



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**JOUBERT HENRIQUE DE OLIVEIRA FERREIRA**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM FOGÃO SOLAR FUNIL CONSTRUÍDO A  
PARTIR DE EMBALAGENS TETRA PAK**

**SÃO LUÍS/MA**

**2019**

**JOUBERT HENRIQUE DE OLIVEIRA FERREIRA**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM FOGÃO SOLAR FUNIL CONSTRUÍDO A  
PARTIR DE EMBALAGENS TETRA PAK**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Jorge de Jesus Passinho e Silva

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO ALUNO JOUBERT HENRIQUE DE OLIVEIRA FERREIRA, E ORIENTADA PELO PROF. ME. JORGE DE JESUS PASSINHO E SILVA.

---

ASSINATURA DO ORIENTADOR

**SÃO LUÍS/MA**

**2019**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA

Ferreira, Joubert Henrique de Oliveira.

Análise de desempenho de um fogão solar funil construído a partir de embalagens Tetra Pak / Joubert Henrique de Oliveira Ferreira. – São Luís, 2019.

45 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Me. Jorge de Jesus Passinho e Silva.

1.Forno solar 2.Funil. 3.Embalagens. 4.Tetra Pak. 5.Eficiência térmica. I.Título

CDU: 620.1

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM FOGÃO SOLAR FUNIL CONSTRUÍDO A  
PARTIR DE EMBALAGENS TETRA PAK**

Autor: Joubert Henrique De Oliveira Ferreira

Orientador: Prof. Me. Jorge de Jesus Passinho e Silva

A Banca Examinadora Composta pelos membros abaixo aprovou esta monografia:

---

**Prof. Me. Jorge de Jesus Passinho e Silva**  
Instituição: Universidade Estadual do Maranhão

---

**Prof. Me. Paulo Sérgio Feitosa Barroso**  
Instituição: Universidade Estadual do Maranhão

---

**Prof. Me. José Ribamar Pestana Filho**  
Instituição: Universidade Estadual do Maranhão

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram para minha formação.

## RESUMO

No presente trabalho foi construído um forno solar do tipo funil a partir de embalagens Tetra Pak, mostrando todo o procedimento de confecção e montagem. A construção é simples e tem baixo custo, já que os materiais são reciclados e pode ser utilizado por famílias de baixa renda. Foi analisado o desempenho do forno em dois ensaios, um deles a panela foi posta no forno sem confinamento e o outro a panela foi posicionada no forno e confinada por um filme plástico para ficar exposta ao efeito estufa. Em seguida os resultados obtidos nos dois ensaios foram comparados. No primeiro ensaio o forno atingiu a máxima temperatura de 72°C e uma eficiência térmica de 8,8 % e no segundo ensaio atingiu a máxima de 81°C e uma eficiência térmica de 11,8%, evidenciando a importância do efeito estufa. O forno atingiu temperatura superior a temperatura interna mínima para cocção de alguns tipos de alimentos, provando sua viabilidade para cocção.

**Palavras - chave:** Forno Solar; Funil; Embalagens; Tetra Pak; Eficiência térmica.

## ABSTRACT

In the present work a funnel-type solar furnace was built from Tetra Pak packages, showing the entire confection and assembly procedure. Construction is simple and inexpensive as the materials are recycled and can be used by low-income families. The oven performance was analyzed in two trials, one of them the pan was placed in the oven without confinement and the other the pan was placed in the oven and confined by a plastic film to be exposed to the greenhouse effect. Then the results obtained in both trials were compared. In the first test the oven reached a maximum temperature of 72 ° C and a thermal efficiency of 8.8% and in the second test it reached a maximum temperature of 81 ° C and a thermal efficiency of 11.8%, highlighting the importance of the greenhouse effect. The oven has reached a temperature higher than the minimum internal temperature for cooking some types of food, proving its viability for cooking.

**Key - words:** Solar Oven, Funnel; greenhouse effect; Tetra Pak; Thermal Efficiency

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Forno solar de Saussure .....	3
Figura 3.2 – Forno solar tipo caixa .....	4
Figura 3.3 – Forno solar tipo caixa .....	5
Figura 3.4 – Trajetória dos raios solares em um forno solar parabólico .....	6
Figura 3.5 – Forno solar parabólico .....	6
Figura 3.6 – Forno solar funil feito com papelão e folha de alumínio por Steven E. Jones....	7
Figura 3.7 – Embalagens cartonadas Tetra Pak .....	8
Figura 3.8 – Camadas que compõe a embalagem Tetra Pak .....	8
Figura 3.9 – Espectro da radiação eletromagnética .....	10
Figura 4.1 – Materiais coletados em alguns pontos da cidade .....	14
Figura 4.2 – Caixas de leite vazias .....	14
Figura 4.3 – Dimensões das caixas de leite .....	15
Figura 4.4 – Corte da extremidade da caixa .....	16
Figura 4.5 – Corte executado na aresta da caixa de leite .....	16
Figura 4.6 – Embalagem de leite após os cortes .....	16
Figura 4.7 – Colagem das embalagens utilizando ferro de passar roupa .....	17
Figura 4.8 – Colagem das trilhas de embalagens Tetra Pak .....	17
Figura 4.9 – Corte da semicircunferência no painel .....	17
Figura 4.10 – Etapas de construção do funil .....	18
Figura 4.11 – (a) Materiais prontos para serem montados. (b) Suporte do forno solar devidamente montado .....	18
Figura 4.12 – Forno solar pronto .....	18
Figura 4.13 – Panela utilizada nos ensaios .....	19
Figura 4.14 – Termômetro culinário .....	20
Figura 4.15 – Relógio termo-higrômetro Minipa MT-241 .....	20
Figura 4.16 – Panela com os termômetros posicionados .....	21
Figura 4.17 – Panela posicionada no interior do forno solar .....	21
Figura 4.18 – Panela confinada por um filme de plástico.....	22
Figura 5.1 – Dados obtidos no ensaio 1 .....	25
Figura 5.2 – Dados obtidos no ensaio 2 .....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Temperatura interna mínima para cocção de alguns alimentos.....	12
Tabela 5.1 – Dados obtidos no ensaio 1 .....	23
Tabela 5.2 – Dados obtidos no ensaio 2 .....	26
Tabela 5.3 – Máxima temperatura obtida nos dois ensaios.....	28

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
BYU	Brigham Young University
TBA	Tetra Brik Aseptic

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Símbolos romanos

$^{\circ}\text{C}$	Temperatura em graus Celsius	
$c_0$	Velocidade da luz no vácuo	[m/s]
$G_s$	Constante solar	[W/m <sup>2</sup> ]
K	Temperatura em kelvin	[K]
$T_f$	Temperatura do reservatório frio	[K]
$T_q$	Temperatura do reservatório quente	[K]

### Símbolos gregos

$\nu$	Frequência da onda	[Hz]
$\eta_c$	Rendimento térmico de Carnot;	[%]
$\lambda$	Comprimento de onda	[m]

