



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CAMPUS RUSSAS  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**JOÃO VÍCTOR NOGUEIRA GONÇALVES**

**FORNO SOLAR DE BAIXO CUSTO: CONSTRUÇÃO E ESTUDO DA  
VIABILIDADE TÉRMICA**

**RUSSAS**

**2022**

JOÃO VÍCTOR NOGUEIRA GONÇALVES

FORNO SOLAR DE BAIXO CUSTO: CONSTRUÇÃO E ESTUDO DA VIABILIDADE  
TÉRMICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira

RUSSAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

G625f Gonçalves, João Vítor Nogueira.  
Forno solar de baixo custo: Construção e estudo da viabilidade térmica / João Vítor Nogueira Gonçalves. –  
2022.  
79 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,  
Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2022.  
Orientação: Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira.

1. Energia solar. 2. Forno solar. 3. Baixo custo. 4. Rendimento térmico. I. Título.

CDD 620.1

---

JOÃO VÍCTOR NOGUEIRA GONÇALVES

**FORNO SOLAR DE BAIXO CUSTO: CONSTRUÇÃO E ESTUDO DA  
VIABILIDADE TÉRMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profª. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profª. Dra. Silvia Teles Viana  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Camilo Augusto Santos Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, João Gonçalves Alexandrino  
Neto e Maria de Sousa Nogueira Gonçalves.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus a oportunidade de conseguir chegar até aqui, pelas pessoas que ele colocou em minha vida nessa jornada universitária, e por ter me protegido de todas as formas.

A minha família, em especial meu pai, João Gonçalves Alexandrino Neto, e a minha mãe, Maria de Sousa Nogueira Gonçalves, que me ensinaram, educaram, apoiaram e me ajudaram da maneira que possível, não medindo esforços para que essa conquista acontecesse.

A minha professora orientadora, a Profa. Dra. Caroliny Gomes de Oliveira, por ter me aceitado meu convite para me ajudar, e ainda, por seus ensinamentos, disponibilidade, criatividade, ajuda e incentivo tanto na sala de aula, como me auxiliando nesse trabalho.

A banca examinadora, composta pelos professores Silvia Teles Viana e Camilo Augusto Santos Costa, por serem excelentes pessoas e profissionais, tanto na sala de aula, como fora dela.

Aos meus amigos pelo companheirismo e amizade durante todos esses anos acadêmicos, ao qual em nome de Gilvan Antonio Cappi, Bruno Herculano, João Paulo Alves, Pedro Henrique Macena, Lardner Dias e Orismildes Neto, agradeço a todos aqueles que me ajudaram e me acolheram neste estado.

“Não faz sentido olhar para trás e pensar:  
devia ter feito isso ou aquilo, devia ter estado  
lá. Isso não importa. Vamos inventar o  
amanhã, e parar de nos preocupar com o  
passado.”

(Steve Jobs), 2006

## RESUMO

A energia solar vem cada dia sendo a principal alternativa energética para as próximas gerações, principalmente por ser uma inesgotável fonte de energia e podendo substituir parcialmente as energias não renováveis. Entre as formas e meios de captar essa energia e utilizar ao nosso favor, temos os fornos solares, sendo uma ótima opção pelo seu custo, manutenção, eficiência e por utilizar uma fonte de energia limpa e de fácil acesso. O presente trabalho apresenta um forno solar do tipo caixa, fabricado utilizando madeira compensada naval, isopor EPS, espelho, vidro, dobradiças e chapa de alumínio. O principal objetivo para a construção desse forno foi criar uma alternativa mais barata e menos poluente aos fornos convencionais, beneficiando assim pessoas com menor poder aquisitivo ou que moram em áreas rurais de difícil acesso. Neste trabalho será apresentado todo o projeto desse forno, mostrando a física envolvida nele, a sua construção, seu custo e os resultados obtidos no ensaio, confirmando sua viabilidade térmica e sua eficiência. O forno solar proposto apresentou uma boa eficiência no assamento de alimentos, mesmo seu tempo sendo superior aos fornos convencionais. O custo total para fabricação foi de 186,00 reais e o rendimento térmico calculado foi de 52,5%, devido às perdas de calor no forno por fatores externos. Por fim, ficou constatado que o forno solar é um equipamento viável, principalmente pelo seu pouco poder aquisitivo e sua eficiência em assar alimentos na qual pode contribuir com famílias que não tem como possuir ou manter um forno de gás convencional.

**Palavras-chave:** energia solar; forno solar, baixo custo, rendimento térmico.

## ABSTRACT

Solar energy is becoming the main energy alternative for the next generations, mainly because it is an inexhaustible source of energy and can partially replace non-renewable energies. Among the ways and means of capturing this energy and using it to our advantage, we have solar ovens, being a great option for their cost, maintenance, efficiency and for using a clean and easily accessible source of energy. The present work presents a box-type solar oven, manufactured using marine plywood, EPS styrofoam, mirror, glass, hinges and aluminum plate. The main objective for the construction of this oven was to create a cheaper and less polluting alternative to conventional ovens, thus benefiting people with lower purchasing power or who live in rural areas with difficult access. In this work, the entire project of this furnace will be presented, showing the physics involved in it, its construction, its cost and the results obtained in the test, confirming its thermal viability and its efficiency. The proposed solar oven presented a good efficiency in food baking, even though its time was superior to conventional ovens. The total cost for manufacturing was 186.00 reais and the calculated thermal yield was 52.5%, due to heat losses in the oven due to external factors. Finally, it was found that the solar oven is a viable equipment, mainly due to its low purchasing power and its efficiency in roasting food in which it can contribute to families that cannot own or maintain a conventional gas oven.

**Keywords:** solar energy; solar oven, low cost, thermal performance.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b>	Distribuição da radiação solar que chega à superfície terrestre, expressa em kcal/(cm <sup>2</sup> /ano).....	18
<b>Figura 02</b>	Percurso da luz solar através da atmosfera.....	19
<b>Figura 03</b>	Esquema de um sistema de energia fotovoltaica.....	20
<b>Figura 04</b>	Esquema de um coletor solar plano.....	22
<b>Figura 05</b>	Fogão solar.....	23
<b>Figura 06</b>	Total diário de irradiação global horizontal (média anual) no Brasil.....	24
<b>Figura 07</b>	Normal climatológica de precipitação anual.....	25
<b>Figura 08</b>	Classificação climática para o Brasil.....	26
<b>Figura 09</b>	Topografia do território Brasileiro.....	27
<b>Figura 10</b>	Mapa de radiação solar global no estado do Piauí.....	28
<b>Figura 11</b>	Corte lateral do forno solar P.S multiuso.....	29
<b>Figura 12</b>	Dois tipos de variação de forno tipo caixa.....	30
<b>Figura 13</b>	Forno solar tipo Olla.....	32
<b>Figura 14</b>	Fogão solar do tipo concentrador.....	33
<b>Figura 15</b>	Fogão de painel.....	34
<b>Figura 16</b>	Madeira compensada naval.....	37
<b>Figura 17</b>	Isopor EPS.....	38
<b>Figura 18</b>	Montagem da caixa de madeira do forno solar.....	41
<b>Figura 19</b>	Isolamento térmico ao redor da caixa com isopor EPS.....	41
<b>Figura 20</b>	Caixa com as placas de alumínio coladas no seu interior.....	42
<b>Figura 21</b>	Caixa com as placas de alumínio pintadas de preto fosco.....	43
<b>Figura 22</b>	Espelho Refletor.....	43
<b>Figura 23</b>	Forno solar proposto montado junto com a fixação do espelho e seu mecanismo de regulação.....	44
<b>Figura 24</b>	Desenho feito no Solid Edge do forno solar proposto.....	45

<b>Figura 25</b>	Termopar e radiômetro utilizados nos ensaios, respectivamente.....	46
<b>Figura 26</b>	Nuggets utilizado no ensaio.....	53
<b>Figura 27</b>	Ensaio realizado no dia 06 de janeiro de 2022.....	54
<b>Figura 28</b>	Alimento após o período de assamento dos nuggets.....	57
<b>Figura 29</b>	Pizza de forno utilizada no ensaio.....	58
<b>Figura 30</b>	Ensaio realizado no dia 07 de janeiro de 2022 com a pizza.....	59
<b>Figura 31</b>	Momento que o vidro embaça no assamento da pizza.....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 01</b>	Temperatura da placa absorvedora do dia 06 de janeiro de 2022.....	55
<b>Gráfico 02</b>	Irradiação global solar do dia 06 de janeiro de 2022 .....	56
<b>Gráfico 03</b>	Temperatura interna durante o ensaio do dia 07 de janeiro de 2022.....	61
<b>Gráfico 04</b>	Irradiação global solar do dia 07 de janeiro de 2022.....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b>	Materiais utilizados na construção do forno.....	39
<b>Tabela 02</b>	Dimensões do forno solar.....	39
<b>Tabela 03</b>	Dimensões do espelho refletor.....	40
<b>Tabela 04</b>	Medições iniciais do forno no dia 06 de janeiro de 2022.....	54
<b>Tabela 05</b>	Temperaturas internas e radiações durante o ensaio do dia 06 de janeiro de 2022.....	55
<b>Tabela 06</b>	Medições finais do forno no dia 06 de janeiro de 2022.....	57
<b>Tabela 07</b>	Temperaturas iniciais do forno no dia 07 de janeiro de 2022.....	58
<b>Tabela 08</b>	Temperaturas internas durante o ensaio do dia 07 de janeiro de 2022.....	60
<b>Tabela 09</b>	Medições finais do forno no dia 07 de janeiro de 2022.....	63
<b>Tabela 10</b>	Temperaturas do forno sem carga.....	63
<b>Tabela 11</b>	Taxa de energia perdida pelas laterais do forno.....	67
<b>Tabela 12</b>	Dimensões do fundo do forno solar.....	68
<b>Tabela 13</b>	Custo na fabricação do forno proposto.....	71

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>1.1</b>	<b>Apresentação do trabalho</b> .....	16
<b>1.2</b>	<b>Objetivo</b> .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Energia solar</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Energia solar ativa - energia fotovoltaica</b> .....	20
<b>2.3</b>	<b>Energia solar ativa - energia fototérmica</b> .....	21
<b>2.4</b>	<b>Energia solar passiva - energia bioclimática</b> .....	22
<b>2.5</b>	<b>Potencial solar no Brasil</b> .....	23
<b>2.6</b>	<b>Potencial Solar no Piauí</b> .....	27
<b>2.7</b>	<b>Forno solar e seus principais tipos</b> .....	28
<b>2.7.1</b>	<i>Forno solar tipo caixa</i> .....	30
<b>2.7.2</b>	<i>Forno solar tipo Olla</i> .....	31
<b>2.7.3</b>	<i>Fogão concentrador</i> .....	32
<b>2.7.4</b>	<i>Fogão de painel</i> .....	33
<b>2.8</b>	<b>Princípio de funcionamento dos fornos solares</b> .....	34
<b>2.8.1</b>	<i>Princípios físicos</i> .....	34
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	37
<b>3.1</b>	<b>Descrição do forno</b> .....	37
<b>3.1.1</b>	<i>Materiais utilizados</i> .....	37
<b>3.1.2</b>	<i>Dimensões do forno</i> .....	39
<b>3.1.3</b>	<i>Refletores</i> .....	40
<b>3.2</b>	<b>Processo de fabricação e montagem do forno</b> .....	40
<b>3.3</b>	<b>Equipamentos empregados durante o ensaio</b> .....	45
<b>3.4</b>	<b>Balanco térmico do forno solar</b> .....	46

3.4.1	<i>Energia que entra no forno solar (<math>E_{ef}</math>)</i> .....	46
3.4.2	<i>Energia perdida pelo forno (<math>E_{pf}</math>)</i> .....	47
3.4.3	<i>Rendimento solar do forno (<math>\eta_{forno}</math>)</i> .....	51
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	52
4.1	<b>Procedimentos experimentais</b> .....	52
4.1.1	<i>Procedimentos preliminares do ensaio</i> .....	52
4.1.2	<i>Procedimentos operacionais dos ensaios</i> .....	52
4.2	<b>Ensaio dia 06 de janeiro de 2018</b> .....	53
4.3	<b>Ensaio do dia 07 de janeiro de 2022</b> .....	58
4.4	<b>Ensaio dia 08 de janeiro de 2022</b> .....	63
4.5	<b>Comparação e análise dos ensaios com carga</b> .....	64
4.6	<b>Balço energético do forno solar proposto</b> .....	64
4.6.1	<i>Energia absorvida pelo forno no ensaio do dia 06 de janeiro de 2022</i> .....	64
4.6.2	<i>Energia absorvida pelo forno no ensaio do dia 07 de janeiro de 2022</i> .....	65
4.6.3	<i>Energia perdida pelo forno pelas laterais</i> .....	66
4.6.4	<i>Perdas pelo fundo do forno</i> .....	67
4.6.5	<i>Perdas pela tampa do vidro</i> .....	68
4.7	<b>Rendimento térmico do forno</b> .....	70
4.8	<b>Custo na construção do material</b> .....	71
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	72
6	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	74
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	75

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação do trabalho

Atualmente a crescente demanda energética mundial se baseia 80% na utilização de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão mineral), que causam danos ambientais preocupantes, o que também motiva o uso de fontes alternativas não poluidoras. (Pereira,1997).

O conceito de energia limpa, é a energia oriunda de fontes naturais, de forma que não agrida o meio ambiente (Pinto, 2013). Deste modo, a energia limpa também se torna um grande aliado no desenvolvimento sustentável, sendo cada vez mais estudada como a principal solução para o equilíbrio ecológico.

A mais importante característica na utilização dessas fontes de energia são os seus recursos infinitos, na qual elas podem ser reaproveitadas ao longo do tempo, onde são originadas da natureza. Alguns exemplos de energias primárias renováveis são os ventos, o sol e a água, onde produzem energia sem prejudicar o meio ambiente e sem seu esgotamento.

