



UNILAB

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL

DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA

INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

BACHARELADO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS

ARYADNA LIVIA MENDES ARAÚJO

ANÁLISE TÉRMICA DE UM FOGÃO SOLAR CASEIRO DO TIPO CAIXA: um estudo comparativo da capacidade calorífica do alumínio e do aço.

REDENÇÃO
2023

ARYADNA LIVIA MENDES ARAÚJO

ANÁLISE TÉRMICA DE UM FOGÃO SOLAR CASEIRO DO TIPO CAIXA: um estudo comparativo da capacidade calorífica do alumínio e do aço.

Monografia apresentada como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharias de Energias, na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, UNILAB – Campus das Auroras.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Cáceres.

REDENÇÃO
2023

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Araújo, Aryadna Livia Mendes.

A663a

Análise térmica de um fogão solar caseiro do tipo caixa: um estudo comparativo da capacidade calorífica do alumínio e do aço / Aryadna Livia Mendes Araújo. - Redenção, 2023.

55f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientador: Prof.º Dr.º Carlos Alberto Cáceres.

1. Fogão. 2. Análise Térmica. 3. Eficiência. 4. Capacidade Térmica. 5. Energia solar. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 621.36

ARYADNA LIVIA MENDES ARAÚJO

ANÁLISE TÉRMICA DE UM FOGÃO SOLAR CASEIRO DO TIPO CAIXA: um estudo comparativo da capacidade calorífica do alumínio e do aço.

Monografia apresentada como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharias de Energias, na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, UNILAB - Campus das Auroras.

Aprovado em: 07/12/2023

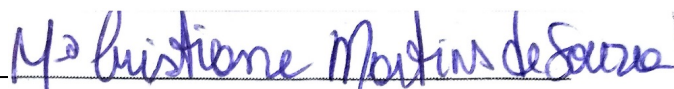
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Carlos Alberto Cáceres
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira



Profª. Drª. Artemis Pessoa Guimarães
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira



Profª. Drª. Maria Cristiane Martins de Souza
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Dedico este trabalho à minha mãe, e aos meus familiares paternos, que sempre me apoiaram e deram todo amor possível. Dedico também a todos que me apoiaram no decorrer do curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, o Professor Dr. Carlos Cáceres por todo o apoio e sábias orientações durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço também aos colaboradores e professores que me auxiliaram durante a jornada acadêmica do curso.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar.”
(Josué 1:9)

RESUMO

A energia é vital para a sociedade, pois fornece a base necessária para a vida humana e para a realização de diversas atividades que podem impulsionar o progresso social, tecnológico e econômico. Decerto, o uso de fogões solares caseiros traz muitos benefícios, por se tratar de um dispositivo que aproveita a luz do sol para cozinhar, fritar e assar alimentos. Trata-se de uma alternativa sustentável aos fogões convencionais, pois não exige o uso de botijão de gás, energia elétrica ou até a lenha para seu funcionamento. Desta forma é importante essa abordagem responsável e de forma sustentável que possa promover a preservação do meio ambiente e o bem-estar das gerações futuras, trazendo estudos que apresentem desenvolvimento. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo comparativo entre duas placas de metal, comparando a eficiência e sua capacidade térmica e principalmente, mostrar uma forma de prever o desempenho térmico do fogão solar do tipo caixa. Tais placas são usadas de forma interna em um fogão solar do tipo caixa e submetidas a testes externos para coleta de dados. Para isso, utilizamos um protótipo de um fogão solar do tipo caixa feito de papelão e propomos um estudo baseado em dois parâmetros F1 e F2, sendo o primeiro, a razão entre a eficiência óptica e o coeficiente geral de perda de calor e o segundo a diferença entre as temperaturas iniciais e do ambiente. Os cálculos realizados e as modelagens que são feitas usando os dados apresentados conseguem prever o desempenho térmico do fogão solar e apresentar os níveis de ganho térmico e eficiência. Os valores obtidos para F1 relacionado a placa de aço é de 0,1312 e para a placa de alumínio é 0,0575. Já para F2 os valores obtidos com relação a placa de aço é de -175,47 e para a placa de alumínio é de -75,76, sendo valores de acordo com a temperatura em cada instante, esses valores nos comprovam que o desempenho entre ambas as placas foi satisfatório, sendo possível modelá-los a partir do método proposto. Assim, após analisar os dados coletados, conseguimos identificar um bom desempenho de ambas as placas, obtendo valores elevados de capacidades térmicas de acordo com o comportamento previsto nas curvas obtidas. Pode-se concluir que tal procedimento apresentado para simplificar um sistema complexo do fogão solar, unindo testes térmicos que determinam os parâmetros para previsão das curvas características de aquecimento são eficientes e desenvolvem a sua função com êxito. Durante os testes, foi possível constatar um melhor desempenho da placa de alumínio ao serem analisados os gráficos e os dados de temperaturas obtidas.

Palavras-chave: Fogão Solar. Análise Térmica. Eficiência. Capacidade Térmica.