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
3.1	FORNO SOLAR .....	3
3.2	HISTÓRIA DO FORNO SOLAR.....	3
3.3	TIPOS DE FORNOS SOLARES .....	4
<b>3.3.1</b>	<b>Forno solar do tipo caixa</b> .....	<b>4</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Forno solar do tipo parabólico</b> .....	<b>5</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Forno solar do tipo painel</b> .....	<b>6</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Forno solar do tipo funil</b> .....	<b>7</b>
3.4	EMBALAGENS TETRA PAK.....	8
<b>3.5</b>	<b>MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR</b> .....	<b>9</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Condução</b> .....	<b>9</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Convecção</b> .....	<b>9</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Radiação</b> .....	<b>9</b>
3.5.3.1	Constrante Solar.....	10
3.5.3.2	Radiação Global .....	11
3.5.3.2	Radiação direta e difusa .....	11
3.5.3.3	Efeito estufa .....	11
3.5.3.4	Corpo negro .....	11
3.6	TEMPERATURA DE COCÇÃO .....	12
3.7	EFICIÊNCIA TÉRMICA DE CARNOT .....	13
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
4.1	MATERIAIS .....	14
<b>4.1.1</b>	<b>Ferramentas</b> .....	<b>14</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Construção do forno solar</b> .....	<b>14</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Panela utilizada no ensaio</b> .....	<b>19</b>
4.2	MÉTODO DE ENSAIO.....	19
<b>4.2.1</b>	<b>Equipamentos utilizados nos testes</b> .....	<b>19</b>

<b>4.2.2</b>	<b>Procedimentos preliminares</b> .....	20
<b>4.2.3</b>	<b>Procedimento operacional</b> .....	22
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	23
5.1	EFICIÊNCIA TÉRMICA DE CARNOT .....	28
5.2	VIABILIDADE TÉRMICA DO FORNO.....	29
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS</b>	30
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do IBGE (2019, apud G1, 2019), no ano passado 14 milhões de pessoas recorreram ao uso da lenha e do carvão para cozinhar alimentos, devido ao alto preço do gás de cozinha e pela pobreza, uma vez que, em 2017 metade dos trabalhadores tinha renda menor que o salário mínimo (IBGE, 2019, apud G1, 2019).

A queima de lenha ou carvão nos lares, principalmente em ambientes fechados, com pouca ventilação ou com chaminés inadequadas produzem fuligens e fumaça que podem causar sérios problemas à saúde como doenças respiratórias e até câncer (GIODA, 2017).

Além disso, o uso desses materiais favorece o desmatamento com a exploração de lenha e a produção de carvão nas carvoarias.

Por outro lado, usar energia solar para cozinhar alimentos é uma alternativa viável. A energia do sol já é utilizada para produzir eletricidade através de células fotovoltaicas e para aquecer água através de coletores solares.

O dispositivo que cozinha alimentos utilizando a energia do sol é o forno solar. Seu princípio de funcionamento baseia-se na reflexão dos raios solares por superfícies reflexivas concentrando-os sobre um recipiente onde o alimento é cozido. Essas superfícies reflexivas podem ser feitas com diferentes materiais.

Visando o fato de que é necessária uma fonte alternativa para cocção, um forno fácil de ser construído e a reutilização de embalagens de caixas de leite longa vida, o presente trabalho apresentará a construção e análise de desempenho de um forno solar funil utilizando embalagens cartonadas de leite longa vida produzida pela Tetra Pak.

Portanto pergunta-se: O forno solar funil construído a partir de embalagens Tetra Pak é viável para a cocção? Quais as temperaturas que o referido forno pode desenvolver?

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar o Desempenho de um forno Solar tipo funil construído a partir de embalagens tetra Pak.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Projetar e construir o forno solar tipo funil utilizando embalagens Tetra Pak;
- Analisar as temperaturas desenvolvidas pelo forno com e sem efeito estufa;
- Calcular eficiência térmica do forno para cada um dos ensaios;
- Demonstrar a viabilidade térmica do forno estudado.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 FORNO SOLAR

O forno solar, ou fogão solar, é um dispositivo que utiliza a radiação solar para cozinhar e assar alimentos (SPINELLI, 2016). Existem vários tipos de fornos solares classificados nas seguintes categorias: forno solar do tipo caixa, forno solar do tipo parabólico, forno solar do tipo painel (FILHO, 2011) e forno solar do tipo funil (JONES, 2002).

#### 3.2 HISTORIA DO FORNO SOLAR

O primeiro forno solar foi construído pelo naturalista francês Horace Bénédicte de Saussure no ano de 1767. O seu filho, Nicolas Théodore de Saussure, conduziu os primeiros experimentos com o forno solar. O forno solar construído por Saussure foi construído com duas caixas de madeira de pinho uma colocada no interior da outra, com um isolamento de lã e coberto por três camadas de vidro. Este forno chegou a 90 °C (SARMENTO, 2015)

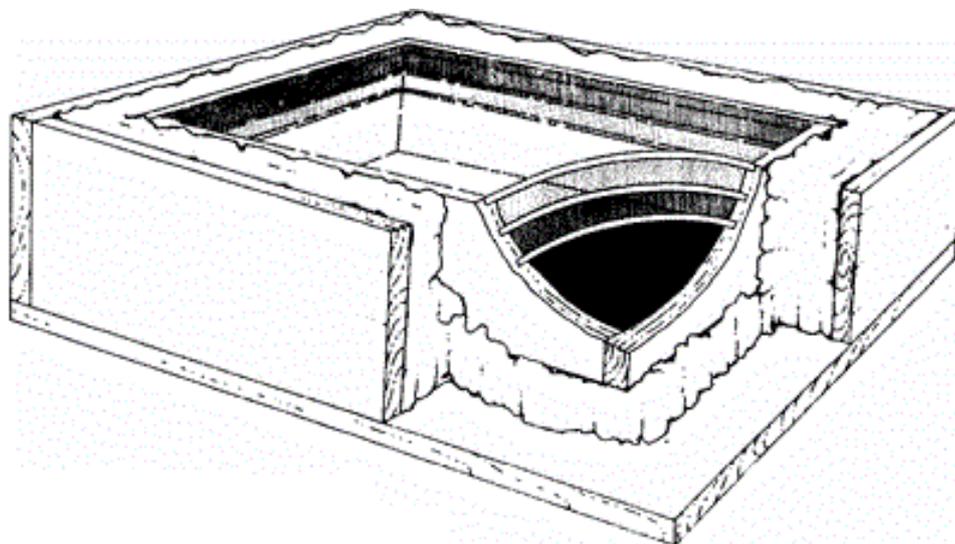


Figura 3.1– Forno solar de Saussure (adaptado de Solar Cooking, 2019)

### 3.3 TIPOS DE FORNOS SOLARES

#### 3.3.1 Forno solar do tipo caixa

Como o próprio nome sugere, este forno tem um formato de uma caixa. A caixa contém isolamentos térmicos por toda a parede e possui um vidro ou algum material transparente em sua extremidade superior. As paredes internas do forno são revestidas por um material reflexível com exceção do fundo onde é colocada uma chapa de metal pintado de preto (FILHO, 2011).

Para aumentar ainda mais a captação de energia solar, pode-se colocar alguns refletores no forno solar de caixa (FILHO, 2011).

O seu funcionamento consiste em deixar os raios solares entrar na caixa através do vidro, os raios solares que refletem nas paredes e no painel e atingem a chapa que fica quente ao absorver os raios solares.

Segundo Spinelli (2016), o forno solar tipo caixa pode chegar a temperaturas de 150°C. As figuras 3.1 e 3.2 apresentam exemplos de fornos solares do tipo caixa.