As principais energias limpas, ou renováveis, são classificadas em energia solar, hídrica, eólica, geotérmica e biomassa. Os estudos desses tipos de energia cresceram consideravelmente ao longo dos últimos anos, e trouxeram retornos importantes para humanidade, pois sem energia, muitos dos atuais produtos e serviços deixariam de funcionar, e por isso e outros motivos, estudar fontes de energias renováveis tornou-se primordial.

Dentre todas essas fontes, a energia solar se mostra como a principal fonte de energia considerada como a solução mais viável, pois além do baixo impacto ambiental, é uma fonte inesgotável e de disponibilidade para todos. ALDABÓ (2002), fala em seu trabalho que a energia solar é a fonte de energia menos poluente e menos finita conhecida até o momento disponível para a humanidade desde o surgimento da vida, na Terra, a energia solar nunca foi aproveitada de forma tão eficiente quanto as outras fontes de energia.

Com as tecnologias atuais, existem duas formas principais de conseguir gerar eletricidade através da luz solar: a heliotérmica e a fotovoltaica. A tecnologia heliotérmica se baseia na conversão de energia solar em energia térmica, ou calor, onde essa energia térmica vai gerar vapor em um fluido e assim vai produzir eletricidade. Já na tecnologia fotovoltaica, a geração de energia ocorre quando os fótons provenientes da luz solar incidem sobre um

material semicondutor e fotossensível, onde geralmente são de três camadas contendo silício-fósforo, silício e silício-boro. (TIGRE, 2020).

REIS (2009) relatou que a região Nordeste apresenta um elevado potencial de geração de energia proveniente do sol, com um potencial médio de  $600 \text{ W/m}^2$ , podendo chegar a picos de  $1000 \text{ W/m}^2$ , na qual se mostra uma região extremamente favorável para aplicação e utilização da energia vinda dos raios solares.

Uma das possíveis utilizações da energia solar se dá através da utilização de fornos solares, na qual o calor proveniente dos raios solares fica concentrada dentro do forno, podendo assim ter várias utilidades, como aquecer e cozinhar um alimento, aquecer água, desidratar alguns resíduos sólidos, etc. Além da utilização de energia limpa, outra grande vantagem desse produto é o custo-benefício, REZENDE (2015), relatou que para se fabricar e usar um forno solar não é necessário possuir conhecimentos técnicos específicos, pois os materiais empregados para sua construção são de baixo custo e de fácil acesso. Para corroborar, no trabalho de LION (2007), o autor destacou que famílias que residem na África utilizam fornos solares devido seu baixo custo.

Nota-se então que a construção de um forno solar é algo muito viável, funcional e de baixo custo, e a utilização desse produto pode beneficiar as famílias com um poder aquisitivo baixo, em que cada vez se torna mais difícil adquirir o gás de cozinha, seja pelo seu constante aumento de custo, ou ainda, em regiões mais afastadas da cidade, o acesso fica mais difícil e conseqüentemente com um custo maior pelo transporte do mesmo

Tendo conhecimento do potencial energético da região Nordeste, e os benefícios da utilização de fornos solares citados acima, a construção de um protótipo de forno solar foi escolhido como objeto de estudo deste trabalho.

## 1.2 Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo a viabilização da construção de um forno solar como forma alternativa para a população com um baixo poder aquisitivo ou moradores de difícil acesso ao forno convencional, mostrando todas as características, dimensões, custos e etapas, balanço térmico, além de analisar seu tempo e eficiência no cozimento de alimentos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

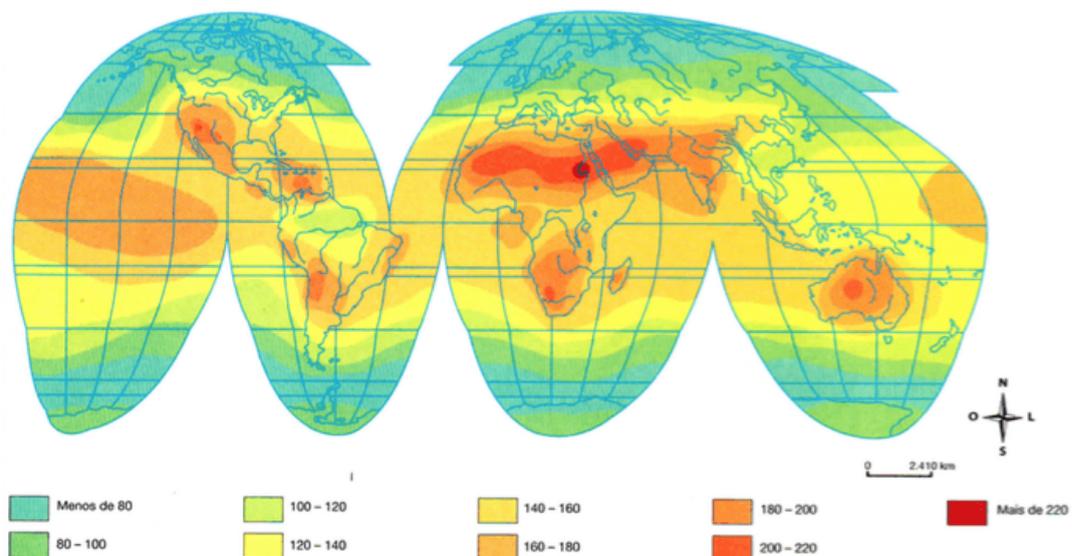
### 2.1 Energia solar

No centro do Sol ocorre um processo de fusão nuclear, no qual dois núcleos de hidrogênio se fundem com um de hélio, irradiando para o espaço uma grande quantidade de energia. A energia proveniente desta fusão é radiada para o espaço em forma de ondas eletromagnéticas. Tendo em conta que o Sol se encontra a 143 milhões de quilômetros da Terra, apenas uma pequena fracção da energia irradiada está disponível. No entanto, a energia fornecida pelo Sol durante um quarto de hora é superior à energia utilizada, a nível mundial, durante um ano (LOUREIRO, 2004).

A energia solar de uma forma sucinta e objetiva, é toda a energia que provém da radiação solar que chega até a superfície terrestre. A utilização desses raios solares são hoje umas das alternativas mais promissoras de fontes de energia limpa, pois praticamente todas as populações possuem alcance desses raios solares, sendo algumas regiões mais favorecidas.

Essa distribuição de forma desigual se dá pela posição da terra em relação ao Sol, e o movimento dela ao redor da estrela, onde os mais favorecidos se situam perto da linha imaginária do equador, e os menos favorecidos são as regiões polares, e mostra ainda que, no verão se obtém mais energia que no inverno. Na Figura 01 mostra a distribuição dos raios solares que chega nas superfícies.

Figura 01 - Distribuição da radiação solar que chega à superfície terrestre, expressa em kcal/(cm<sup>2</sup>/ano).



Fonte: Site COLA DA WEB (2021)

A radiação solar é composta por três componentes: radiação direta, que vem diretamente da direção do disco solar, a radiação difusa, que está inclusa a radiação solar de todas as direções do céu, exceto do disco solar, e a radiação refletida, que é resultante da reflexão de radiação solar na superfície, dependendo assim das propriedades ópticas da superfície. E a soma de todas essas radiações, resulta na irradiância global, Equação 1.

$$Irradiância\ Global = \sum Radiação\ Direta + \sum Radiação\ Difusa + \sum Radiação\ Refletida$$

(1)

A Figura 02 mostra como a luz solar e as radiações chegam na atmosfera.

Figura 02 - Percurso da luz solar através da atmosfera



Fonte: DGS (2008)

Essas radiações solares chegam na nossa superfície como uma mistura de várias radiações com comprimento de ondas diferentes, cada uma possuindo suas particularidades. Elas se distinguem em três tipos: a luz ou radiação visível, que é aquela que pode ser observada a olho nu e contém 42 % da energia da emissão solar.

A radiação ultravioleta, que possui um comprimento de onda menor que a luz, justificando o motivo de não se ver, onde ela possui 9% da energia da emissão solar, e a radiação infravermelho, que contém 49% da energia da emissão solar, onde seu comprimento

de onda é maior que o da luz visível, e ela é a responsável por esquentar corpos que são expostos a ela. CHIANCA(2019) fala que a energia solar pode ser classificada em ativa e passiva. Onde a ativa (chamada assim por realizar a transformação para energia elétrica) é subdividida em foto térmica e fotovoltaica e a passiva (gera energia sem equipamento específico) em bioclimática.

## 2.2 Energia solar ativa - energia fotovoltaica

Segundo a CRESESB (2006) essa energia é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade pelo efeito fotovoltaico, que foi relatado por Edmond Becquerel, em 1839, onde esse efeito se dá pelo aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz.

A conversão da energia solar em elétrica é conseguida através do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas, onde estas células são componentes optoeletrônicos que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade, sendo basicamente constituídas de materiais semicondutores, onde o silício é o material mais empregado. A figura 3 mostra o esquema de um sistema de energia fotovoltaica.

Figura 03 - Esquema de um sistema de energia fotovoltaica



Fonte: NEOSOLAR (2021)

DIENSTMANN (2009) fala que os fótons excitam os elétrons para níveis de energia maiores dentro da matéria, mas os elétrons rapidamente “relaxam” e retornam ao seu estado

inicial de energia. Porém, o mesmo fala que em um dispositivo fotovoltaico, existe uma assimetria que empurra os elétrons excitados para fora do corpo antes que eles possam relaxar, que assim alimenta um circuito externo, e essa energia extra dos elétrons excitados gera uma diferença de potencial, gerando assim energia.

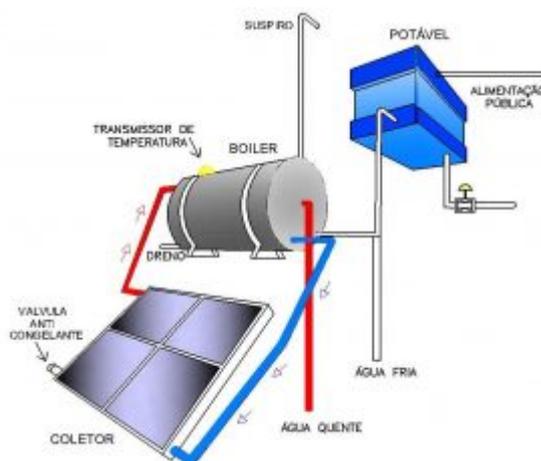
### **2.3 Energia solar ativa - energia fototérmica**

Outra forma conhecida de gerar energia pelos raios solares é através do efeito fototérmico. A energia solar térmica é uma fonte de energia renovável que permite o aproveitamento da energia do Sol sob forma de calor para aquecimento de água, secagem de produtos, e produção de energia através de processo termodinâmico. Assim sendo, a produção de eletricidade a partir da energia solar também pode ser feita por conversão térmica, não apenas por via fotovoltaica (SOUSA, 2011).

A energia fototérmica é gerada através dos coletores solares que captam essa energia e convertem em calor, onde nesses coletores, são alcançados níveis altos de temperatura. Nesse sistema, a radiação deve incidir no refletor ou na lente com um ângulo certo para ser focalizado sobre o absorvedor. Existem vários tipos de coletores solares, onde o mais utilizado é o coletor solar plano.

Ele possui uma construção simples, de baixo custo, de fácil manutenção e não apresenta dificuldades em funcionar em dias nublados. Ele é composto por uma placa absorvedora, tubos por onde escoar o fluido a ser aquecido, uma cobertura transparente e isolamento térmico. Essa placa absorvedora tem a função de converter a energia solar em calor, sendo transferida para os tubos e destes para o fluido, realizando assim o aquecimento (KALOGIROU,2004). A Figura 04 mostra um dos tipos desses coletores solares térmicos.

Figura 04 - Esquema de um coletor solar plano



Fonte: EFICIÊNCIA SOLAR (2017)

## 2.4 Energia solar passiva - energia bioclimática

Nessa classificação da energia solar, sua principal função é captar e armazenar o calor vindo da energia solar. Nesse tipo, nenhum objeto específico é utilizado para usar essa energia e por esse motivo, é o que possui o maior custo benefício e possui uma função social, pois, de acordo com a ONG (Organização Não Governamental), a utilização do fogão solar, que provém dessa energia passiva, é bastante acentuada principalmente nas famílias abaixo da linha de pobreza de países como Índia, China, Paquistão, Nigéria, Uganda, Sudão, entre outros, inclusive no Brasil. Segundo a Universidade de São Paulo (USP, 2015) materiais acessíveis como papelão e alumínio são suficientes para construir um forno solar simples capaz de assar bolos e preparar refeições.

Em um sistema de energia solar passiva, os conceitos físicos são os da termodinâmica, com essa retenção e transferência de calor, um exemplo clássico de projetos usufruindo dessa energia, é o forno solar ou um fogão solar. Na qual são absorvidos os raios ultravioletas e os transformam em raios infravermelhos, e esses protótipos são projetados para não deixar escapar essa radiação infravermelha. Os painéis interiores são os responsáveis por essa absorção da energia solar. Ao longo deste trabalho, os fornos solares serão explicados de forma mais detalhada.

