE, L. B. et al. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. LTC, 7ª edição, Rio de Janeiro, 2016, 672 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Snapshot of global photovoltaic markets**. Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2016, 16 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Snapshot of global photovoltaic markets**. Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2018, 16 p.

JUNIOR, A. P. M. **Fabricação e Estudo de um Fogão Solar Multifocal para Cocção de Alimentos**. 2016. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

LAYRARGUES, P. P. **Sistemas de Gerenciamento Ambiental, Tecnologia Limpa e Consumidor Verde: a delicada relação empresa-meio ambiente no ecocapitalismo**. ERA – Revista de Administração de Empresas. Economia Verde. São Paulo, v. 40, n.2, 80-88 p, abr./jun. 2000.

LEFF, E. **La Capitalización de La Naturaleza y Las Estrategias Fatales de La Sustentabilidad**. Formación Ambiental, v. 7, n. 16, 17-20 p, 1996.

LINCOLINS, T. **Arma de Luz de Arquimedes: O “Laser” da Antiguidade**. Natal, 25 jun. 2019. Disponível em: <<https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/almanaque/historia-antiguidade-laser-arma-luz-arquimedes.phtml>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

LION F., C. A. P. Q. **Construção e Análise de Desempenho de um Fogão Solar à Concentração Utilizando Dois Focos Para Cozimento Direto**. 2007. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

LOMASSO, A. L. et al. **Benefícios e Desafios na Implementação na Reciclagem: Um Estudo de caso no Centro Mineiro de Referência em Resíduos (CMRR)**. Revista Pensar Gestão e Administração, v. 3, n. 2, 20p, jan. 2015.

LOPO, A. B. **Análise do Desempenho Térmico de um Sistema de Aquecimento Solar de Baixo Custo**. 2010. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

MAGRI, R. **Análise Termoelástica da Desmontagem da União Eixo-Cubo com Interferência Transversal Utilizando o Método dos Elementos Finitos**. 2012. 85 p. Graduação em Engenharia Mecatrônica. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2012.

MANO, E. B. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 2000. 197 p.

MANUAL DE REFERÊNCIA DE HARDWARE. **HP Compaq 8000 Elite Small Form Factor Business PC**. Natal, 09 set. 2018. Disponível em: <h10032.www1.hp.com/ctg/Manual/c01957833>. Acesso em: 09 set. 2018.

MARTINS, F. R. P. et al. **Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário** – o Projeto Swera. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 2, 145 – 159 p, 2004.

MATEMÁTICA DA VIDA. **Função Quadrática: Gráficos a partir dos Pontos Notáveis**. Natal, 08 ago. 2018. Disponível em: <<http://matematicadavida1.blogspot.com/>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÕES (MCTIC). **Contribuição do Brasil para Evitar a Mudança do Clima**. Natal, 07 set. 2018. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=2ahUKewi-iZK1kIXjAhUYIrkGHQlpBjYQFjAHegQICBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.mctic.gov.br%2Fmctic%2Fexport%2Fsites%2Finstitucional%2Fciencia%2FSEPED%2Fclima%2Farquivos%2Fpublicacoes_cimgc%2FContribuicao-do-Brasil-para-evitar-a-Mudanca-do-Clima.pdf&usg=AOvVaw2JzfBV2L7apjNDbywFnS7A>. Acesso em: 07 set. 2018.

MELO, A. V. **Projeto, Construção e Análise de Desempenho de um Forno Solar Alternativo Tipo Caixa a Baixo custo**. 2008. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Natal, 2008.

MENDES, A. **Energia Solar Atrai Investidores ao RN**. Jornal Tribuna Do Norte. Natal. 4 p, abr. 2012. Natal, 31 jul. 2018. Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/energia-solar-atraiiinvestidores-aorn/216519>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

METEONORM. **Global Meteorological Database for Solar Energy and Applied Climatology**. V. 4.0, Swiss Federal Office of Energy. 1999.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim Mensal de Monitoramento do Setor Elétrico – dezembro de 2016**. Brasília: MME, 2016, 41 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim Mensal de Monitoramento do Setor Elétrico – junho de 2018**. Brasília: MME, 2018, 31 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Reciclagem**. Natal, 13 jul. 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/7656-reciclagem>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

MORELLI, F. S. **Panorama Geral da Energia Eólica no Brasil**. 2012. 77 p. Monografia. Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MOURA, J. P. **Construção e Avaliação Térmica de um Fogão Solar Tipo Caixa**. 2007. 209 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

MUNDIEPS. **Placas de EPS Isopor**. Natal, 14 ago. 2018. Disponível em: <<http://www.mundi-eps.com.br/placas-eps-isopor>>. Acesso em: 14 ago. 2018.