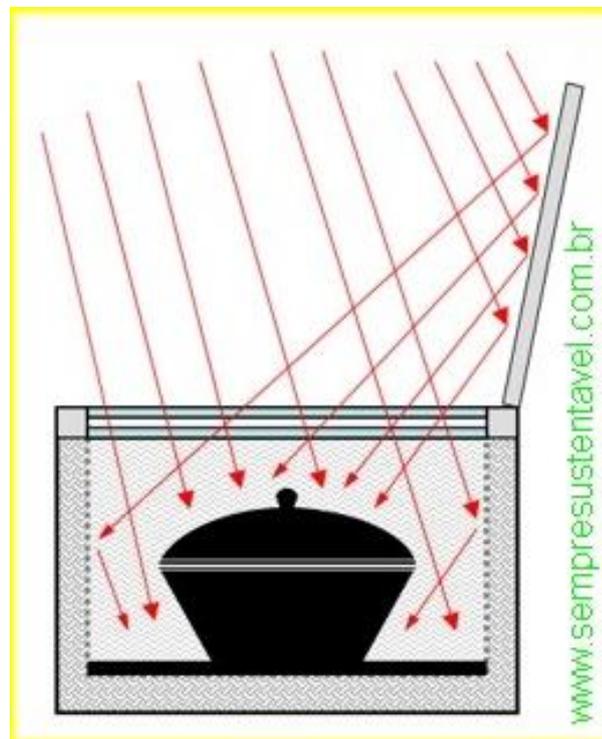


Figura 3.2 – Forno solar tipo caixa (adaptado de Sempre sustentável, 2019)



Figura 3.3 – Forno solar tipo caixa (adaptado de Solar Cooking, 2019)

### 3.3.2 Forno solar do tipo parabólico

O forno solar parabólico é um forno onde os raios solares são concentrados em um ponto que desenvolve altas temperaturas. Este forno é composto por uma parábola com a superfície interna reflexiva (GARCIA, 2013).

De acordo com Filho (2011), este tipo de forno pode chegar aos 800°C.

As figuras 3.3 e 3.4 mostram exemplos de forno solar parabólico.

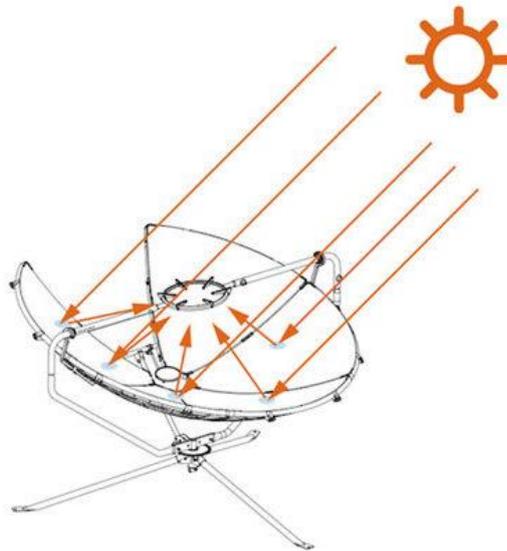


Figura 3.4 - Trajetória dos raios solares em um forno solar parabólico (Adaptado de jaanpak, 2019).



Figura 3.5 – Forno solar parabólico (Adaptado de Indiamart, 2019)

### 3.3.3 Forno solar do tipo painel

O forno solar de painel é um forno solar composto por painéis com superfícies reflexivas e são posicionados de forma que os raios solares sejam concentrados em uma panela. Esta panela deve estar coberta por um recipiente de acrílico ou vidro para evitar a

perda de calor por convecção (SARMENTO, 2015). Pode ser dobrável, o forno solar de painel é perfeito para camping.

### 3.3.4 Forno solar do tipo funil

O forno solar tipo funil é um tipo de forno solar que tem o formato de um grande funil. Onde a superfície interna deste tem propriedades reflexivas. O recipiente utilizado para cozinhar o alimento é colocado na extremidade com o menor diâmetro do funil. É um forno fácil de ser construído, podendo ser feito usando papelão e folha de alumínio como o forno fabricado pelo professor de física da BYU Steven Earl Jones (figura 3.5) (JONES, 2002).



Figura 3.6 - Forno solar funil feito com papelão e folha de alumínio por Steven E. Jones (Adaptado de solarcooking, 2019)

O funil concentra os raios solares da mesma forma que o concentrador parabólico com a diferença de que o cone concentra os raios em linha e o parabólico concentra os raios em um ponto (JONES, 2002).

### 3.4 EMBALAGENS TETRA PAK

Tetra Pak é uma empresa que fabrica embalagens cartonadas longa vida. Estas embalagens são utilizadas para guardar produtos alimentícios como sucos, leite e seus derivados e conservá-los por um longo período de tempo sem necessidade de resfriamento.

Um dos principais produtos da Tetra Pak é o Tetra Brik Aseptic (TBA) que é o tipo de embalagem mais presente nas prateleiras de supermercado. A figura 3.6 mostra um exemplo de embalagens Tetra Pak.



Figura 3.7 - Embalagens cartonadas Tetra Pak (Adaptado de Tetra Pak, 2019)

As embalagens Tetra Pak são feitas de três materiais básicos disposto em seis camadas de dentro para fora: A primeira camada é de polietileno e tem função de proteger o produto evitando que este atinja as outras camadas. A segunda camada é de polietileno e tem função de proporcionar aderência entre a terceira e primeira camada. A terceira camada é uma folha de alumínio e tem função de evitar que o oxigênio e a luz entrem em contato com o produto. A quarta camada é de polietileno, assim como a segunda, tem função de aderência. A quinta camada é feita de papel e tem por função proporcionar estabilidade, sustentação e suavidade para impressão gráfica. A sexta camada é feita de polietileno e tem função de proteger as outras camadas (NUTRIÇÃO PRÁTICA E SAUDÁVEL, 2017). A figura 3.7 mostra como as camadas são dispostas na embalagem.

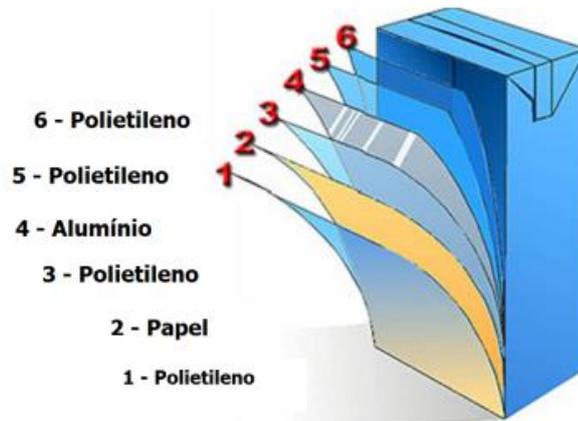


Figura 3.8 - Camadas que compõe a embalagem Tetra Pak (Adaptado de projetos sala ambiental, 2016)

### 3.5 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Segundo Çengel e Ghajar (2012), Calor é uma forma de energia que transita de um sistema para outro mediante a uma diferença de temperatura. Esta transferência de calor pode ocorrer de três formas: condução, convecção e radiação.