Figura 05 - Fogão solar



Fonte: FOLHA BV (2019)

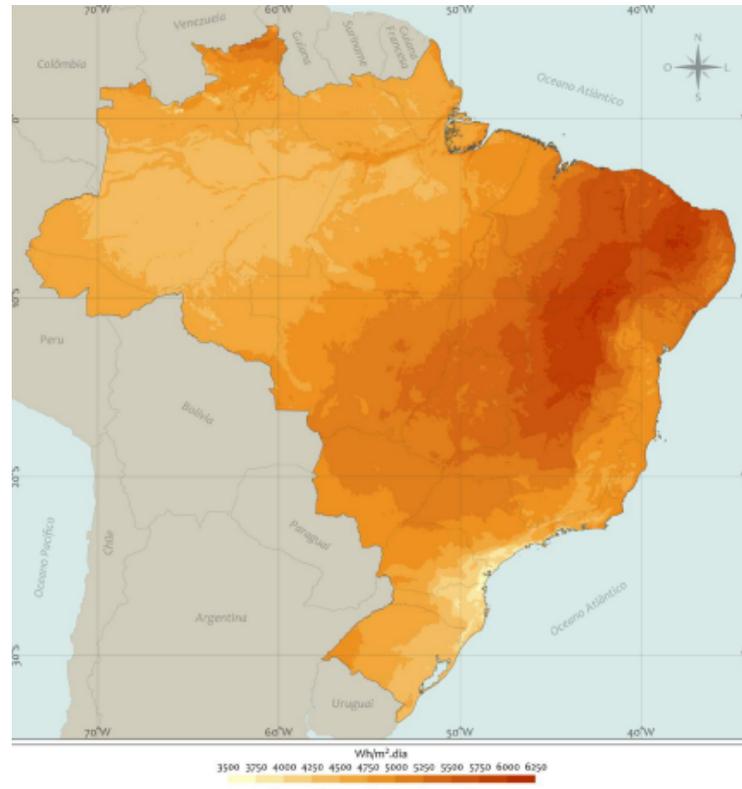
## 2.5 Potencial solar no Brasil

Por o Brasil possuir algumas de suas regiões próximas à linha do equador, nosso país possui um potencial energético solar muito elevado quando comparado com outras regiões. Entretanto, a utilização dessa fonte para gerar eletricidade começou a ser explorada com mais determinação e investimentos nesta última década.

Isso se deu principalmente pela crise hídrica que vivemos atualmente, onde foram apresentados níveis baixos de reservatórios de água, que como consequência, gerou aumento expressivo na conta de energia da população, já que a maior parte da geração de energia elétrica provém de fontes hidráulicas.

Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição (2017), a radiação solar varia diariamente entre 4.444 Wh/m<sup>2</sup> e 5.483 Wh/m<sup>2</sup> no país, onde ocorrem variações quanto a localização e período. SOUZA (2014) diz que levando em conta que o consumo energético anual é em torno de 1,5 x 10<sup>8</sup> GWh, nota-se que a energia disponível nas massas continentais representa mais de 1.000 vezes o consumo de energia da humanidade. Ou seja, menos que 1% da energia solar disponível nas massas continentais seria suficiente para suprir o consumo energético requerido. Segue a Figura 06 representando a insolação no Brasil

Figura 06 - Total diário de irradiação global horizontal (média anual) no Brasil

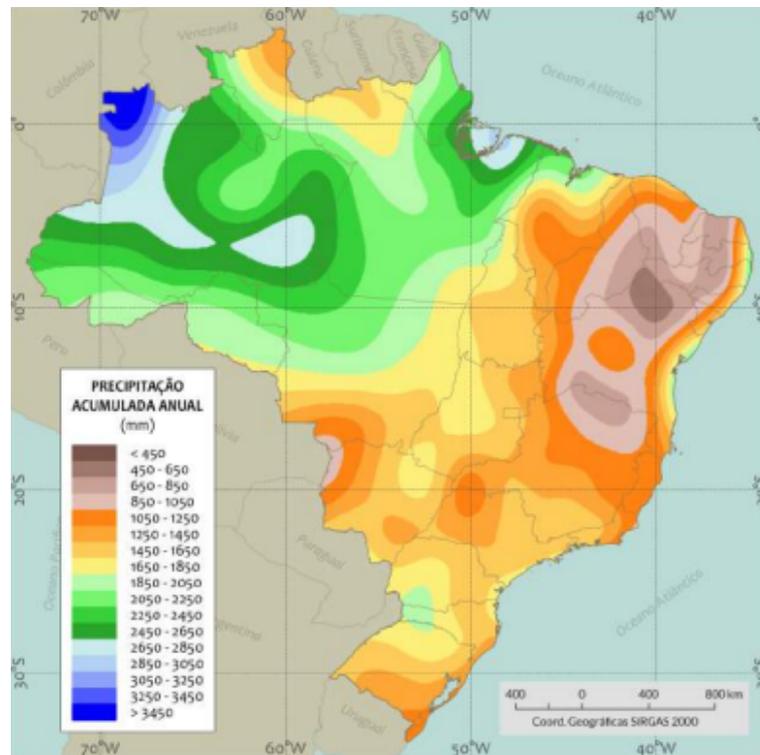


Fonte: ATLAS (2017)

Porém, várias variáveis demonstram que essa irradiação depende de vários fatores, como as condições de tempo e clima da região, onde em tempos chuvosos e em locais com climas mais frios, recebem menos irradiação que regiões secas e quentes.

O Brasil, por possuir um território de extensões continentais abrangendo áreas de baixas e médias altitudes, experimenta diferentes padrões de precipitação em seu território, como mostra a Figura 07.

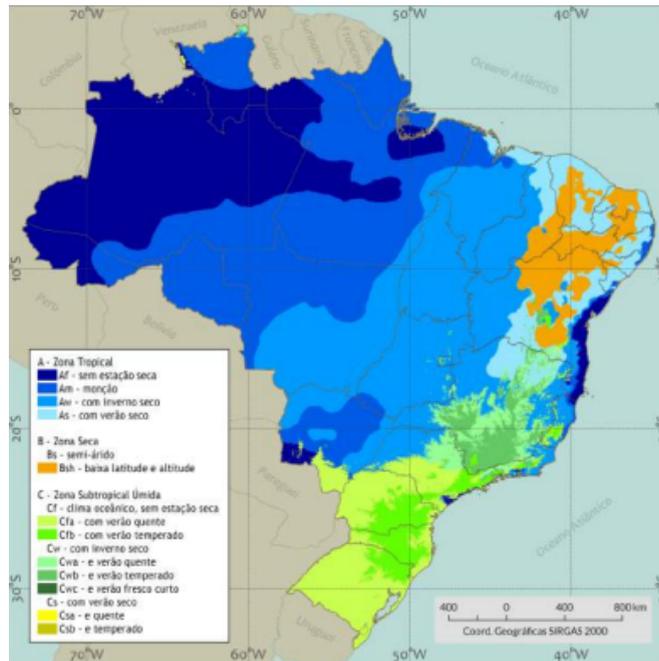
Figura 07 - Normal climatológica de precipitação anual .



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2016)

Köppen (Vianello e Alves, 2013) ainda diz que pode-se notar que grande parte do território brasileiro apresenta clima tropical subtropical ( médias latitudes e altitudes elevadas no Sudeste brasileiro, e parte do sertão nordestino apresenta o classificado como semiárido. A Figura 08 mostra uma topografia com todos esses climas como cita Köppen.

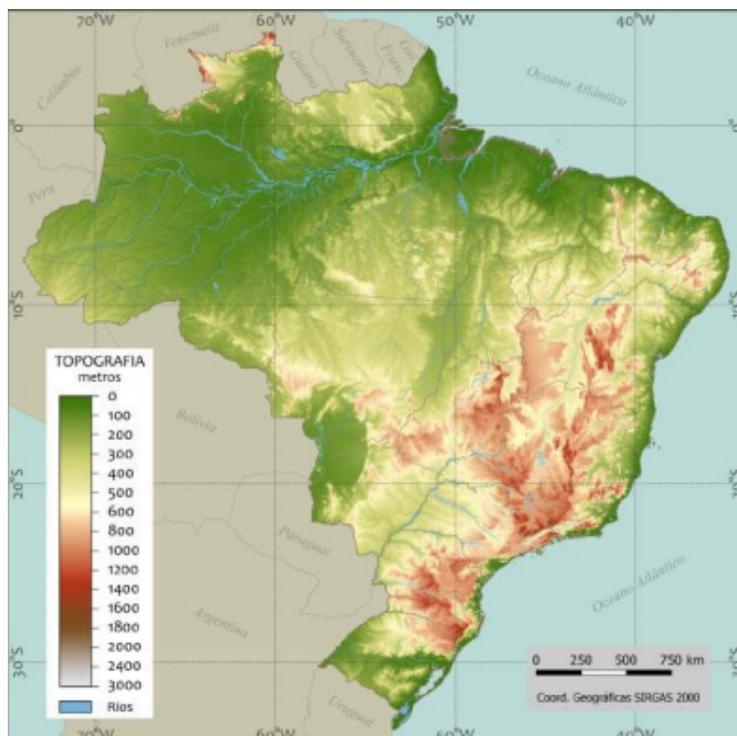
Figura 08: Classificação climática para o Brasil



Fonte: Vianello e Alves (2013)

Além disso, as radiações solares no Brasil não chegam de forma uniforme também pelo relevo que o solo brasileiro apresenta, onde pontos mais altos tendem a ser mais frios, além de ser propício para a formação de nebulosidade através da condensação de nevoeiros nas encostas. A Figura 09 mostra a topografia do solo brasileiro.

Figura 09 - Topografia do território brasileiro



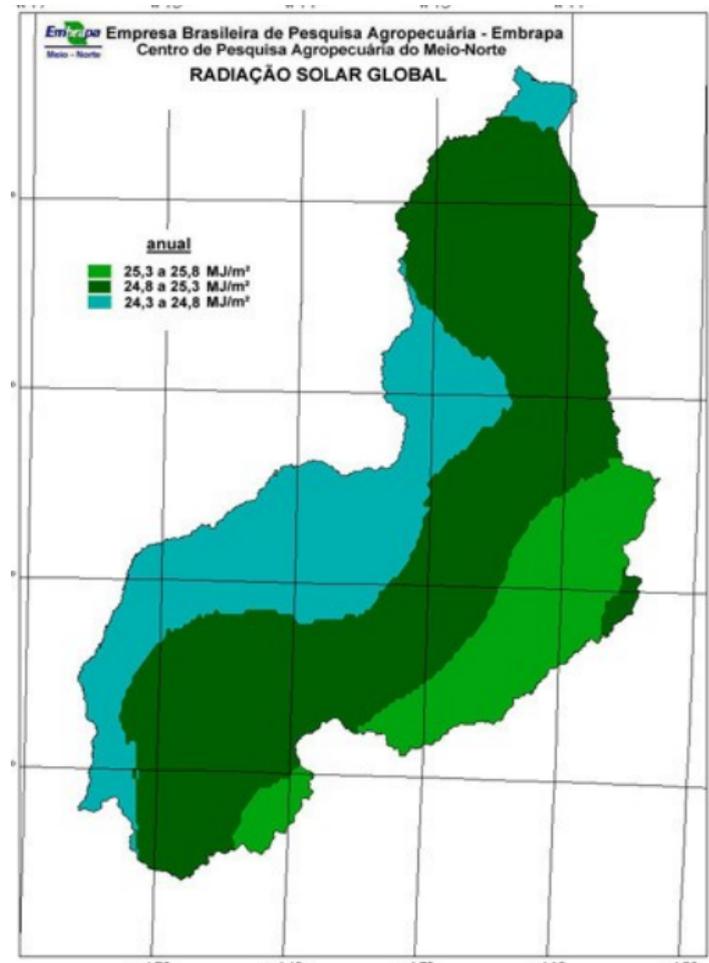
Fonte: Jarvis et al. (2008)

Realizando uma análise bem superficial baseado nos dados apresentados, podemos chegar a conclusão que a região nordeste, por possuir um clima seco, onde suas precipitações anuais são inferiores às demais regiões do país e uma topografia com regiões relativamente baixas, é considerado um ponto estratégico para a utilização da energia solar, seja para gerar eletricidade ou realizar outras atividades aos quais é possível realizar com esse tipo de energia renovável e limpa.

## 2.6 Potencial Solar no Piauí

Segundo dados da Embrapa Meio-Norte, o Piauí possui uma radiação solar global diária (média anual) superior a 20 MJ/m<sup>2</sup>. Além disso, em meses como agosto, a insolação diária chega a 10 horas (média mensal). O Estado possui uma insolação global média anual superior a 7 horas/dia (ASB, 2000). A Figura 10 mostra o mapa de radiação solar global

Figura 10 – Mapa de radiação solar global no estado do Piauí.



Fonte: EMBRAPA (2004)

## 2.7 Forno solar e seus principais tipos

Os fornos solares são equipamentos que se beneficiam dos raios solares para gerar uma estufa através de seus absorvedores solares. Ele foi inventado pelo franco-suíço Horace de Saussure, na Suíça, em 1967, onde foi feito em uma pequena caixa, que na ocasião servia para cozinhar frutas.

Houve um avanço muito grande de eficiência quando foram utilizados caixas de papelão e uso de plásticos, desenvolvidos por duas pesquisadoras americanas, Barbara Kerr e Sherry Cole, na década de 1970, onde esses fornos ainda hoje estão em uso generalizado na África e em outros lugares, especialmente em campos de refugiados, tanto para cozinhar alimentos quanto para pasteurizar água insalubre.

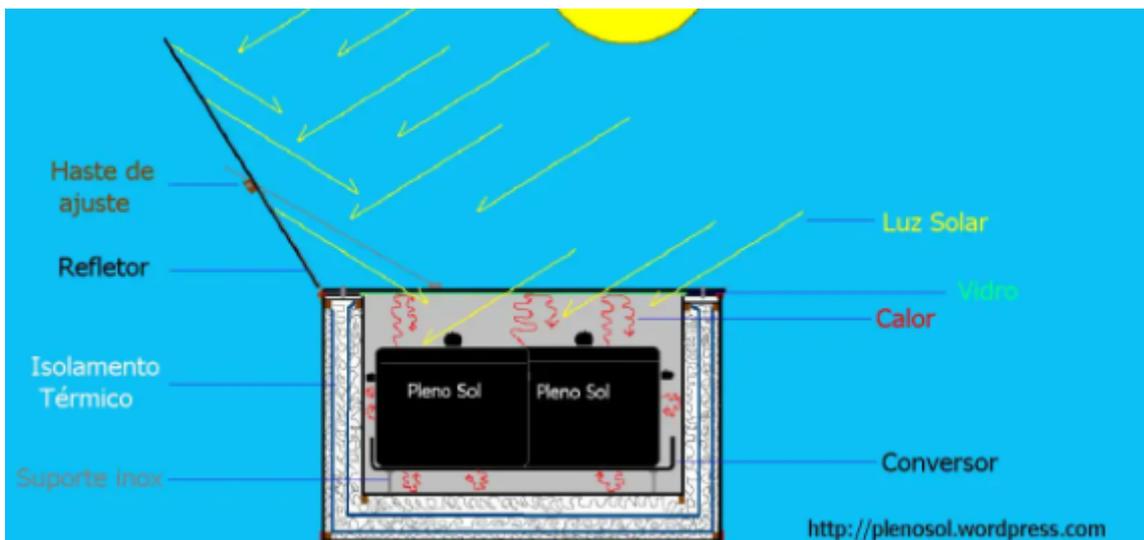
Seus projetos são atualmente usados e promovidos pela Solar Cookers International , da qual Kerr foi membro fundador do conselho, e ela ainda co-fundou o Kerr-Cole Sustainable Living Center em Taylor, Arizona (EUA), no qual várias aplicações solares e práticas sustentáveis podem ser aprendidas (SOLAR COOKING,2006).