NASCIMENTO, T. C.; MENDONÇA, A. T. B. B.; CUNHA, S. K. **Inovação e sustentabilidade na produção de energia: O caso do Sistema Sectorial de Energia Eólica no Brasil**. Caderno EBAPE, v. 10, n. 3, set. 2012.

NAVROSKI, M. C. et al. **Avaliação do Isolamento Térmico de Três Diferentes Materiais Usados na Construção e Preenchimento de Paredes Externas**. Ciência da Madeira, Pelotas, v. 01, nº 1, 41 – 51 p, 2010. ISSN: 2177-6830.

NEOSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica**. Natal, 01 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

NOVAESCOLA. **Construção de um Forno Caseiro**. Natal, 20 jun. 2019. Disponível em: <<https://novaescola.org.br/plano-de-aula/2005/construcao-de-um-forno-caseiro>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

OC, Observatório do Clima. **Energias Limpas, Financiamento nos BRICS**. São Paulo. 6 p, out. 2016. Natal, 16 jul. 2018. Disponível em: <www.observatoriodoclima.eco.br/wp.../10/financiamento-energias-limpas-brics.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2018.

PERDIGÃO. **Linguiça Calabresa**. Natal, 16 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.perdigao.com.br/produtos/linguicas/todas-as-linguicas-defumadas/linguica-calabresa/>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José do Campos, São Paulo, 2017. 88 p.

PINHO, J. T. et al. **Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para Amazônia**. 1. ed. Belém: Brasília, 2008. 396 p.

PINTO, C. et al. **Energia Solar**. Projeto FEUP. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Portugal, 2015, 29 p.

PINTO, M. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

QUERINO, C. A. S. et al. **Avaliação e Comparação de Radiação Solar Global e Albedo com Ângulo Zenital na Região Amazônica**. Rev. Bras. de Meteorologia. v. 21(3a), 42 – 49 p, 2006.

RAMALHO, S. A. et al. **Avaliação do Cozimento de Batata Inglesa e Cenoura em Fogão Solar tipo “Olla”**. Scientia Plena. v. 8, nº. 4 – 5 p, 2012.

RAMOS FILHO, R. E. B. **Análise de Desempenho de um Fogão Solar Construído a partir de Sucatas de Antena de TV**. 2011. 96 p. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

RAMOS, R. E. M. **Desenvolvimento de um Sistema Híbrido de Destilação Solar para Tratamento de Água Produzida**. 2009. 107 p. Monografia (Graduação em Engenharia Química) Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

REIS, E. P. **Análise do Desempenho Térmico de um Sistema de Aquecimento Solar Utilizando Coletor com Superfície Absorvedora em Chapas de Forro de PVC**. 2009. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Salvador, 2009.

REZENDE, A. N. **A Utilização de Fornos Solares do Tipo Caixa para o Aquecimento de Alimentos**. 2015. 55 p. Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

ROCHA FILHO, J. B.; SALAMI, M. A.; HILLEBRAND, V. **Construção e Caracterização de uma Célula Fotoelétrica para Fins Didáticos**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Porto Alegre, v. 28, n. 4, 555 – 561 p, set. 2006.

SADIA. **Pizza de Franco com Requeijão e Mussarela 460g**. Natal, 12 mai. 2019. Disponível em: <https://www.sadia.com.br/produtos/pizza-de-frango-com-requeijao-e-mussarela-460g?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PSQ-SADIA-GENERICA-PRODUTO-PIZZAFRANGOCOMREQUEIJAO&utm_content=SA-BLK-GS-AON19-GEN-X-TXT-X-CPC-CGL-PIZ>. Acesso em: 12 mai. 2019.

SADIA. **Nuggets Tradicional 300g**. Natal, 12 mai. 2019. Disponível em: <https://www.sadia.com.br/produtos/nuggets-tradicional-300g?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=PSQ-SADIA-BRAND-PRODUTO-NUGGETS&utm_content=SA-BLK-GS-AON19-BND-X-TXT-X-CPC-CGL-NUG>. Acesso em: 12 mai. 2019.

SANTOS FILHO, E. A.; DA SILVA, V. R. **Construção e Teste de Forno Solar**. 2008. 71 p. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Aracruz – FAACZ, Espírito Santo, 2008.