#### 3.5.1 Condução

A transferência de calor por condução ocorre quando partículas com maiores níveis de energia transferem energia para partículas adjacentes com energias mais baixas. A condução ocorre em sólidos, líquidos e gases (ÇENGEL E GHAJAR, 2012).

#### 3.5.2 Convecção

Convecção é a transferência de calor entre uma superfície sólida e um fluido (gás, ou líquido) em movimento (ÇENGEL E GHAJAR, 2012).

#### 3.5.3 Radiação

Radiação é um modo de transferência de calor que ocorre devido à emissão de ondas eletromagnéticas por uma matéria e, diferente da condução e radiação, a transferência não depende de qualquer matéria para o transporte de calor, ou seja, pode transportar calor através

do vácuo. Esta é forma como o sol transmite energia para a Terra. (ÇENGEL E GHAJAR, 2012).

De acordo com Çengel e Ghajar (2012), As ondas eletromagnéticas são uma forma de energia liberada pela matéria em decorrência de mudanças na configuração eletrônica dos átomos ou moléculas. Essas ondas podem viajar, no vácuo, na velocidade da luz ( $c_0 = 2,9979 \times 10^8 m/s$ ). A característica das ondas eletromagnéticas é determinada de acordo com seu comprimento de onda  $\lambda$  e sua frequência  $\nu$ . O conjunto de ondas de diferente comprimento de onda compõe o espectro eletromagnético, como o mostrado na figura 3.8.

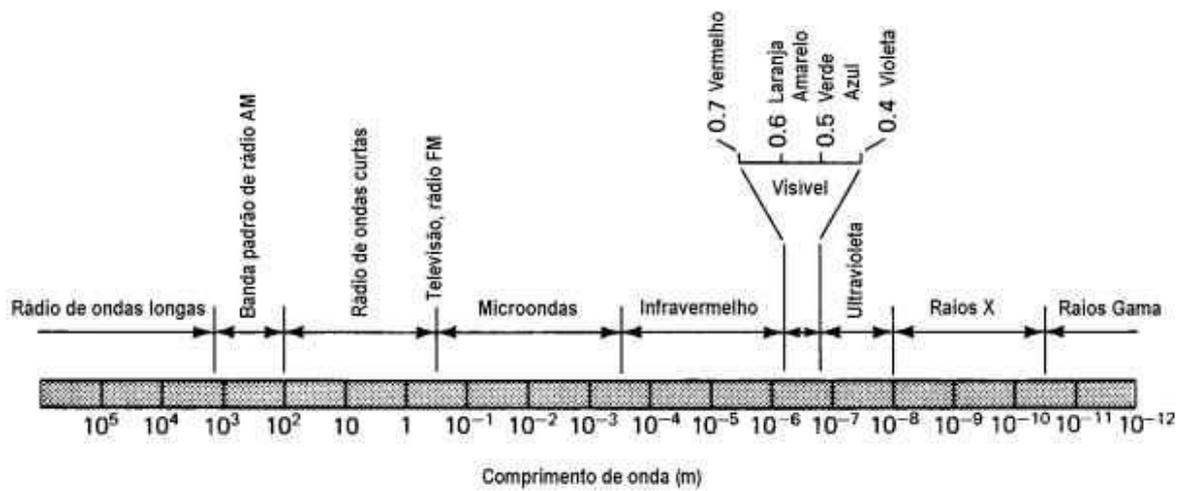


Figura 3.9 – Espectro da radiação eletromagnética (Adaptado de Grimm, 1999)

### 3.5.3.1 Constante Solar

A constante Solar (também chamada de irradiância solar total) é a energia por unidade de tempo que o sol transfere para uma unidade de área perpendicular a propagação dos raios solares acima da atmosfera terrestre quando a distância entre a Terra e o sol é a distância média (ZHENG, 2017). Segundo Çengel e Ghajar (2012), o valor da constante solar é mostrado na equação 3.1.

$$G_s = 1.373 \text{ W/m}^2 \quad (3.1)$$

### 3.5.3.2 Radiação Global

Devido à presença de oxigênio, ozônio, vapor de água, dióxido de carbono, poeira e poluição na atmosfera, parte dos raios solares são absorvidos e difundidos por essas substâncias fazendo com que apenas cerca de  $950 \text{ W/m}^2$  chegue à superfície terrestre em dias ensolarados e muito menos em dias nublados ou em áreas com poluição do ar (ÇENGEL E GHAJAR, 2012). Esta energia solar é chamada de radiação global.

### 3.5.3.3 Radiação Direta e Difusa

A radiação global é dividida em radiação direta e radiação difusa. A radiação direta é a parcela de radiação solar que incide em linha reta na superfície terrestre e que não sofre espalhamento na atmosfera e a radiação difusa é a radiação que é difundida pelos gases, poeira ou vapor de água e incide de forma espalhada em todas as direções (INCROPERA et al., 2016).

### 3.5.3.4 Efeito Estufa

Algumas substâncias transparentes (como o vidro, por exemplo), permitem a passagem de certa faixa de radiação do espectro da radiação solar e se tornam opacas para outras como o infravermelho. Quando esta faixa de radiação atravessa um dessas substâncias, ela aquece a vizinhança e as matérias presentes. As matérias aquecidas, por sua vez, liberam calor em forma de radiação infravermelha que é refletida pelo vidro, impedindo que o calor escape. Dessa forma a temperatura interior aumenta (INCROPERA et al. 2016).

### 3.5.3.5 Corpo negro

Segundo Incropera et al. (2016, p.500), um corpo negro pode ser conceituado da seguinte forma:

- I. *“Um corpo negro absorve toda a radiação incidente, independente do seu comprimento de onda e de sua direção.*
- II. *Para uma dada temperatura e comprimento de onda, nenhuma superfície pode emitir mais energia do que um corpo negro.*

III. *Embora a radiação emitida por um corpo negro seja uma função do comprimento de onda e da temperatura, ela é independente da direção. Isto é, o corpo negro é um emissor difuso.*“

### 3.6 TEMPERATURA DE COCÇÃO

Segundo o site do governo estadunidense foodsafety (2019), que é um site que aborda os cuidados na cozinha, lançou uma tabela contendo as temperaturas internas mínimas para preparar alguns alimentos. Alguns destes itens são mostrados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Temperatura interna mínima para cocção de alguns alimentos (adaptado de foodsafety, 2019)

Comida	Tipo	Temperatura interna (°C)
Carne moída ou mistura de carnes	Carne bovina, carne suína, vitela, carne de cordeiro	71,1
	Peru e frango	73,8
Carnes frescas (Carne de boi, cordeiro, vitela)	Bifes, assados e costeletas (Descansar por 3 minutos)	62,7
Aves	Todas as aves (peito, pernas, coxa, asas)	73,8
Carne suína e presunto	Carne de porco fresca, incluído presunto fresco (Descansar por 3 minutos)	62,7
	Presunto pré-cozido	73,8
Ovos cozidos e ovos fritos	Ovos cozidos	Cozinhar até que a gema e a clara fiquem firmes
	Ovos fritos	71,1
Sobras e caçarolas	Sobras e caçarolas	73,8
Frutos do mar	Peixes com barbatanas	62,7
	Camarão, lagosta, caranguejo e vieiras	Cozinhar até que as cascas fiquem com aspecto de pérola, branca ou opaca
	Moluscos, ostras e mexilhões	Cozinhar até que a casca abra durante o cozimento

### 3.7 EFICIÊNCIA TÉRMICA DE CARNOT

Todos os motores são construídos para trabalharem com a máxima eficiência possível. Só que existe um limite máximo de eficiência que um motor pode alcançar este limite é a eficiência de Carnot (MORAN et al., 2016).