O projeto de um forno solar geralmente é feito realizando a montagem de duas caixas, uma dentro da outra, sendo separadas por algum isolante térmico. Na parte interna, as paredes são feitas de algum tipo de material reflexivo para concentrar esses raios solares e gerar uma temperatura mais alta, e no fundo, geralmente se utiliza alguma chapa preta, para absorver esses raios e gerar calor na sua estrutura, já que essa chapa preta converte a luz solar em calor .

Já na tampa da caixa, utiliza-se uma tampa transparente para que a mesma suporte altas temperaturas e não deixe o calor escapar, e por fim, na sua parte superior, é utilizado um ou mais refletores, para aumentar ainda mais a eficiência do forno, concentrando os raios solares para a caixa, e por fim, um suporte para colocar as panelas ou uma bandeja.

Embora seja um projeto simples e de baixo custo, segundo RAMOS FILHO (2011) esse tipo de forno pode atingir temperaturas de aproximadamente 88°C, sendo suficiente assim tanto para cozinhar, como para assar alimentos. A Figura 11 ilustra um forno solar.

Figura 11 - Corte lateral do forno solar P.S multiuso



Fonte: PLENO SOL (2013)

Entretanto, existem algumas variações desse fornos, onde mudam seu formato, tamanho e materiais de construção, porém, possuem a mesma funcionalidade e usufruem da

mesma fonte de energia para realizar sua função. Seus principais tipos são: forno solar tipo caixa, forno tipo Olla, fogão concentrador e fogão de painel, onde cada tipo possui suas características próprias, assim como suas vantagens e desvantagens.

### 2.7.1 Forno solar tipo caixa

Esse tipo de forno é o mais utilizado e difundido que os demais utilizados, principalmente pela sua versatilidade e eficiência. Ele recebe esse nome por na sua maioria, serem projetados no formato de um retângulo e ser utilizado uma tampa para segurar o calor absorvido, podendo haver variações em suas dimensões.

SOUZA (2011) cita que 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. Quanto aos seus formatos, eles costumam ser totalmente retangulares, ou com uma inclinação na abertura da “caixa”, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Dois tipos de variação de forno tipo caixa



Fonte: Adaptado de SEMPRE SUSTENTAVEL (2021)

O primeiro tipo, que é o clássico forno solar tipo caixa, possui sua estrutura de mais fácil fabricação, entretanto, o segundo tipo recebe mais raios solares, podendo assim absorver mais calor, porém, ela também possui uma área de contato maior, que pode ser prejudicial, tendo em vista que a perda de calor será maior, pois mesmo com os isolantes térmicos, sabemos que nenhum tipo permite uma isolação 100%. Todavia, eles possuem suas características em comum, como a utilização de uma tampa superior, para facilitar a entrada dos raios solares, o interior escuro para melhorar a absorção e armazenamento do calor, e ainda, ambos usufruem de materiais isolantes.

Outra variação que pode existir também é quanto aos espelhos focais, podendo ser apenas um ou vários. Segundo CHIANCA (2019), 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. Embora os multifocais mostram uma eficiência maior, existe o problema das sombras que eles podem criar se não forem posicionadas de forma correta para o sol, gerando assim uma perda de absorção dos raios solares, e assim, perda de eficiência.

ARAÚJO (2015) relatou 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. Outra vantagem é que esse tipo não traz perigo ao usuário, pois não é gerado nenhuma chama ou faísca, entretanto, deve-se tomar cuidado quando for manobrar o forno ou o que estiver dentro dele, pois a temperatura estará elevada, podendo gerar queimaduras.

### **2.7.2 Forno solar tipo Olla**

Nesse tipo de forno não é necessário a utilização de uma estrutura de apoio. Os alimentos são depositados em uma vasilha de cor preta envolvida por uma superfície transparente de plásticos ou tampas de vidro. A superfície transparente promove o “efeito estufa” (TEIXEIRA,2007).

Sua vantagem é a construção sem que necessite de um projeto bem elaborado, e sua principal desvantagem é por ser limitado, onde o cozimento deve ser feito um de cada vez,

necessitando repetir o processo quantas vezes for necessário. A Figura 13 é um exemplo de forno solar tipo Olla.

Figura 13 - Forno solar tipo Olla



Fonte: SOLAR COOKING (2018)

### 2.7.3 Fogão concentrador

Embora receba o nome de fogão, ele é um tipo de forno solar e por isso está classificado como tal. Nele não ocorre o efeito estufa e sim, alta concentração de radiação solar, onde ele capta os raios solares e concentra em um ponto focal, e nesse mesmo ponto, é colocado o absorvedor. Nesse ponto focal, é colocado a panela, que é responsável pela coesão dos alimentos nela colocados. Segundo HENRIQUE (2013) para que façam essa captação e reflexão de luz solar necessitam de refletores, que são geralmente espelhos distribuídos em uma superfície de forma côncava.

CHIANCA (2019) diz que é importante ressaltar que a área da superfície absorvedora é sempre menor que a área de captação da radiação solar, e ainda, que os refletores têm por função facilitar que a radiação solar seja captada e conseqüentemente, aumente a intensidade energética do absorvedor.

Eles possuem algumas características, como a temperatura de aquecimento, que dependendo dos tamanho da superfície refletora pode ultrapassar 800°C, possui tempo de

aquecimento rápido, quando comparado aos outros tipos, necessita de luz solar direta, pode se desequilibrar pela ação do vento, deve-se ajustar o foco solar de 30 a 30 min, e como consequência disso, pode gerar um resfriamento devido a esse ajuste. Alguns cuidados devem ser tomados nesse tipo, pois o usuário pode sofrer queimaduras causadas pela radiação solar refletida pelos espelhos, e o fogão deve ser exposto diretamente ao sol durante todo tempo de cozimento dos produtos SOUZA (2014). A Figura 14 mostra esse tipo de forno ou fogão solar.

Figura 14 - Fogão solar do tipo concentrador



Fonte: FREITAS (2018)

#### **2.7.4 Fogão de painel**

Nesse tipo, a sua estrutura pode ser montada e desmontada de forma simples e prática. Geralmente é feito de papelão revestido com algum material refletivo, sendo projetado de forma especial para que os raios solares fiquem concentrados para a panela, que fica no centro dessa forma especial. Ele pode ser considerado como uma evolução do forno Olla.

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 CHIANCA(2019). A Figura 15 mostra esse tipo de fogão.

Figura 15 - Fogão de painel



Fonte: SOLAR COOKING (2018)

## 2.8 Princípio de funcionamento dos fornos solares

Embora o funcionamento desses fornos dependem dos raios solares, deve-se ter conhecimento também de alguns fatores físicos e de engenharia que podem agregar bastante no momento de realizar o projeto de um forno solar, como a relação de ganho e perda de calor que acontece, além das orientações e os tipos de materiais recomendados para o projeto, e assim, obter a melhor eficiência possível.

### 2.8.1 Princípios físicos

- **Condução:** Ocorre pela transferência de calor quando dois corpos de diferentes temperaturas entram em contato, isso ocasionará um fluxo de calor, onde o que possui maior temperatura sempre irá fornecer calor ao com o que possui menor temperatura, e isso ocorre até que ambos os corpos em contato entrem em equilíbrio térmico. INCROPERA (2008) cita que a condução pode ser vista como a transferência de energia das partículas mais energéticas para a menos energética de uma substância devido às interações entre as partículas.

Esse princípio físico ocorre no forno quando a panela, que é aquecida por radiação, transmite o calor ao alimento e a água através de condução, transmitindo o mesmo a partir de suas moléculas para as moléculas do material que está em contato com essa fonte de calor. Para impedir a perda de calor através do fundo do forno por esse fenômeno, a panela é elevada usando um pequeno espaço isolante, impedindo que ocorra essa troca de calor.

- **Radiação:** INCROPERA (2008) relata que esse é o único fenômeno entre a convecção e radiação, que pode acontecer no vácuo. No forno, esse princípio de transferência de calor, ocorre quando o forno absorve os raios solares e os transformam em calor, logo em seguida esse calor é irradiado por todo o forno, inclusive as paredes geralmente espelhadas, esquentando assim a panela e provocando o cozimento ou assamento dos alimentos. Vale ressaltar que como essa irradiação é emitida por toda a caixa, parte dela escapa por não ser possível fazer o isolamento ideal, mas a utilização da tampa de vidro e desses isolantes térmicos, diminuem essa perda.

- **Convecção:** Esse fenômeno físico só acontece em líquidos e gases, esse processo de transferência de calor que ocorre através do deslocamento de camadas de um fluido. No forno, as moléculas de ar que se movem dentro do forno, tendem a ficarem aquecidas, então essas moléculas de ar tendem a subir, e trocar calor com o ar frio que tende a descer, assim gerando uma circulação de ar e aquecendo o ambiente. Porém, esse ar quente tende a escapar por meio de frestas ou imperfeições na construção, e o ar frio também consegue entrar no forno através dessas mesmas frestas, fazendo assim com que o ar quente escape, prejudicando a eficiência do forno, já que o ideal era permanecer apenas ar quente em toda região. Por isso, a vedação deve ser a melhor possível, para evitar essa perda.

- **Efeito estufa:** O efeito estufa é um fenômeno natural que ocorre devido a concentrações de gases no ar atmosférico, onde esse gases, podendo ser vapor de água, ozônio, dióxido de carbono ou CFC, absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra e radiam parte da energia absorvida de volta para a superfície. Esse fenômeno, que ocorre 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.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição do forno

Para realizar um projeto do forno solar tipo caixa, é necessário estudar alguns fatores que influenciam diretamente tanto na eficiência do sistema, como no seu custo, e esses fatores são os materiais empregados, o dimensionamento do forno e a utilização de materiais reflexivos.

##### 3.1.1 Materiais utilizados

O projeto do forno solar tipo caixa que vai ser construído e utilizado neste trabalho, é formado de madeira compensada naval, isopor EPS (Poliestireno Expandido) e chapa de alumínio. Já seu heliostato, será formado por um espelho reflexivo.

A madeira compensada naval como material do forno, foi escolhida por possuir uma certa resistência contra a água, visto que vários dos alimentos que podem ser preparados no forno possuem água em sua composição, sendo alguns mais do que outros. Além desse motivo, esse material possui um preço acessível e de certa forma, é ecológico. A figura 16 mostra o tipo de madeira empregado.

Figura 16 - Madeira compensada naval



Fonte - CARPINTARIA REZENDE (2021)

A folha de isopor EPS tem a finalidade de evitar ao máximo as trocas térmicas entre o corpo e o exterior, e ela foi utilizada como o material isolante por causa de suas propriedades, onde segundo REIS (2009), ela possui um baixo coeficiente de condutividade térmica, na faixa de  $0,027 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ , e por consequência, apresenta um elevado isolamento térmico, por conseguir conservar uma grande quantidade de ar no interior de suas células. Ainda sim, se mostra como um excelente custo benefício, onde várias indústrias utilizam-no como isolante térmico. Portanto, no forno, quanto menor for essa perda de calor, maior será a temperatura no interior do forno, e melhor será a eficiência do mesmo. A Figura 17 mostra o Isopor EPS que pode ser empregado como isolante.

Figura 17 - Isopor EPS



Fonte: PAPELARIA CRIATIVA (2021)

Na tampa do forno, foi utilizado o vidro, por ser um material transparente e a radiação solar conseguir penetrar no interior do forno, e não conseguir sair pelo fato dessa radiação se transformar em calor no interior, e assim, faz com que ocorra o aquecimento do forno através do efeito estufa.

Todos os materiais utilizados na construção do forno estão listados na Tabela 01:

Tabela 01 – Materiais utilizados na construção do forno

<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>
<b>Madeira compensada, 20 mm espessura</b>
<b>Chapa de alumínio, 1000 x 500 mm, 0.3 mm de espessura</b>
<b>Placa de isopor (EPS), 100 x 50 mm, 20 mm de espessura</b>
<b>Cola para isopor e madeira, 60 ml</b>
<b>Vidro</b>
<b>Tinta spray preto fosco, Tintas Maza, 400 ml</b>
<b>Tinta spray branco, Tek bond, 350 ml</b>
<b>Cola epoxy</b>
<b>Dobradiça</b>
<b>Parafusos</b>
<b>Espelho</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

### 3.1.2 Dimensões do forno

Nas dimensões do forno, deve ser considerado que ele não pode ser muito grande, pois dificulta sua locomoção, e nem pequeno demais, ao ponto de não caber o alimento que será cozido ou assado no mesmo, e ainda, segundo CHIANCA(2009), ele deve ser mais comprido em sua direção leste-oeste, para assim fazer o melhor uso dos refletores.

A dimensão externa da caixa de madeira, é de 350 x 450 x 150 mm, e a dimensão interna, que é a área do forno onde o alimento a ser assado fica alojado, é de 270 x 370 x 109,7 mm. Trazendo essa dimensão interna (espaço onde o alimento vai ficar) de mm para litros, teremos aproximadamente 11 litros. As dimensões do forno estão apresentadas com mais detalhes na Tabela 02.

Tabela 02 - Dimensões do forno solar.