SANTOS, R. D. **Estudo Térmico e de Materiais de um Compósito a Base de Gesso e EPS para a Construção de Casas Populares**. 2008, 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SANTOS, T. J. **Sol: Estrutura e Evolução**. Observatório astronômico Frei Rosário. Universidade Federal de Minas Gerais. Natal, 25 jul. 2018. Disponível em: <<http://www.observatorio.ufmg.br/pas25.htm>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

SANTOS, M. A. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa Derivadas de Hidrelétricas**. 2000. 154 p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético). Programa de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

SEARA. **Pizza de Frango com Catupiry**. Natal, 25 mai. 2019. Disponível em: <<https://www.seara.com.br/produto/pizza-de-frango-com-catupiry>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

SILVA, W. G. **Estudo de Viabilidade Térmica de um Forno Solar Fabricado a partir de uma Geladeira em Desuso**. 2017. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Natal, 05 nov. 2018. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKewiZlvzejYXjAhV5LLkGHXXoBPAQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww12.senado.leg.br%2Fpublicacoes%2Festudos-legislativos%2Ftipos-de-estudos%2Ftextos-para-discussao%2Ftd166&usg=AOvVaw0iCDUV_HyRzL5uyoAGsP2i>. Acesso em: 05 nov. 2018.

SOCIEDADE DO SOL. **Forno Solar de Baixo Custo**. Natal, 07 ago. 2018. Disponível em: <<http://www.sociedadedosol.org.br/site/fornosolar/fornoss.htm>>. Acesso em: 07 ago. 2018.

SOLARCOOKING. **Horace de Saussure and his Hot Boxes of the 1700's**. Natal, 06 ago. 2018. Disponível em:<<http://solarcooking.org/saussure.htm>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

SOUZA L. G. M. et al. **Solar Oven/Cooker Manufactured from a Waste Drum**. 21th COBEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Natal – RN, 2011.

SOUZA FILHO, J. R. **Projeto, Construção e Levantamento de Desempenho de um Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico com Mecanismo Automático de Rastreamento Solar**. 2008. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SOUZA, L. G. M. et al. **Fogão Solar à Concentração Construído a partir de uma Sucata de Antena Parabólica**. VI CONEM – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Salvador – BA, 2008.

SOUZA, R. F. **Viabilidade de Uso de um Fogão Solar para Cocção de Alimentos com Parábola Refletora Fabricada em Compósito que Utiliza Fibras de Carnaúba e Resina Ortoftálica**. 2014. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.

TODOPRODUCTIVIDAD. **Introducción al Diseño y Construcción de una Cocina Solar (I)**. Natal, 08 ago. 2018. Disponível em: <<http://todoproductividad.blogspot.com/2011/06/introduccion-al-diseno-y-construccion.html>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

ÜLTANIR, M. **Recipientencial of new and renewable energy sources in long-term utilisation for Turkish rural áreas.** Proceedings of AGEND 94, 29th August-1st September, Milano, Italy, pp. 822-828. 1994.

VARELA, P. H. A. **Viabilidade Térmica de um Forno Solar Fabricado com Sucatas de Pneus.** 2013. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

ZIMMERMANN, A.; FRANÇA, F. **Prepare seus Alimentos com a Energia do Sol. Faça Você Mesmo um Fogão Solar.** Natal, 07 ago. 2018. Disponível em: <sustentavelnpratica.net/arquivos/fogaosolar.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2018.



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

Natal, 19 de junho de 2019.

Ao(s) **dezenove** dia(s) do mês de **junho** do ano de **dois mil e dezenove**, às **dez horas**, no **Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar**, neste Campus Universitário, instalou-se a banca examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso do(a) aluno(a) **MATEUS DA SILVA CHIANCA**, matrícula **20160153623**, do curso de Engenharia Mecânica. A banca examinadora foi composta pelos seguintes membros: **LUIZ GUILHERME MEIRA DE SOUZA**, orientador; **MÁRIO CÉSAR DE OLIVEIRA SPINELLI**, examinador externo; **SALOMAO SAVIO BATISTA**, examinador externo. Deu-se início à abertura dos trabalhos pelo **LUIZ GUILHERME MEIRA DE SOUZA**, 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 FABRICADO COM GABINETE DE COMPUTADOR EM DESUSO**", marcando um tempo de trinta minutos para a apresentação. Concluída a exposição, **LUIZ GUILHERME MEIRA DE SOUZA**, orientador, passou a palavra aos examinadores para argüirem 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.

LUIZ GUILHERME MEIRA DE SOUZA

Orientador

MÁRIO CÉSAR DE OLIVEIRA SPINELLI

Examinador externo

SALOMAO SAVIO BATISTA

Examinador externo