A eficiência de Carnot  $\eta_c$  para ciclos operando entre dois reservatórios é mostrada na equação 5.1 (MORAN et al., 2016).

$$\eta_c = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad (5.1)$$

Onde:

- $\eta_c$  é o rendimento térmico de Carnot;
- $T_f$  é a temperatura do reservatório frio em Kelvin;
- $T_q$  é a temperatura do reservatório quente em Kelvin.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

O forno solar foi construído a partir de materiais descartados em alguns pontos da cidade (Figura 4.1) e de embalagens de leite coletadas em algumas residências e lanchonetes (Figura 4.2). Por ser feito com materiais reciclados, o custo deste forno é muito baixo, porém, é necessário criatividade para utilizar os materiais coletados e montar o forno.



Figura 4.1 – materiais coletados em alguns pontos da cidade (autor, 2019).



Figura 4.2 – Caixas de leite vazias coletadas em algumas residências e lanchonetes (autor, 2019).

#### 4.1.1 Ferramentas

Para construir o forno foi necessário o uso destas ferramentas:

- Estilete;
- Ferro de passar;
- Toalha de algodão;
- Serra;
- Martelo;

#### 4.1.2 Construção do forno solar

Para construir o funil refletor do forno solar foi necessário executar os seguintes procedimentos:

1. Coletas das caixas – As caixas de leite vazias têm o mesmo tamanho, volume e formato. Apesar de ter caixas de marcas diferentes, todas as embalagens são do tipo Tetra Brik Aseptic (TBA), que é o principal produto da Tetra Pak. As caixas temas dimensões mostradas na figura 4.3;
2. Corte das partes superior e inferior de cada caixa (Figura 4.4);
3. Corte em uma das arestas laterais de cada caixa (Figura 4.5) para que esta obtenha a forma plana (Figura 4.6);
4. Colagem das embalagens – Primeiramente as caixas foram coladas com calor lado a lado utilizando um ferro de passar (Figura 4.7) de forma que fossem adquiridas quatro trilhas de seis caixas coladas (Figura 4.8). Em seguida as trilhas foram coladas umas as outras, formando um único painel (Figura 4.8).
5. Uso do pano – Durante a colagem é necessário pôr um pano de algodão em cima da embalagem, para que o ferro de passar roupa não entre em contato direto com o polietileno;
6. Corte de uma semicircunferência de 34 cm de diâmetro em um dos lados do painel (Figura 4.9);
7. Dobra do painel – As duas extremidades resultantes do corte da semicircunferência são reunidas de forma com que o painel tome a forma de um funil com a face prateada voltada para dentro (Figura 4.10);
8. Montagem do suporte (Figura 4.11);
9. Fixação do funil no suporte.

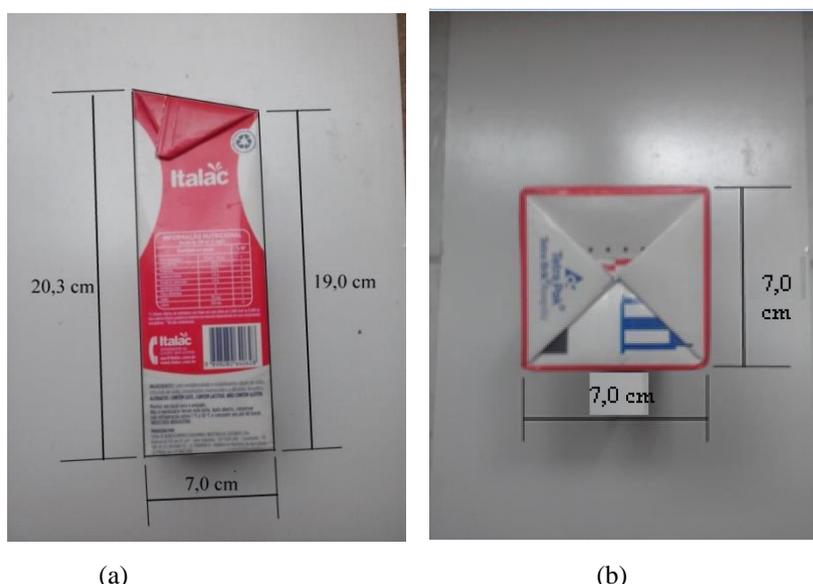


Figura 4.3 – Dimensões das caixas de leite. (a) Perfil. (b) Fundo (autor, 2019)



Figura 4.4 – Corte da extremidade da caixa (autor, 2019)

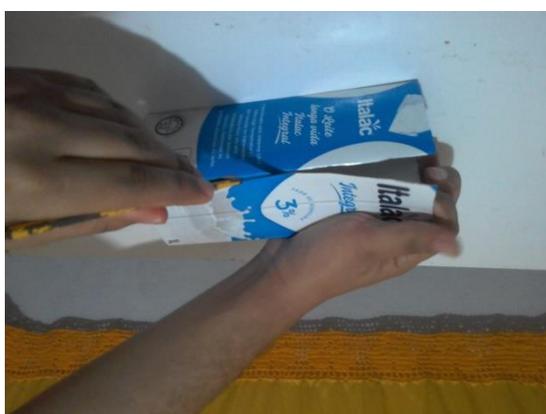


Figura 4.5 – Corte executado na aresta da caixa de leite (autor, 2019)

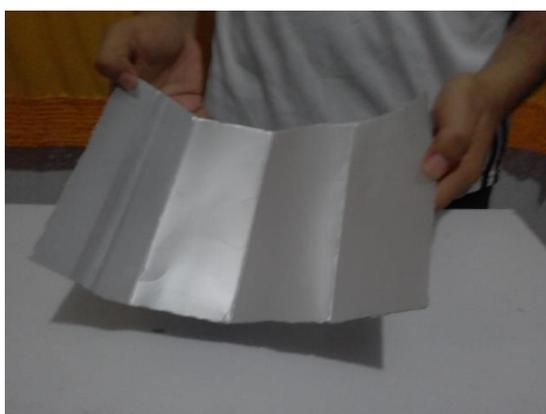


Figura 4.6 – Embalagem de leite após os cortes (autor, 2019)



Figura 4.7 – Colagem das embalagens utilizando ferro de passar roupa (autor, 2019)



Figura 4.8 – Colagem das trilhas de embalagens Tetra Pak (autor, 2019)



Figura 4.9 – Corte da semicircunferência no painel (autor, 2019)



Figura 4.10 – Etapas de construção do funil (autor, 2019)



(a)



(b)

Figura 4.11 – (a) Materiais prontos para serem montados. (b) Suporte do forno solar devidamente montado (autor, 2019)



Figura 4.12 – Forno solar pronto (autor, 2019)

### 4.1.3 Panela utilizada no ensaio

O recipiente utilizado no ensaio é uma panela de aço inoxidável com capacidade de 1 litro, tem a superfície interna e externa esmaltada na cor preta e tampa de vidro transparente. O diâmetro da panela é de 16 cm e a altura da base até o topo de 12,5 cm. A panela utilizada é vista na Figura 4.13.