<b>Dimensões</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (L)</b>
<b>Externa</b>	<b>0,35</b>	<b>0,45</b>	<b>0,15</b>	<b>0,1575</b>	<b>23,625</b>
<b>Interna</b>	<b>0,27</b>	<b>0,37</b>	<b>0,1097</b>	<b>0,0999</b>	<b>10,95903</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

### 3.1.3 Refletores

Eles são os responsáveis por refletir toda a luz solar possível para a caixa do forno solar. O projeto correto deles também acarreta na eficiência do forno, onde ele não pode ser nem muito pequeno, pois assim vai refletir radiação insuficiente, e nem muito grande, pois pode formar sombras, diminuindo assim a eficiência do forno. O refletor utilizado possui 350 x 450 x 3 mm, como é mostrado na Tabela 03.

Tabela 03 - Dimensões do espelho refletor

<b>DIMENSÕES DO ESPELHO REFLETOR</b>			
<b>Comprimento (m)</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
<b>0,35</b>	<b>0,45</b>	<b>0,003</b>	<b>0,1575</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

### 3.2 Processo de fabricação e montagem do forno

Na fabricação do forno solar de baixo custo foi utilizado madeira compensada naval, na espessura de 20 mm, devido a sua resistência a umidade. Uma caixa com essa madeira foi construída, com o auxílio de cola de madeira e pinos para uma melhor fixação, como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 - Montagem da caixa de madeira do forno solar.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

No interior dessa caixa, tanto nos lados como no fundo dentro da parte interior, foram colados folhas de isopor EPS de 20 mm de espessura, na função de isolante térmico do forno, e a mesma foi colada com a cola para isopor, como mostrada na Figura 19.

Figura 19 - Isolamento térmico ao redor da caixa com isopor EPS



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Após isso, sobre o isopor, tanto lateral como no fundo interior foi colada as placas de alumínio de 0,3 mm de espessura, na intenção de aquecer quando o mesmo receber os raios solares, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 - Caixa com as placas de alumínio coladas no seu interior



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Logo após esse processo foi realizada a pintura de preto fosco da placa de alumínio do forno, justamente para absorver mais calor no interior do forno. A Figura 21 mostra essas placas pintadas.

Figura 21 - Caixa com as placas de alumínio pintadas de preto fosco



Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse projeto, o espelho refletor do forno foi fixado no próprio forno com o auxílio de dobradiças e parafusos, onde um lado da dobradiça foi colado no espelho com cola epox e o outro lado da dobradiça foi utilizado para fixar o espelho na caixa de madeira do forno, como mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Espelho Refletor



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Nesse elemento foi criado um mecanismo para regular o mesmo quando for necessário para refletir o máximo de sol possível, tendo em vista que o sol “muda de lugar” ao decorrer do tempo, mudando assim também o foco. O mecanismo feito foi com o auxílio de um elemento de metal, onde no mesmo foram feitos dentes com serra própria para aço, na intenção de criar os estados de regulagem que o espelho ficará, onde ele foi fixado na caixa de madeira do forno com o auxílio de duas arruelas e um parafuso de ponta agulha.

No espelho, foi colada uma peça de plástico, e nessa peça, foi colado um rebite, que tinha a função de sustentar o espelho na regulagem desejada. E por fim, para tampar a caixa e assim realizar o efeito estufa no forno, foi utilizado um vidro plano transparente com 330 x 430 x 3 mm de dimensão, e 0,1419 m<sup>2</sup> de área. Esse vidro foi projetado para abrir e fechar o forno, portanto, ele não ficava fixo e poderia ser manuseado facilmente.

Por fim, foi feita uma pintura da parte exterior de branco, apenas por questões estéticas. O forno solar completamente montado pode ser visualizado na Figura 23.

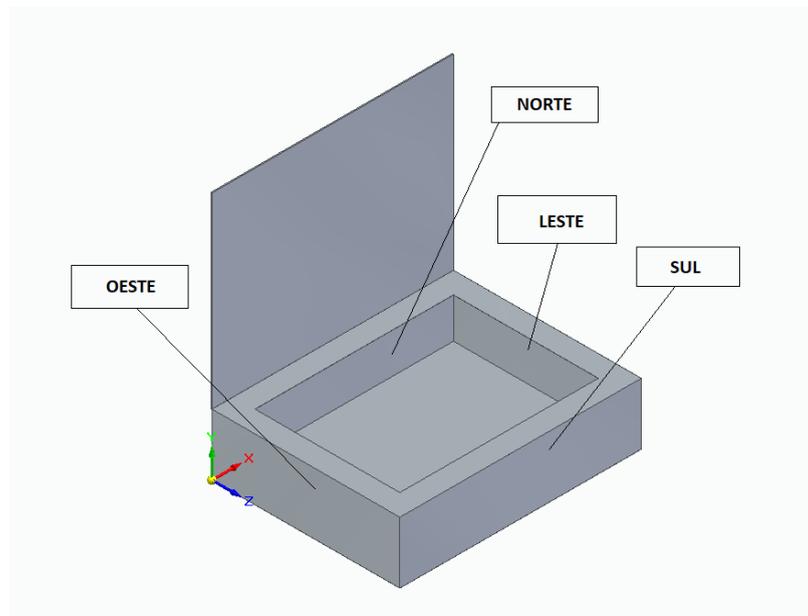
Figura 23 - Forno solar proposto montado junto com a fixação do espelho e seu mecanismo de regulagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Figura 24, tem-se o desenho técnico elaborado para este trabalho, que mostra a referência dos lados que foram utilizados para realizar a coleta das temperaturas durante os ensaios experimentais

Figura 24 - Desenho feito no Solid Edge do forno solar proposto



Fonte - Elaborada pelo autor (2022)

### 3.3 Equipamentos empregados durante o ensaio

Durante os ensaios foram utilizados alguns tipos de equipamentos para realizar a coleta dos dados, que foram:

- Relógio - usado para saber em qual horário foi realizado os ensaios;
- Radiômetro R2 SM206 - usado para mensurar o fluxo de radiação solar naquele exato momento;
- Termopar Lutron TM902C - usado para mensurar a temperatura das superfícies metálicas do forno;

A Figura 25 ilustra os equipamentos utilizados nos ensaios experimentais.

Figura 25 - Termopar e radiômetro utilizados nos ensaios



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

### 3.4 Balanço térmico do forno solar

Os raios solares que são inseridos no forno proposto neste trabalho, que são inseridos através da superfície refletora, onde os raios são concentrados para o interior do forno, e também que entram pela tampa de vidro, são de dois tipos, a radiação solar global incidente, que é a que entra diretamente pelo vidro, e a radiação solar direta refletida, que entra através do espelho refletor. Portanto, para definir qual a energia que entra nesse forno solar, precisamos realizar o somatório dessas duas formas de calor.

#### 3.4.1 Energia que entra no forno solar ( $E_{ef}$ )

Como mencionado acima, essa energia total que entra nada mais é que a soma total da radiação solar global incidente e da radiação solar direta refletida. Esse somatório é demonstrado abaixo através da Equação (2)

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

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 dessas energias que entram no forno solar, faz-se a utilização das equações (3) e (4):

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

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

Onde:

$I_g$  = Radiação instantânea global que entra no forno solar (W/m<sup>2</sup>);

$I_d$  = Radiação instantânea direta que entra no forno solar (W/m<sup>2</sup>);

$\rho_e$  = Refletividade do espelho;

$\tau_v$  = Transmissividade do vidro;

$A_v$  = Área do Vidro;

$A_{ue}$  = Área útil do espelho;

Segundo Fu e Rich (1999), em condições de céu limpo, a proporção da radiação direta em relação à radiação global atinge valores típicos de 80%. Portanto  $I_d = 0,8 \times I_g$  (5)

### 3.4.2 Energia perdida pelo forno ( $E_{pf}$ )

Como é de conhecimento geral, tudo que ganha calor, também perde calor, e no forno, não é diferente. As energias de perdas pelo calor foram calculadas através dos valores médios das temperaturas medidas durante os testes experimentais. Considerando que as perdas de energia acontecem de forma convectiva e radiativa entre as superfícies externas e o ar ambiente, as equações abaixo levam em consideração as perdas provenientes das laterais, do fundo, e do vidro do forno.

$$E_{pf} = E_{lat} + E_{fun} + E_v \quad (6)$$

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, dada na Equação (6), e o coeficiente global de perdas pelas laterais, dada pela Equação (7), foram calculados como mostra abaixo:

$$E_{lat} = U_{lat} \times A_{lat} \times (T_{med\ int} - T_{med\ ext}) \quad (7)$$

Onde:

$E_{lat}$  = Taxa de energia perdida pelas laterais do forno (W/m<sup>2</sup>K)

$A_{lat}$  = Área lateral do forno

$T_{med\ int}$  = Temperatura média interna na lateral do forno

$T_{med\ ext}$  = Temperatura média externa na lateral do forno

Como a parte lateral do forno é composto por madeira compensada, isopor EPS e chapa de alumínio, o coeficiente global de perdas pela lateral será o utilizado na Equação (8).

$$U_{lat} = \frac{1}{\frac{e_{pu}}{k_{pu}} + \frac{e_{alu}}{k_{alu}} + \frac{e_{mad}}{k_{mad}}} \quad (8)$$

Onde:

$U_{lat}$  = Coeficiente global de perdas pela lateral do forno (W/m<sup>2</sup>K);

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

$k_{pu}$  = Condutividade térmica do Poliestireno (W/mK);

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

$k_{alu}$  = Condutividade térmica do alumínio (W/mK);

$e_{mad}$  = Espessura da madeira (m);

$k_{mad}$  = Condutividade térmica da madeira (W/mK).

b) Perda térmica pelo fundo do forno

A taxa de energia perdida pelo fundo do forno, dada na Equação (9), e o coeficiente global de perdas pelo fundo, dada pela Equação (10), foram calculados como mostra abaixo:

$$E_{fun} = U_{fun} \times A_{fun} \times (T_{m\ int\ fun} - T_{m\ ext\ fun}) \quad (9)$$

Onde:

$E_{fun}$  = Taxa de energia perdida pelo fundo do forno (W/m<sup>2</sup>K);

$A_{fun}$  = Área do fundo do forno;

$T_{m\ int\ fun}$  = Temperatura média interna no fundo do forno;

$T_{m\ ext\ fun}$  = Temperatura média externa no fundo do forno;

Como a parte do fundo do forno é composto por madeira compensada, isopor EPS e chapa de alumínio, o coeficiente global de perdas pelo fundo será calculado na Equação (10).

$$U_{fun} = \frac{1}{\frac{e_{pu}}{K_{pu}} + \frac{e_{alu}}{K_{alu}} + \frac{e_{mad}}{K_{mad}}} \quad (10)$$

Onde:

$U_{fun}$  = Coeficiente global de perdas pelo fundo do forno (W/m<sup>2</sup>K);

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

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

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

$k_{alu}$  = Condutividade térmica do alumínio (W/mK);

$e_{mad}$  = Espessura da madeira (m);

$k_{mad}$  = Condutividade térmica da madeira (W/mK).

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 mensurado através da Equação (11), segundo DUFFIE&BECKMAN (1991).

$$hc = 2,8 + (3 \times Vv) \quad (11)$$

Onde:

$h_c$  = Coeficiente de troca térmica convectiva entre a superfície externa do vidro e do ambiente;

$V_v$  = Velocidade do vento, em m/s.

A Equação (11) pode ser utilizada para velocidades de vento entre 0 e 7 m/s. No dia dos ensaios, foram dados as velocidades dispostas no site do Climatempo, onde em todos os ensaios, a velocidade do vento não passou de 7 m/s, portanto, a Equação utilizada era válida para os ensaios.

O coeficiente de troca térmica radiativa entre a superfície externa da cobertura e o ambiente, como diz DUFFIE&BECKMAN (1991), é em função das condições climáticas do local considerando podendo ser determinado através da Equação (12).

$$hr = \sigma \times \left( \frac{T_{ve}^4 - T_{sky}^4}{T_{ve} - T_a} \right) \quad (12)$$

Onde:

$h_r$  = Coeficiente de troca térmica radiativa entre a superfície externa do vidro e do ambiente;

$\sigma = (5,16 \times 10^{-8})$  = Constante de proporcionalidade de Stefan-Boltzmann

$T_{ve}$  = 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  $T_{sky}$  pode ser obtido pela Equação (13), sem trazer erros significativos.

$$T_{sky} = 0,0552 * T_a^{1,5} \quad (13)$$

O cálculo do coeficiente global de perdas pelo vidro é dado pela Equação (14) e a taxa de energia perdida pelo vidro de cobertura é determinada pela Equação (15).

$$U_v = \frac{1}{\frac{1}{hc(ve-a)+hr(ve-a)}} \quad (14)$$

$$E_v = U_v \times A_v \times (T_{ve} - T_{va}) \quad (15)$$

Onde:

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

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

$A_v$  = Área do vidro (m<sup>2</sup>);

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

$T_{va}$  = Temperatura ambiente em Kelvin (K).

### 3.4.3 Rendimento solar do forno ( $\eta_{forno}$ )

A taxa de energia que é absorvida pelo forno solar ( $E_{abs}$ ) é expressa pela Equação (16).

$$E_{abs} = E_{ef} - E_{pf} \quad (16)$$

Onde:

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

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

Portanto, para saber o rendimento térmico do forno ( $\eta_{forno}$ ), basta pegar a razão da energia absorvida ( $E_{abs}$ ) e a energia total que entra no forno solar ( $E_{ef}$ ), como mostra a Equação (17).

$$\eta_{forno} = \frac{E_{abs}}{E_{ef}} \quad (17)$$

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Nesse tópico, será realizada a abordagem dos resultados obtidos nos ensaios realizados no forno solar, além de discussões relativas a cerca do processo de assamento dos alimentos testados nos ensaios, que tem por finalidade demonstrar a viabilidade do forno solar proposto neste trabalho.

### **4.1 Procedimentos experimentais**

Devido ao período de pandemia que passamos pela Covid-19, os ensaios foram feitos no quintal da minha residência na cidade de Floriano-PI, no dia 06 de janeiro de 2022, das 9:30 às 11:00 horas, e no dia 07/01/2022, das 11:30 às 12:30. O principal objetivo destes ensaios era conseguir assar dois alimentos industriais, além disso, realizar a coleta dos dados das temperaturas da superfície absorvedora, das laterais, leste, oeste, norte e sul da caixa interna, e ainda, do ar interior do forno, e com isso, calcular a eficiência do forno solar proposto neste trabalho.