Figura 4.13 – Panela utilizada nos ensaios (autor, 2018)

## 4.2 MÉTODO DE ENSAIO

Com este experimento pretendeu-se realizar dois ensaios: o primeiro realizado no dia 11 de novembro de 2019, consistiu-se em realizar testes no forno solar com a panela exposta ao ar livre. O segundo teste, foi realizado no dia 12 de novembro de 2019, constituiu-se em confinar o ar em volta da panela através de um filme plástico transparente para evitar a perda de calor por convecção e para que o calor permaneça confinado por meio do efeito estufa.

### 4.2.1 Equipamentos utilizados nos testes

Para a aquisição de dados foi utilizado um termômetro culinário Clink com faixa de medição  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+300^{\circ}\text{C}$  com precisão de  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  e um relógio termômetro-higrômetro Minipa MT-241 que é capaz de medir a umidade do ar e possui dois termômetros, um interno com faixa de medição  $0^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  com precisão de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  e um externo com faixa de medição  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+70^{\circ}\text{C}$  com precisão de  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ .

O termômetro culinário é mostrado na Figura 4.14 e o termômetro MT- 241 é mostrado na Figura 4.15.



Figura 4.14 – Termômetro culinário (Adaptado de Clinkimport, 2019)



Figura 4.15 – Relógio termo-higrômetro Minipa MT-241 (Adaptado de Minipa, 2019)

#### 4.2.2 Procedimentos preliminares

O forno solar foi posicionado em uma região com incidência solar, próxima ao prédio de física e matemática da Universidade Estadual do Maranhão localizada em São Luís do Maranhão com latitude de  $2^{\circ}58'04''S$  e longitude  $44^{\circ}20'37''W$ .

Foi colocado 500 ml de água da torneira no interior da panela nos dois ensaios.

Para obter as temperaturas durante o ensaio, a haste metálica do termômetro culinário foi posicionada no orifício de alívio da tampa da panela de modo que a haste atinja o fundo da panela. O sensor externo do termômetro Minipa MT – 241 foi posicionado na superfície externa da panela. A figura 4.16 mostra como ficou a montagem dos instrumentos na panela.

Após o posicionamento dos termômetros, a panela é colocada no interior do forno solar como mostra na figura 4.16.



Figura 4.16 – Panela com os termômetros posicionados (autor, 2019)



Figura 4.17 – Panela posicionada no interior do forno solar (autor, 2019)

Nos dois ensaios são utilizados os mesmos procedimentos, com a diferença de que, durante o segundo ensaio, a panela estava confinada no fundo do forno solar por um filme plástico.

A figura 4.18 mostra o forno pronto para o início do teste.

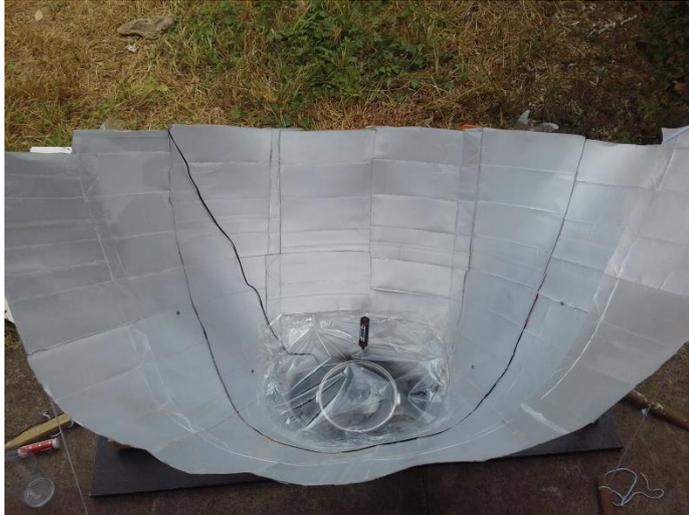


Figura 4.18 – Painel confinada por um filme de plástico (autor, 2019)

### 4.2.3 Procedimento operacional

- Lê e anotar a cada 5 minutos as temperaturas da água, da parede externa da painela, da temperatura ambiente e a umidade relativa do ar.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Ensaio 1 foi realizado com sucesso. Havia poucas nuvens no céu e durante a maior parte do ensaio a radiação solar direta incidu sobre o forno solar.

Os dados obtidos no ensaio 1 são mostrados na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Dados obtidos no ensaio 1 (autor, 2019)

(Continua)

ENSAIO 1				
HORA (DO DIA)	TEMPERATURA (°C)			UMIDADE %
	ÁGUA	AMBIENTE	PANELA	
10:00	30,3	35,1	34,8	51
10:05	32,4	37,3	35,1	47
10:10	35,2	38,3	38,6	44
10:15	37,7	39,1	39,3	42
10:20	39,9	39,5	40,7	41
10:25	42,3	38,7	44,2	43
10:30	41,4	39,5	45,2	42
10:35	43,1	40	47,5	35
10:40	46,1	39,5	46,6	42
10:45	50,1	38,3	46,7	42
10:50	52,4	38,3	50,6	44
10:55	55	39,5	52,9	43
11:00	56,1	39,5	51,6	42
11:05	55,9	38,7	49,7	43
11:10	56,2	37,9	51,7	45
11:15	57	37,5	51,7	45
11:20	56,6	37,1	51,7	46
11:25	58,7	38,7	54,7	43
11:30	60,8	40	56	43
11:35	60,9	39	54,7	43
11:40	62,1	38,7	56,2	44
11:45	64,7	39,7	59,2	42
11:50	64,8	40,8	56,6	32
11:55	67,6	41,3	61,5	35
12:00	69,9	41,3	63	33
12:05	70,4	41,3	62,7	32

Tabela 5.1 – Dados obtidos no ensaio 1 (autor, 2019)

(Conclusão)

12:10	69,8	39,7	61,1	40
12:15	72,2	41,3	64,1	33
12:20	71,9	41,3	62,3	33
12:25	72,3	41,9	61,4	31
12:30	68,3	40	57,5	34
12:35	68,6	40,3	59,6	34
12:40	65,5	39	55,5	41
12:45	64,7	38	58,2	43
12:50	65,6	39,1	58,8	42
12:55	66,3	38	57,9	42
13:00	66	37,5	57,9	44
13:05	65,3	37	57,1	44
13:10	65,5	37,9	61,4	42
13:15	66,7	38,3	61,3	42
13:20	67,4	37,9	60,5	42
13:25	67,5	37,1	60,2	43
13:30	66,5	36,7	58,7	44
13:35	65,1	36,5	58,3	44
13:40	65,4	36,7	59,2	44
13:45	66,1	38,7	60,2	42
13:50	66,2	39,1	59,5	42
13:55	66,2	39,3	59,8	41
14:00	65,6	38,7	58,7	39
MEDIA	59,6	38,6	54,5	41