#### **4.1.1 Procedimentos preliminares do ensaio**

Para realizar os ensaios, foi realizada uma higienização do interior do forno, além de uma limpeza no vidro e na superfície refletora, que nesse caso, foi o espelho. Logo após foi colocado o forno em um local aberto e arejado, com bastante incidência solar.

Em todos os ensaios foram utilizados o intervalo de 5 min para a coleta de dados, onde nos dados iniciais, o forno foi deixado por 10 minutos sem a tampa para um pré-aquecimento, para assim, realizar as coletas iniciais de temperaturas sem nenhuma carga.

#### **4.1.2 Procedimentos operacionais dos ensaios**

Nesses ensaios, existem fenômenos ao qual pode ser mensurado, mas não controlados, e outros, que além de ser mensurados, podem ser controlados. Portanto, houve dois tipos de variáveis: as não controláveis, e as controláveis.

- Variáveis não controláveis:
  - Ventos
  - Condições climáticas
  - Insolação solar
  
- Variáveis controláveis:
  - Posicionamento do forno
  - Coleta das temperaturas
  - Intervalo de tempo das coletas

#### 4.2 Ensaio dia 06 de janeiro de 2022

No primeiro ensaio, as condições climáticas eram de temperatura ambiente a 30 °C, e durou das 9:35 às 10:40 horas. Nesse ensaio, foi realizado o assamento de Nuggets da Sadia, produto mostrado na Figura 26.

Figura 26: Nuggets utilizado no ensaio



Fonte: SADIA (2022)

Nesse teste, foi medido as temperaturas internas laterais apenas no início e no final do ensaio, pois para realizar essas medidas de 5 em 5 minutos, seria necessário abrir o forno e

retirar sua tampa constantemente, o que não era recomendado realizar, pois assim todo o calor acumulado no interior do forno iria sofrer alterações indesejadas. A Tabela 04 mensura as temperaturas internas medidas antes de colocar carga no forno e sem sua tampa.

Tabela 04 - Medições iniciais do forno no dia 06 de janeiro de 2022

TEMPERATURAS INTERNAS INICIAIS	
Posição	Temperaturas (°C)
Fundo	89,3
Norte	73,6
Sul	50,2
Leste	62,4
Oeste	51,1

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Logo após, foi colocado o alimento em questão, e fechado o forno com a sua tampa de vidro, onde foram coletados o horário em questão, temperatura da placa absorvedora (fundo interno) e a radiação solar global e indireta, Equação (5), no presente instante.

Figura 27 - Ensaio realizado no dia 06 de janeiro de 2022



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Neste ensaio, foram aferidas as temperaturas internas da placa absorvedora, como mostra a Tabela 05.

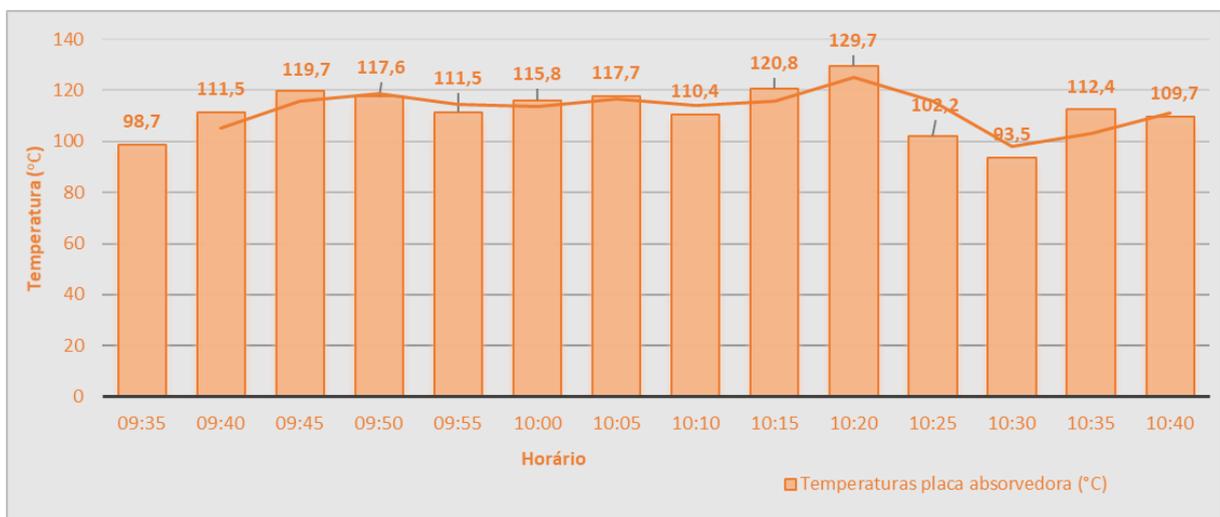
Tabela 05 - Temperatura internas e radiações durante o ensaio do dia 06 de janeiro de 2022

<b>TEMPERATURAS E RADIAÇÕES</b>			
<b>Horário</b>	<b>Temperaturas placa absorvedora (°C)</b>	<b>Irradiação direta (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiação Global Solar</b>
09:35	98,7	820,96	1026,2
09:40	111,5	900,56	1125,7
09:45	119,7	936,64	1170,8
09:50	117,6	853,04	1066,3
09:55	111,5	763,36	954,2
10:00	115,8	728,48	910,6
10:05	117,7	908,88	1136,1
10:10	110,4	676,56	845,7
10:15	120,8	926,64	1158,3
10:20	129,7	982,24	1227,8
10:25	102,2	820,08	1025,1
10:30	93,5	676,72	845,9
10:35	112,4	766,56	958,2
10:40	109,7	694,08	867,6

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Pelo gráfico 01, podemos ver essas temperaturas aferidas no ensaio, e analisar de forma mais precisa.

Gráfico 01 - Temperatura da placa absorvedora do dia 06 de janeiro de 2022



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Pelos dados apresentados acima, podemos ver que houve uma variação grande da primeira medição de temperatura para a seguinte, e logo após, ela permaneceu com pouca variação no decorrer do tempo, com exceção do horário de 10:25 e 10:30, onde a temperatura sofreu uma redução.

A temperatura máxima atingida pela placa absorvedora foi de 129,7 °C, com 982,24 W/m<sup>2</sup> de radiação direta, e 1227,8 W/m<sup>2</sup> de radiação global, e a mínima de 93,5°C, com 676,72 W/m<sup>2</sup> de radiação direta e 845,9 W/m<sup>2</sup> de radiação global. Neste ensaio, podemos perceber através do gráfico 01 e do gráfico 02, que a maior radiação foi justamente onde obtivemos a maior temperatura e houve pouca variação de temperatura, em decorrência principalmente do céu no dia ter poucas nuvens. O Gráfico 02 mostra esses valores de irradiação global durante o ensaio.

Gráfico 02 - Irradiação global solar do dia 06 de janeiro de 2022



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

A Figura 28 mostra os alimentos depois do assamento completo no forno solar.

Figura 28 - Alimento após o período de assamento dos nuggets



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Logo após a retirada da tampa e a medição das temperaturas interna após o assamento, com a retirada do vidro, e por consequência, a perda do calor gerado pelo efeito estufa, as temperaturas sofrem grandes variações comparadas a última medição em carga, mostrando assim que o vidro conseguiu armazenar calor e promover o efeito estufa no forno. A Tabela 06 mostra as medições obtidas no final do ensaio.

Tabela 06 - Medições finais do forno no dia 06 de janeiro de 2022.

TEMPERATURAS INTERNAS FINAIS	
Posição	Temperaturas (°C)
Fundo	88,7
Norte	65,2
Sul	55,4
Leste	68,4
Oeste	49,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

### 4.3 Ensaio do dia 07 de janeiro de 2022

No primeiro ensaio, as condições climáticas eram de temperatura ambiente a 32 °C, e durou das 11:30 às 12:15 horas. Nesse ensaio, foi realizado o assamento de um pedaço da Pizza de forno da Seara, como mostra a figura 29.

Figura 29 - Pizza de forno utilizada no ensaio



Fonte: SEARA (2022)

Nesse teste, também foi medido as temperaturas internas laterais apenas no início e no final do ensaio, pois assim como no primeiro ensaio, para realizar essas medidas de 5 em 5 minutos, seria necessário abrir o forno e retirar sua tampa constantemente, o que não era recomendado realizar, pois assim todo o calor acumulado no interior do forno iria sofrer alterações indesejadas. A Tabela 07 mostra as temperaturas internas medidas antes de colocar carga no forno e sem sua tampa.

Tabela 07 - Temperaturas iniciais do forno no dia 07 de janeiro de 2022

TEMPERATURAS INICIAIS INTERNAS	
Posição	Temperaturas (°C)
Fundo	98,2
Norte	58,4
Sul	51,6

Leste	57,1
Oeste	44,5

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Logo após, foi colocado a alimento em questão, e fechado o forno com a sua tampa de vidro, onde foram coletados os mesmos dados do primeiro ensaio, o horário no presente instante, temperatura da placa absorvedora (fundo interno) e a radiação solar global e indireta (Equação 4) no instante momento.

Figura 30 - Ensaio realizado no dia 07 de janeiro de 2022 com a pizza



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Neste ensaio foi percebido de forma clara que a tampa do vidro embaçou duas vezes, onde teve que ser limpa pois quando isso acontece, os raios solares sofrem dificuldades em atravessar o vidro, prejudicando assim a eficiência do ensaio do forno solar, como mostrado na Figura 31.

Figura 31 - Momento que o vidro embaça no assamento da pizza



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Neste ensaio, foram aferidas as temperaturas internas da placa absorvedora, como mostra a Tabela 08.

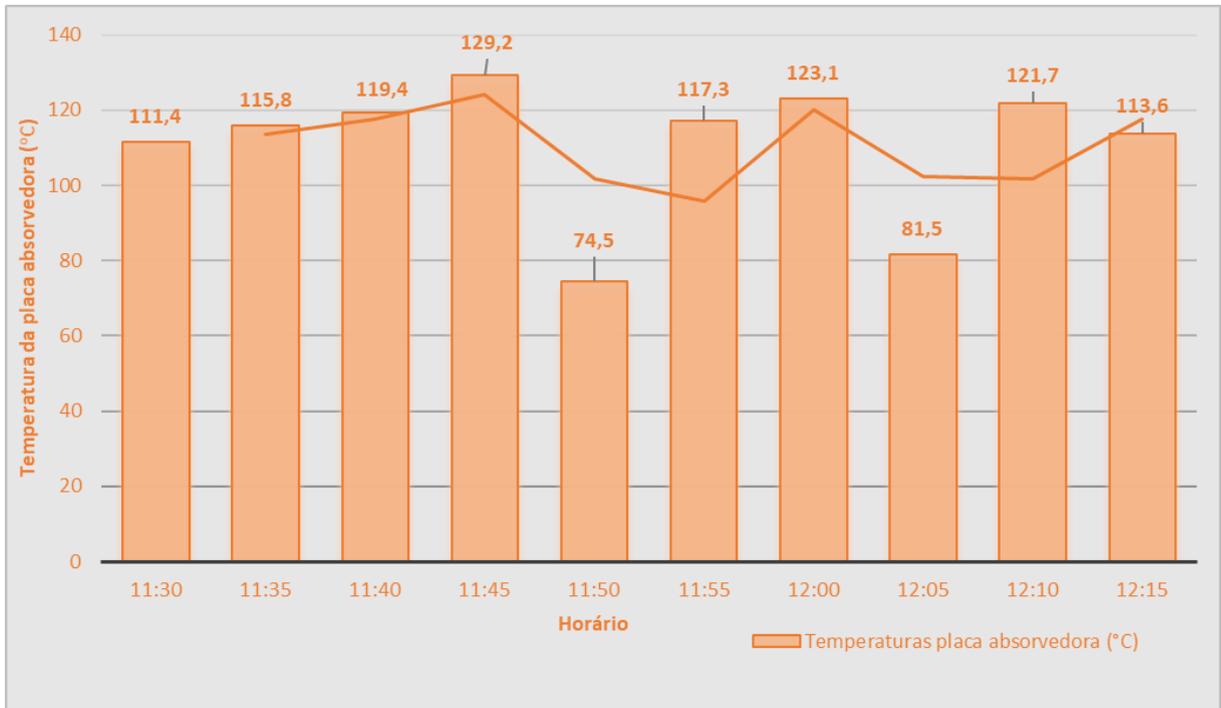
Tabela 08 - Temperatura internas durante o ensaio do dia 07 de janeiro de 2022

<b>Temperaturas</b>			
<b>Horário</b>	<b>Temperaturas placa absorvedora (°C)</b>	<b>Irradiação direta (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiação global solar (W/m<sup>2</sup>)</b>
11:30	111,4	819,28	1024,1
11:35	115,8	817,44	1021,8
11:40	119,4	976,88	1221,1
11:45	129,2	1008,32	1260,4
11:50	74,5	523,68	654,6
11:55	117,3	926,64	1158,3
12:00	123,1	1057,76	1322,2
12:05	81,5	536,64	670,8
12:10	121,7	901,68	1127,1
12:15	113,6	765,92	957,4

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Pelo Gráfico 03, podemos ver essas temperaturas aferidas no ensaio, e analisar de forma mais precisa.

Gráfico 03 – Temperatura interna durante o ensaio do dia 07 de janeiro de 2022

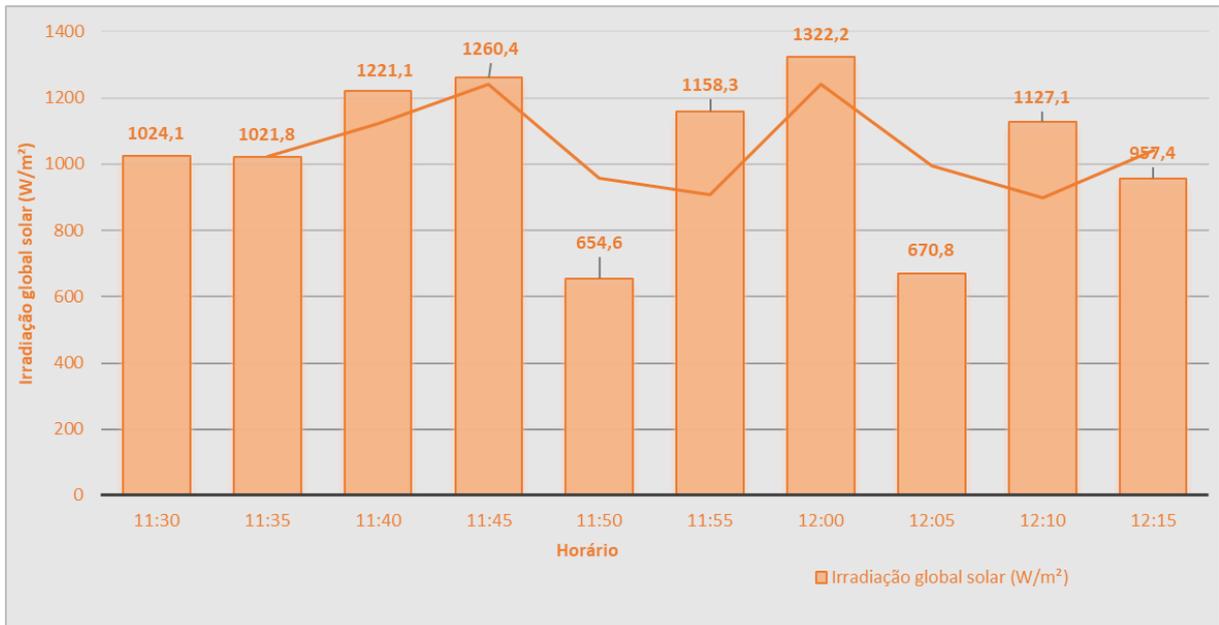


Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Pelos dados apresentados acima, podemos ver que houve uma pequena variação da primeira medição de temperatura para a seguinte, e, em algumas situações a temperatura e as radiações, tiveram variações grandes nos dados coletados.

Isso se justifica porque em alguns intervalos, o forno solar parou de receber os raios solares pelo fato de algumas nuvens interferirem, mudando assim drasticamente algumas temperaturas e radiações. O Gráfico 04 mostra esses valores de irradiação global durante o ensaio.

Gráfico 04 - Irradiação global solar do dia 07 de janeiro de 2022



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Embora esses dois fenômenos tenham acontecido, as temperaturas foram mais altas que a do primeiro ensaio e não prejudicou de forma considerável a eficiência do forno nesse ensaio. A temperatura máxima atingida pela placa absorvedora foi de 129,2 °C, com 1008,32 W/m<sup>2</sup> de radiação direta, e 1260,4,4 W/m<sup>2</sup> de radiação global, e a mínima de 74,5°C, com 523,68 W/m<sup>2</sup> de radiação direta e 654,6 W/m<sup>2</sup> de radiação global.

Neste ensaio, diferente do primeiro, o ponto onde teve a maior temperatura, não tiveram as maiores radiações, e isso ocorreu, porque nesse intervalo o sol não teve nenhuma interferência, gerando assim um aquecimento constante e gradual, mesmo com as radiações menores.

Por fim, após a retirada da tampa e a medição das temperaturas interna após o assamento, com a retirada do vidro, e por consequência, a perda do calor gerado pelo efeito estufa, as temperaturas sofrem grandes variações comparadas a última medição em carga, mostrando assim que o vidro conseguiu armazenar calor e promover o efeito estufa no forno. A Tabela 09 mostra as temperaturas obtidas no final do ensaio.

Tabela 09 - Medições finais do forno no dia 07 de janeiro de 2022.

<b>TEMPERATURAS FINAIS INTERNAS</b>	
<b>Posição</b>	<b>Temperaturas (°C)</b>
Fundo	98,2
Norte	58,4
Sul	51,6
Leste	57,1
Oeste	53,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

#### 4.4 Ensaio dia 08 de janeiro de 2022

Nos ensaios acima, não foram mensurado os valores das temperaturas externas laterais durante os ensaios, pelo fato de possuir apenas um instrumento de medição de temperatura disponível, foi realizado um ensaio sem carga para medir essas temperaturas junto com as internas, para pôr seguinte mensurar a eficiência do forno, além de suas taxas de ganho e perda de calor. Segue abaixo a Tabela 09, que mostra esses dados coletados para fins de cálculos.

Tabela 10 - Temperaturas do forno sem carga

<b>TEMPERATURA DAS SUPERFÍCIES (°C)</b>					
<b>Interna T= 71,3 °C</b>					
<b>Temp. Vidro</b>	<b>Temp. Fundo</b>	<b>Temp. Lateral Leste</b>	<b>Temp. Lateral Oeste</b>	<b>Temp. Lateral Norte</b>	<b>Temp. Lateral Sul</b>
74,6	91,1	89,3	71,8	62,4	77,2
<b>Externa T= 31 °C</b>					
<b>Temp. Vidro</b>	<b>Temp. Fundo</b>	<b>Temp. Lateral Leste</b>	<b>Temp. Lateral Oeste</b>	<b>Temp. Lateral Norte</b>	<b>Temp. Lateral Sul</b>
72,4	40,8	44,5	50	43,5	42,3

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

#### 4.5 Comparação e análise dos ensaios com carga

Como se trata de alimentos e situações diferentes, é válido ressaltar algumas considerações e comparações entre os dados. No ensaio do dia 06 de janeiro de 2022, no processo de assamento dos nuggets, a temperatura na superfície absorvedora se manteve relativamente alta e sofreu pouca variação, recebendo assim mais radiação solar no tempo do ensaio.

Entretanto, o tempo de assamento dos Nuggets teve uma duração maior que a da pizza, o que se justifica também pela característica de cada alimento, é informado pelo fabricante dos produtos o tempo de assamento em forno convencional é de 12 minutos para a pizza é de 20 minutos para os Nuggets, esse seria o tempo sem considerar o pré aquecimento do forno que é indicado 5 minutos.

Também nos resultados obtidos no ensaio do dia 07 de janeiro de 2022, algumas nuvens interferiram no ensaio, e conseqüentemente podem ter contribuído para que o forno perdesse calor e radiação em alguns momentos, aumentando portanto o tempo de assamento da pizza. Vale destacar que a irradiação direta foi calculada como mostrada no Tópico 3.4.1.

#### 4.6 Balanço energético do forno solar proposto

Para calcular o balanço energético, que é o calor que entra no forno e o calor que sai, irá se utilizar as equações que foram mostradas no Tópico 3.3.

##### 4.6.1 Energia absorvida pelo forno no ensaio do dia 06 de janeiro de 2022

Toda a energia efetiva que entra no forno durante esse ensaio, equação (2), nada mais é do que o somatório da radiação solar que incide diretamente sobre o forno, com a energia advinda da radiação solar direta que é refletida pelo espelho fixado na estrutura do forno.

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

A radiação global que vamos utilizar para inserir na equação (3), que é a energia da radiação solar global que incide diretamente no forno, será a média das radiações solar

globais obtidas no ensaio, mostrados na Tabela 05. Portanto, vamos adotar  $A_v = 0,1419 \text{ m}^2$  (ver seção 3.2),  $\tau_v = 0,85$  (*transmissividade do vidro*) e  $I_g = 1022,75 \text{ W/m}^2$ .

$$E_g = I_g \times \tau_v \times A_v = (1022,75) \times (0,85) \times (0,1419) \quad (3)$$

$$E_g = 123,3590 \text{ W}$$

Para calcular a equação (4), que é a energia da reflexão dos espelhos da parte superior do forno solar, precisamos calcular a equação (5), o  $I_d$  utilizado foi a média obtida na Tabela 05.

$$I_d = 0,8 \times I_g = 0,8 \times 1022,75 \text{ W/m}^2$$

$$I_d = 818,20 \text{ W/m}^2$$

Portanto, usando  $I_d = 818,20 \text{ W/m}^2$ , calculamos a equação (4).

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

$$E_{re} = (818,20) \times (0,95) \times (0,85) \times (0,1575)$$

$$E_{re} = 104,0597 \text{ W}$$

Então, a energia efetiva que entra no forno dada pela equação (2) vai ser:

$$E_{ef} = E_g + E_{re} = 123,3590 + 104,0597 \quad (2)$$

$$E_{ef} = 227,4187 \text{ W}$$

#### 4.6.2 Energia absorvida pelo forno no ensaio do dia 07 de janeiro de 2022

Toda a energia efetiva que entra no forno durante esse ensaio, Equação (2), nada mais é do que o somatório da radiação solar que incide diretamente sobre o forno, com a energia advinda da radiação solar direta que é refletida pelo espelho fixado na estrutura do forno. Utilizando a radiação global média do ensaio do dia 07 de janeiro de 2022, disposta na Tabela 06, teremos  $I_g = 1041,78 \text{ W/m}^2$

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

A radiação global que vamos utilizar para inserir na equação (3), que é a energia da radiação solar global que incide diretamente no forno, será a média das radiações solar globais obtidas no ensaio, mostrados na Tabela 06. Portanto, vamos adotar  $A_v = 0,1419 \text{ m}^2$  (ver seção 3.2),  $\tau_v = 0,85$  (*transmissividade do vidro*) e  $I_g = 1041,78 \text{ W/m}^2$ .

$$E_g = I_g \times \tau_v \times A_v = (1041,78) \times (0,85) \times (0,1419) \quad (3)$$

$$E_g = 125,6542 \text{ W}$$

Para calcular a equação (4), que é a energia da reflexão dos espelhos da parte superior do forno solar, precisamos calcular a equação (5), o  $I_d$  utilizado foi a média obtida na Tabela 06.

$$I_d = 0,8 \times I_g = 0,8 \times 1041,78 \text{ W/m}^2 \quad (5)$$

$$I_d = 833,4240 \text{ W/m}^2$$

Portanto, usando  $I_d = 833,4240 \text{ W/m}^2$ , calculamos a equação (4).

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

$$E_{re} = (833,4240) \times (0,95) \times (0,85) \times (0,1575)$$

$$E_{re} = 105,9959 \text{ W}$$

Então, a energia efetiva que entra no forno dada pela Equação (2) será:

$$E_{ef} = E_g + E_{re} = 125,6542 + 105,9959 \quad (2)$$

$$E_{ef} = 231,6501 \text{ W}$$

#### 4.6.3 Energia perdida pelo forno pelas laterais

Para calcular as perdas pelas laterais, precisamos utilizar a Equação (8), que nada mais é que o coeficiente global de perdas pelas laterais do forno

$$U_{lat} = \frac{1}{\frac{epu}{Kpu} + \frac{ealu}{Kalu} + \frac{emad}{Kmad}} = \frac{1}{\frac{0,02}{0,035} + \frac{0,0003}{205} + \frac{0,02}{0,17}} \quad (8)$$

$$U_{lat} = 1,4512 \text{ W/m}^2\text{K}$$

As camadas laterais do forno são formadas por madeira compensada, isopor EPS e alumínio, com espessuras de 20 mm, 20 mm e 0,3 mm, respectivamente. Portanto a Equação (7) mensura a taxa de energia perdida pelas laterais

$$E_{lat} = U_{lat} \times A_{lat} \times (T_{m \text{ int}} - T_{m \text{ ext}}) \quad (7)$$

Para saber a taxa de energia térmica perdida pelas laterais, cada  $Q_{lat}$  perdido foi calculado em cada lateral, e o somatório desses  $Q_{lat}$ , gera o  $E_{lat}$  total perdido, e esses valores estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Taxa de energia perdida pelas laterais do forno

DIMENSÕES DAS PLACAS DE ALUMÍNIO E TAXA DE ENERGIA TÉRMICA PERDIDA (°C)					
Lateral	L (m)	H (m)	A (m <sup>2</sup> )	ΔT (°C)	Q lat (W)
Norte	0,37	0,1097	0,0406	18,9	1,1133
Sul	0,37	0,1097	0,0406	34,9	2,0557
Leste	0,27	0,1097	0,0296	44,8	1,9256
Oeste	0,27	0,1097	0,0296	21,8	0,9370
<b>E lat (W)</b>					<b>6,0316</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Portanto, a energia perdida pelas laterais foi de **6,0316 W**.