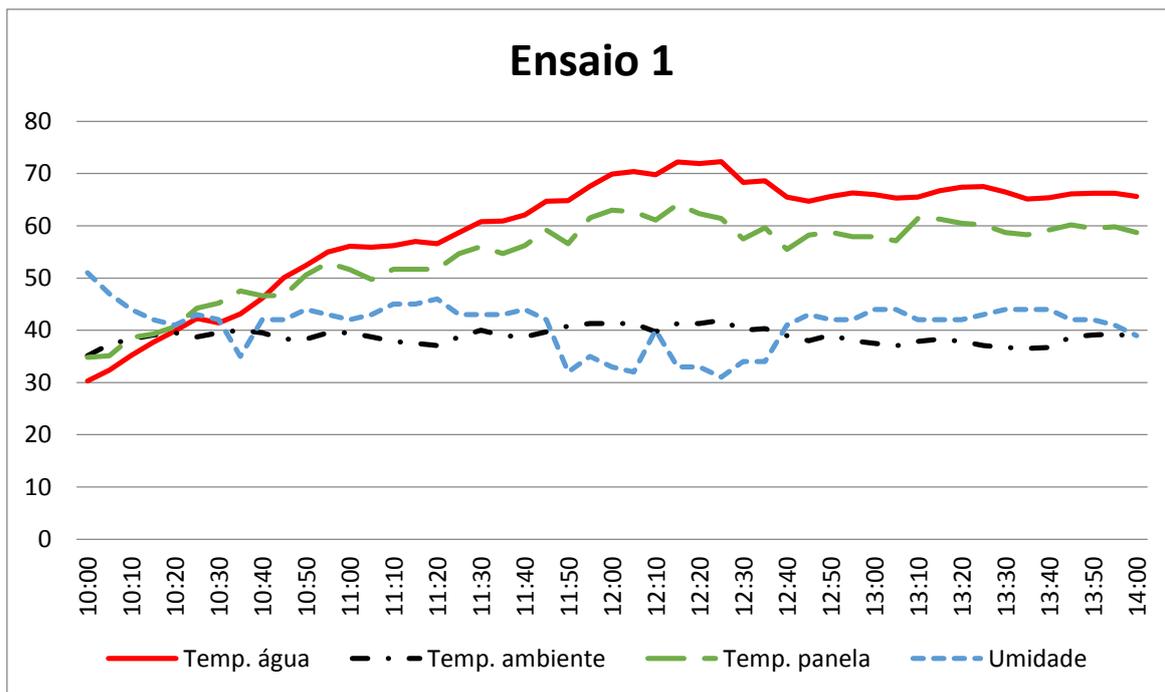


Figura 5.1 – Dados obtidos no ensaio 1 (autor, 2019)

Na figura 5.1 pode-se ver com mais clareza o desenvolvimento das grandezas medidas e a partir dela pode-se obter algumas observações:

- Inicialmente a água estava a uma temperatura mais baixa do que a temperatura ambiente e a temperatura da panela, mas à medida que o tempo passava, a temperatura da água aumentava até que às 10:20 horas as temperaturas da água, da panela e temperatura ambiente ficaram muito próximas. Depois deste ponto a temperatura da água se tornou a mais alta de todas até o fim do ensaio.
- A temperatura da parede da panela, durante a maior parte do ensaio, ficou abaixo da temperatura da água. Isso ocorreu devido ao resfriamento por convecção causado pelo movimento do ar em volta da panela. Há também o fato de que o efeito estufa no interior da panela contribuiu para o aumento da temperatura da água.
- No ensaio 1 a máxima temperatura obtida foi a da água com valor de 72,3 °C às 12:25 horas.

O ensaio 2 foi realizado com sucesso. Havia muito mais nuvens no céu em comparação com o ensaio 1. Houve pouca incidência solar direta, principalmente no início do ensaio.

Os dados obtidos no ensaio 2 são mostrados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Dados obtidos no ensaio 2 (autor, 2019)

(Continua)

ENSAIO 2				
HORA (DO DIA)	TEMPERATURA (°C)			UMIDADE (%)
	AMOSTRA	AMBIENTE	PANELA	
10:00	29,7	33,1	31,4	52
10:05	30,6	34,7	31,4	53
10:10	30,8	33,9	32,3	53
10:15	31,9	35,1	33,9	52
10:20	32,5	35,8	33,6	50
10:25	33,3	36,2	34,9	49
10:30	34,9	37,1	38,4	46
10:35	36,5	37,5	37,9	44
10:40	38,3	38,3	38,9	45
10:45	38,8	37,9	38,1	45
10:50	40,6	38,3	42,2	45
10:55	43,1	39,5	44,8	42
11:00	47,1	40	50	36
11:05	49,5	41,1	48,4	32
11:10	51,1	40,3	48,8	37
11:15	51,9	40,3	48,4	37
11:20	53,1	40,3	52,4	33
11:25	53,8	43,3	50	34
11:30	54,6	40,3	51,3	33
11:35	54,8	40,3	50,3	34
11:40	55,3	39,3	51,1	41
11:45	56	39,3	51,5	41
11:50	55,9	38,3	50,4	43
11:55	57,5	39,1	54,8	43
12:00	59,4	39,7	56,9	41
12:05	61,5	40,8	56,9	33
12:10	61,2	39,7	53,9	41
12:15	59,9	37,5	52,6	44
12:20	59,5	37,5	53,3	44
12:25	61,5	38,3	56,2	44
12:30	63,1	38,9	59,7	42
12:35	63,6	39,7	57,3	40
12:40	64,1	39,7	57,9	41
12:45	64,9	38,9	60,3	42

Tabela 5.2 – Dados obtidos no ensaio 2 (autor, 2019)

(Conclusão)

12:50	66,9	40	61,3	34
12:55	69	40	63,4	33
13:00	70,3	39,7	63	41
13:05	71,3	40,8	65,3	34
13:10	72,6	39,7	64,2	42
13:15	78,6	40,8	64,3	33
13:20	81,6	39	63,2	41
13:25	77	39	64,3	42
13:30	77,6	40,8	63,6	33
13:35	75	41,9	64,9	32
13:40	73,7	40,3	61,9	39
13:45	71,8	38,4	60,1	43
13:50	70	38,7	59,1	43
13:55	68,8	38,7	59	44
14:00	67,6	35,4	57,5	51
MEDIA	56,5	38,8	51,9	41,1