#### 4.6.4 Perdas pelo fundo do forno

Como a estrutura do forno nas laterais é igual a estrutura do fundo do forno, podemos utilizar o mesmo coeficiente global de perdas usado nas perdas laterais.

$$U_{fun} = \frac{1}{\frac{epu}{Kpu} + \frac{ealu}{Kalu} + \frac{emad}{Kmad}} = \frac{1}{\frac{0,02}{0,035} + \frac{0,0003}{205} + \frac{0,02}{0,17}} \quad (8)$$

$$U_{fun} = 1,4512 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Para calcular a taxa de energia perdida pelo fundo do forno, utilizou-se os dados da Tabela 09, para pegar a variação de temperatura, e os dados das dimensões do fundo

Tabela 12 - Dimensões do fundo do forno solar

<b>ÁREA E VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DO FUNDO DO FORNO</b>			
<b>Referência</b>	<b>L(m)</b>	<b>C (m)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Fundo</b>	0,45	0,35	0,1575
<b>ΔT</b>			<b>50,3</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Com isso, pode-se calcular a taxa de energia perdida pelo fundo do forno com a Equação (9).

$$E_{fun} = U_{fun} \times A_{fun} \times (T_{m\ int\ fun} - T_{m\ ext\ fun}) \quad (9)$$

$$E_{fun} = 1,4512 \times 0,1575 \times 50,3$$

$$E_{fun} = 11,4968\ W$$

#### 4.6.5 Perdas pela tampa do vidro

A equação da taxa de perda de calor pela tampa do vidro é dada pela equação (6)

$$E_v = U_v \times A_v \times (T_{ve} - T_a) \quad (15)$$

Para calcular a taxa de perda causada pela tampa de vidro, equação (6), tem-se que encontrar o coeficiente de troca térmica por convecção, Equação (11), e o coeficiente de troca térmica radioativa, Equação (12).

$$hc_{(ve - a)} = 2,8 + (3 \times V_v) \quad (11)$$

$$hr_{(ve - a)} = (5,16 \times 10^{-8}) \times \left( \frac{T_{ve}^4 - T_{sky}^4}{T_{ve} - T_a} \right) \quad (12)$$

No dia do experimento, a temperatura ambiente ( $Ta$ ) era de 31 °C e a velocidade do vento ( $Vv$ ) era de 1,3889 m/s. A partir desses valores, podemos calcular os coeficientes expressos nas equações (11) e (12), e definir a temperatura da abóbada celeste ( $Tsky$ ).

$$Tsky = 0,0552 \times Ta^{1,5} \quad (13)$$

Convertendo a temperatura ambiente ( $Ta$ ) de °C para K

$$Ta = 31 + 273,15$$

$$Ta = 304,15 K$$

$$Tsky = 0,0552 \times Ta^{1,5} = 0,0552 \times 304,15^{1,5}$$

$$Tsky = 292,7998 K$$

$$hc(ve - a) = 2,8 + (3 \times Vv) = 2,8 + (3 \times 1,3889)$$

$$hc(ve - a) = 6,9667 W/m^2K$$

$$Tve = 72,4 + 273,15$$

$$Tve = 345,55 K$$

$$hr(ve - a) = (5,16 \times 10^{-8}) \times \left( \frac{Tve^4 - Tsky^4}{Tve - Ta} \right)$$

$$hr(ve - a) = (5,16 \times 10^{-8}) \times \left( \frac{345,5500^4 - 292,7998^4}{345,5500 - 304,1500} \right)$$

$$hr(ve - a) = 8,6094 W/m^2K$$

Para calcular a Equação do coeficiente global das perdas pelo vidro, iremos utilizar a Equação (14)

$$Uv = \frac{1}{\frac{1}{hc(ve-a)+hr(ve-a)}} = \frac{1}{6,9667+8,6094}$$

$$Uv = 15,5761 W$$

Com isso, vamos calcular a taxa de energia perdida pela tampa de vidro pela Equação (15).

$$E_v = U_v \times A_v \times (T_{ve} - T_a) = 15,5761 \times (0,330 + 0,430) \times (345,55 - 304,15)$$

$$E_v = 91,5043 \text{ W}$$

Como todos esses valores mensurados, podemos agora calcular toda a energia perdida pelo forno, pela Equação (6)

$$E_{pf} = E_{lat} + E_{fun} + E_v = 6,0316 + 11,4968 + 91,5043$$

$$E_{pf} = 109,0327 \text{ W}$$

#### 4.7 Rendimento térmico do forno

A eficiência do forno ( $\eta_{forno}$ ) é dada pelo quociente de toda a energia absorvida pelo forno ( $E_{abs}$ ) pela energia efetiva que entra no forno ( $E_{ef}$ ), dada pela Equação (17), onde o  $E_{ef}$  vai ser a média obtida pelos dois ensaios com carga.

$$E_{abs} = E_{ef} - E_{pf} = 229,5344 - 109,0327$$

$$E_{abs} = 120,5017 \text{ W}$$

Portanto, a eficiência do forno será:

$$\eta_{forno} = \frac{E_{abs}}{E_{ef}} \times 100$$

$$\eta_{forno} = \frac{120,5017}{229,5344} \times 100$$

$$\eta_{forno} = 52,4983 \%$$

Portanto, a eficiência do forno solar foi de aproximadamente 52,5%, o que é um valor aceitável, pois com os equipamentos limitados, tiveram que serem feitas algumas adaptações para chegar neste resultado, que podem ter adicionado influência nos dados coletados. Ainda

sim, fazendo uma comparação com alguns trabalhos de referências, como o do CHIANCA(2019) e MAURICIO (2019) , seus resultados de rendimento térmico máximos alcançados foram de 66%, enquanto que o de NOGUEIRA(2018) foi de aproximadamente de 61%, vale salientar que suas bancadas de teste, equipamentos, dimensões, tipo de materiais utilizados, entre outras coisas, diferem dos utilizados neste trabalho.

#### 4.8 Custos na construção do material

Para a construção e fabricação do forno, foram necessários alguns gastos, como compra de material, e outros foram doados, reduzindo assim os custos. Segue os valores na tabela 13

Tabela 13 – Custo na fabricação do forno proposto

<b>Unidade</b>	<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>	<b>Preço ( R\$ )</b>
2	<b>Madeira compensada, 20 mm espessura</b>	<b>60,00</b>
1	<b>Chapa de alumínio, 1000 x 500 mm, 0.3 mm de espessura</b>	<b>40,00</b>
2	<b>Placa de isopor (EPS), 100 x 50 mm, 20 mm de espessura</b>	<b>11,00</b>
1	<b>Cola para isopor e madeira, 60 ml</b>	<b>5,00</b>
1	<b>Vidro</b>	<b>Reciclado</b>
1	<b>Tinta spray preto fosco, Tintas Maza, 400 ml</b>	<b>20,00</b>
1	<b>Cola epoxy</b>	<b>30,00</b>
2	<b>Dobradiça</b>	<b>20,00</b>
6	<b>Parafusos</b>	<b>Reciclado</b>
1	<b>Espelho</b>	<b>Reciclado</b>
<b>Custo total</b>		<b>186,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Embora o custo do forno foi no valor de R\$ 186,00, ele ainda é um excelente custo-benefício para pessoas de baixa renda ou que moram em lugares sem energia elétrica. Se seu valor for comparado com fornos novos de embutir, forno elétrico ou fogão novos com forno, no qual variam de R\$ 500,00 a R\$ 7000,00, dependendo de seu modelo, ele se mostra bastante favorável de ser adquirido.

Vale mencionar que quando se faz o uso de fogão, necessita do gás de cozinha, onde quem não possui o refil, paga cerca de R\$ 300,00 para adquirir, e para realizar a troca, paga na faixa de 85 a 125 reais, dependendo do local. Portanto, o forno solar se mostra bastante eficiente, com o custo menor do que os produtos mencionados acima que possuem a mesma função, e ainda, possui custo baixíssimo de manutenção, sendo necessário apenas retocar a pintura externa e interna, além de manter o vidro limpo e o ambiente onde vai ser preparado o forno.

## **5 CONCLUSÃO**

Analisando os dados apresentados neste trabalho, percebe-se que o forno solar de baixo custo proposto cumpriu seu objetivo e desempenho esperado, na qual em relação a sua construção foi algo de simples execução e possível de ser reproduzido. Além disso sua construção foi realizada com materiais que foram reciclados, reduzindo assim o custo de aquisição. É válido mencionar que neste projeto, o custo total foi de R\$ 186,00 reais, no qual a madeira compensada foi comprada, mas sabe-se que esse material pode ser reciclado e adquirido sem custos, principalmente reaproveitando móveis velhos que geralmente são descartados, sendo possível reduzir ainda mais o valor de custo final.

Em relação ao assamento dos alimentos, o tempo para o forno solar foi maior que o dos fornos convencionais, onde o forno solar deste trabalho conseguiu cozinhar os alimentos propostos em aproximadamente de 1 hora, enquanto o indicado pelo fabricante é de 12 minutos para a pizza e de 20 minutos para os Nuggets. É válido mencionar que esses tempos só são obtidos no convencional se o mesmo tiver realizado um pré aquecimento de pelo menos 5 minutos.

Essa diferença de tempo pode ser atribuído às perdas de calor por fatores externos, que ocorreram no forno durante os experimentos, como a incidência de vento, surgimento de nuvens, como foi mencionado anteriormente, no qual no assamento dos Nuggets, a temperatura na superfície absorvedora se manteve relativamente alta e sofreu pouca variação, recebendo assim mais radiação solar no tempo do ensaio quando comparado com o outro experimento, e esperava-se que a Pizza por possuir menor tempo de cozimento quando

comparado ao Nugget, também apresentasse redução no tempo de cozimento no forno solar, o que não ocorreu devido a estas variáveis não controláveis.

Quanto a viabilidade do forno solar, o balanço térmico mostrou que a energia que entra no forno foi em média aproximadamente de 230 W, enquanto as perdas de energias no total foram de aproximadamente 109 W devido aos fatores externos, deste modo o rendimento térmico do forno obtido foi de aproximadamente 52,50%. Quando comparado com os resultados obtidos por outros autores percebe-se que o valor máximo de rendimento térmico obtido foi de aproximadamente de 66%, deste modo o valor de rendimento térmico obtido neste trabalho pode ser considerado aceitável.

Portanto, o forno solar fabricado se mostrou viável como uma alternativa para o assamento de alimentos, por ser de fácil montagem, com valor de baixo custo, com um bom rendimento térmico, sendo uma possibilidade de utilização de energia limpa e poder contribuir com famílias carentes que não possuem meios de obter e manter a utilização do forno convencional.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Projetar um forno solar híbrido, onde em situações que não possua luz solar suficiente, seja acionado outra fonte de energia, como a utilização de resistores para aquecer as placas e gerar calor no forno.
- Elaborar um manual explicando o funcionamento do forno solar, tanto seus riscos de uso, quanto sua forma de manuseio, montagem e manutenção.
- Realizar ensaios com outros tipos de alimentos para analisar o tempo de cozimento e comparar com valores com os com forno convencional.

## REFERÊNCIAS

ALBANO, José. **O que é o forno solar.** Disponível em: <http://www.seara.ufc.br/tintim/fisica/fornosolar/fornosolar01.htm>. Acesso em: 17 agost. 2021

ALDABÓ, R. **Energia Solar.** São Paulo. Artliber Editora, 2002.

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.

**Atlas brasileiro de energia solar.** 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em: 17 agost. 2021

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

COLADAWEB. **Radiação Solar,** 2021. Disponível em: <https://www.coladaweb.com/fisica/ondas/radiacao-solar>. Acesso em: 17 agost. 2021

COMGÁS. **Manual Técnico para Projeto e Construção de Sistemas de Aquecimento Solar & Gás Natural,** 2011

CRESESB, **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos,** 2018. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/2654058/manual-de-engenharia-para-sistemas-fotovoltaicos-cresesb-cepel>. Acesso em: 17 agost. 2021

DGS. **Photovoltaic Systems - Planning and installing.** Berlin: The German Energy Society, 2008.

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.

Duffie, J.A. and Beckman, W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**, 1991

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Atlas climatológico do Piauí**. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária, Teresina, 2006.

HENRIQUE, Pedro de Almeida Varela, **Viabilidade térmica de um forno solar fabricado com sucata de pneu**, Programa de Pós-graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

INCROPERA, F.P., BERGMAN, T.L., DEWITT, D.P. (2008), **Fundamentos de transferência de calor e de massa**, 6ª ed., Editora LTC, Rio de Janeiro-RJ.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. 2016.

JARVIS A, H.I., REUTER, A. Nelson, GUEVARA, E. **Hole-filled seamless SRTM data V4**, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/225091458\\_Hole-filled\\_seamless\\_SRTM\\_data\\_V4\\_Tech\\_rep\\_International\\_Centre\\_for\\_Tropical\\_Agriculture\\_CIAT](https://www.researchgate.net/publication/225091458_Hole-filled_seamless_SRTM_data_V4_Tech_rep_International_Centre_for_Tropical_Agriculture_CIAT). Acesso em: 17 agost. 2021

FREITAS, **Construção e avaliação da viabilidade da utilização de um fogão solar tipo caixa de baixo custo na cidade de Governador Dix-sept Rosado/RN**, Curso de bacharelado em ciência e tecnologia. Trabalho de Conclusão de Curso 2018.1.UFERSA, 2018.

FU, P.; RICH, P. **Design and implementation of the solar analyst: an arcview extension for modeling solar radiation at landscape scales**. In: ANNUAL ESRI CONFERENCE, 19., 1999.Proceeding. Disponível em:

<https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm>.

Acesso em: 15 fev. 2022.

KALOGIROU, Soteris A.; **Solar termal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science.** Progress in Energy and Combustion Science. Ed. 30, Niscocia, 2004.

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.

LOUREIRO, **Energia solar térmico,** 2004. Disponível em: <<http://www.marioloureiro.net/tecnica/energSolar/guia-tecnico-manual-solartermico.pdf>>

Acesso em: 17 agost. 2021

MAURICIO, U.R.L.F. Estudo de um forno solar fabricado a partir de uma luminária em desuso.2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2019.

NEOSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica,** 2018. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes/>>. Acesso em: 17 agost. 2021

NOGUEIRA, A.M. **Análise e estudo de um forno solar de baixo custo.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2018.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos: INPE, 2006.

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

RAMOS FILHO, Ricardo Eugênio Barbosa. **Análise de desempenho de um fogão solar construído a partir de sucatas de antena de tv.** 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - 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.

SOLAR COOKERS INTERNATIONAL. **Harnessing the sun to benefit people and the environment.** Disponível em: <[https://www.solarcookers.org/application/files/6715/8101/8317/Meet\\_Dr.\\_Shishpal\\_Rawat.pdf](https://www.solarcookers.org/application/files/6715/8101/8317/Meet_Dr._Shishpal_Rawat.pdf)> Acesso em 10 dez. 2021

SOUZA, P.T. **Energia Solar Térmica: Perspectivas do Presente e do Futuro, 2010.** Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

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, et al. **Forno solar fabricado em placas de pvc utilizadas em forro de ambientes**, VII CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Anais... Uberlândia, 2014.

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.

TEIXEIRA, Olívio Alberto, PASSOS, L. A., ARAÚJO, Paulo Mário, SILVA, L. **Utilização do Fogão Solar Tipo Caixa Para Secagem de Alimentos em Comunidades de Baixa-Renda**, In: Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza: Editora da UFCE, 2007.

TIGRE, Antonio A.S., **Introdução à Energia Solar: Heliotérmica e Fotovoltaica. 2020. 36f. Trabalho derivado de monografia com estudo de caso.** – Engenharia Elétrica e Eletrônica, Centro Universitário Estácio de São Paulo, São Paulo, 2020.

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