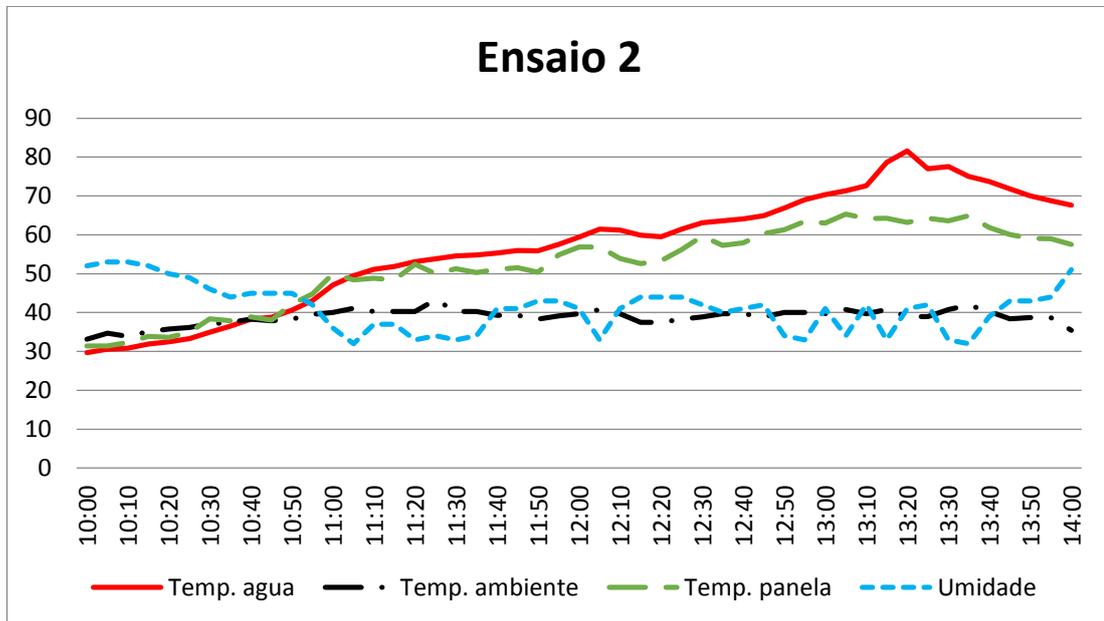


Figura 5.2– Dados obtidos no ensaio 2 (autor, 2019)

A figura 5.2 mostra um gráfico gerado pelos dados da tabela 5.2. Analisando-a, têm-se algumas observações:

- As temperaturas da água e da panela estavam próximas no início do ensaio e continuaram próximas mesmo ambas aumentando seus valores. Como não há mais perda de calor por convecção entre a panela e o ambiente, devido ao isolamento do filme plástico, a temperatura da superfície da panela esta mais próxima da temperatura da água em relação ao ensaio 1.
- As temperaturas da água e da panela no ensaio 2 aumentaram devagar com valores abaixo dos mostrados no ensaio 1. Porém, no ensaio 1, a temperaturas teve um ápice às 12:25 e depois decaiu. Já no ensaio 2 a temperatura continuou a aumentar e alcançou o seu ápice as 13:20 horas com temperatura da água de 81,6 °C.

### 5.1 EFICIÊNCIA TÉRMICA DE CARNOT

A eficiência de Carnot para ciclos operando entre dois reservatórios é mostrada na equação 5.1

$$\eta_c = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad (5.1)$$

Onde:

- $\eta_c$  é o rendimento térmico de Carnot;
- $T_f$  é a temperatura ambiente em Kelvin;
- $T_q$  é a temperatura da água em Kelvin.

A tabela 5.3 apresenta a hora do dia que ocorreu as maiores temperaturas obtidas nos dois ensaios e as temperaturas ambientes nestes instantes.

	Hora do dia	Temperatura máxima da água	Temperatura ambiente
ENSAIO 1	12:25	72,3 °C (345,45 K)	41,9 °C (315,05 K)
ENSAIO 2	13:20	81,6 °C (354,75 K)	39,7 °C (312,85 K)

Tabela 5.3 – Máxima temperatura obtida nos dois ensaios (autor, 2019)

Substituindo os valores da tabela 5.3 na equação 5.1 obtém-se:

Para o ensaio 1:

$$\eta_{c1} = 1 - \frac{T_{f1}}{T_{q1}} = 1 - \frac{315,05}{345,45} = 8,8 \% \quad (5.2)$$

Para o ensaio 2:

$$\eta_{c2} = 1 - \frac{T_{f2}}{T_{q2}} = 1 - \frac{312,85}{354,75} = 11,8 \% \quad (5.2)$$

A eficiência máxima do ensaio 2 é maior que a do ensaio 1, apesar de que, durante o ensaio 2, o céu estava a maior parte do tempo nublado.

Os ensaios mostraram que, ao confinar o ar envolto da panela com um plástico transparente, eleva-se a temperatura da mesma devido ao efeito estufa.

## 5.2 VIABILIDADE TÉRMICA DO FORNO

A tabela 5.2 mostrou que o forno atingiu uma temperatura de 81,6 °C. Este valor é maior que as temperaturas mínimas internam para cozinhar os alimentos da tabela 3.1. Comprovando a viabilidade térmica para uso do forno solar em preparar alimentos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

O processo de construção do forno abordado neste trabalho é simples de fazer, montar e usar, ideal para comunidades carentes.

O forno solar tem um excelente custo benefício já que atingiu ótima temperatura e foi construído quase integralmente com materiais reaproveitados.

A eficiência térmica utilizada para avaliar o rendimento do forno foi a de Carnot para ciclos operando entre dois reservatórios, não é o ideal, mas foi à única forma, já que não foi possível obter os parâmetros necessários para calcular um rendimento mais elaborado, devido à falta de recursos.

Para ter uma melhor interpretação dos dados, um radiômetro seria de grande importância. Pois, durante os dois ensaio ocorreu em alguns momentos a passagens de nuvens que certamente interferiram nos valores anotados. Também o radiômetro proveria dados que embasariam que, durante o segundo ensaio, houve muito mais momentos nublados do que primeiro ensaio, o que explicaria a demora da elevação de temperatura no segundo ensaio apesar de ser o que apresentou a maior temperatura.

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se a análise do desempenho do forno para cocção de vários tipos de alimentos.

## REFERÊNCIAS

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa**. 4. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2012.

FILHO, R. E. B. R.; **Análise de desempenho de um fogão solar construído a partir de sucatas de antena de TV**. Dissertação (Mestrado em engenharia Mecânica, Programa de Pós Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.

GARCIA, D. M.; **Forno solar com lentes de Fresnel**. Dissertação (Mestrado em engenharia Mecânica, Programa de Pós Graduação) – Universidade Nova de Lisboa, 2013.

GIODA, Adriana; **Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população**, 2017. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-81232019000803079&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-81232019000803079&script=sci_arttext&tlng=pt)> Acesso em: 20 nov. 2019.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

JONES, E. J. **The BYU Solar Cooker/Cooler**, 2002. Disponível em: <<https://manybooks.net/titles/jonessteetext04cookr11.html>>. Acesso em: 26 out. 2019.

MILHOES de famílias usam lenha ou carvão para cozinhar aponta IBGE. **G1**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/05/22/14-milhoes-de-familias-usam-lenha-ou-carvao-para-cozinhar-aponta-ibge.ghtml>>. Acesso em: 26 out. 2019.

QUAL o melhor leite para o consumo. **Nutrição e prática saudável**, 2017. Disponível em: <<http://www.nutricaoopraticaesaudavel.com.br/bem-estar/qual-o-melhor-leite-para-consumo>>. Acesso em: 26 out. 2019.

SARMENTO, José Souto; **Construção e análise de um forno solar como uma atividade prática não formal no ensino de física**. Dissertação (Mestrado em engenharia Mecânica, Programa de Pós Graduação) – Universidade Federal do Ceará, 2015.

SAFE minimum cooking temperature. **Foodsafety**, 2019. Disponível em: <<https://www.foodsafety.gov/food-safety-charts/safe-minimum-cooking-temperature>>. Acesso em: 25 de nov. de 2019.

SPINELLI, M. C. O.; **Construção e estudo de um forno solar tipo caixa com capacidade simultânea de assamento para vários alimentos**. Dissertação (Mestrado em engenharia Mecânica, Programa de Pós Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016

ZHENG, Hongfei. **Solar energy desalination technology**. 4. ed. Beijing: Elsevier, 2017. 768p.