ABSTRACT

Energy is vital for society, as it provides the necessary basis for human life and for carrying out various activities that can drive social, technological and economic progress. Certainly, the use of homemade solar cookers brings many benefits, as it is a device that uses sunlight to cook, fry and bake food. It is a sustainable alternative to conventional stoves, as it does not require the use of gas cylinders, electricity or even wood to operate. Therefore, this responsible and sustainable approach is important, as it can promote the preservation of the environment and the well-being of future generations, bringing studies that present development. The objective of this work is to present a comparative study between two metal plates, comparing the efficiency and their thermal capacity and, mainly, showing a way to predict the thermal performance of the box-type solar cooker. Such plates are used internally in a box-type solar cooker and subjected to external tests to collect data. To do this, we use a prototype of a box-type solar cooker made of cardboard and we propose a study based on two parameters F1 and F2, the first being the ratio between the optical efficiency and the general heat loss coefficient and the second the difference between the initial and ambient temperatures. The calculations carried out and the modeling that are carried out using the data presented can predict the thermal performance of the solar cooker and present the levels of thermal gain and efficiency. The values obtained for F1 related to the steel plate is 0.1312 and for the aluminum plate it is 0.0575. For F2, the values obtained in relation to the steel plate are -175.47 and for the aluminum plate it is -75.76, being values according to the temperature at each moment, these values prove to us that the performance between Both plates were satisfactory, making it possible to model them using the proposed method. Thus, after analyzing the collected data, we were able to identify a good performance of both plates, obtaining high thermal capacity values in accordance with the behavior predicted in the curves obtained. It can be concluded that such a procedure presented to simplify a complex solar cooker system, combining thermal tests that determine the parameters for predicting the heating characteristic curves are efficient and perform their function successfully. During the tests, it was possible to verify a better performance of the aluminum plate when analyzing the graphs and temperature data obtained.

Keywords: Solar Stove. Thermal Analysis. Efficiency. Thermal capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas do sol	19
Figura 2 - Espectro eletromagnético	20
Figura 3 - Irradiância que chega na Terra	21
Figura 4 - Componente dos raios solares que chegam a Terra	23
Figura 5 - Fogão solar do tipo parabólico	26
Figura 6 - Fogão solar do tipo painel	27
Figura 7 - Protótipo do fogão solar caseiro do tipo caixa	28
Figura 8 - Localização do ponto dos testes	36
Figura 9 - Registros dos testes feitos na placa de aço	38
Figura 10 - Registros dos testes com a placa de alumínio	39
Figura 11 - Testes para validação dos parâmetros na placa de aço	42
Figura 12 - Testes para validação dos parâmetros na placa de alumínio	43
Figura 13 - Registros das medidas realizadas durante os testes	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados dos testes de estagnação para a placa de aço	43
Tabela 2 - Resultados dos testes de estagnação para a placa de alumínio	45
Tabela 3 - Dados obtidos para a placa de aço	46
Tabela 4 - Dados obtidos para a placa de alumínio	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MMA	Ministério do Meio Ambiente
EIA	Estudo de Impactos Ambientais

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Campo elétrico
B	Campo Magnético
W/m ²	Watt por metro quadrado
W	Watt unidade de medida
K	Kelvin unidade de medida de temperatura
°C	Graus Celsius unidade de medida de temperatura
G ₀	Irradiância Extraterrestre
G _n	Irradiância Normal
G _{dif}	Irradiância Difusa Horizontal
G _{dir}	Irradiância Direta Horizontal
G	Irradiância Global Horizontal
θ	Angulo Zenital
G _i	Irradiância no Plano Inclinado
P	Irradiância solar total
T _{sol}	Temperatura aproximada do sol
A	Area da superfície
σ	Constante de Stefan Boltzmann
G	Lei da radiação do corpo negro
r	Raio do disco solar
R	Distância média da terra
C	Capacidade calorífica total
C _p	Calor específico
M	Massa da superfície
Q	Quantidade de calor
ΔT	Varição de temperatura
q _{rad}	Fluxo de calor por radiação
h _r	Coeficiente de transferência
T _s	Temperatura da superfície
T _{viz}	Temperatura da vizinhança
q'	Fluxo de calor por condução
K	Coeficiente de condutividade térmica
dT	Diferença infinitesimal da temperatura dentro do material
dx	Diferença infinitesimal do espaço dentro do material
q''	Fluxo de calor por convecção
h	Coeficiente de transferência por convecção
T _∞	Temperatura ambiente
η_0	Eficiência óptica do sistema de captação de energia solar
η_u	Eficiência útil
η_t	Eficiência térmica
P _{abs}	Potência absorvida
P _u	Potência útil
P _{perda}	Potência Perdida pela panela

I_c	Radiação instantânea
h	Coefficiente de transferência de calor
F_1	Parâmetro de relação de temperatura térmica
$F'\eta_0$	Eficiência Térmica
$F'Up$	Coefficiente global de perda de calor
C_R	Relação de capacidade de calor do fogão
MC'	Capacidade dos materiais internos de fogão
MC_{ag}	Capacidade de calor da água
T_{es}	Temperatura de estagnação
T_{amb}	Temperatura ambiente
H_m	Radiação média

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivos gerais	16
1.1.2 Objetivos específicos	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1 ENERGIA SOLAR	19
2.2 HISTÓRICO DOS FOGÕES SOLARES.....	24
2.3 TIPOS DE FOGÕES SOLARES	26
2.3.1 Fogão solar do tipo parabólico	26
2.3.2 Fogão solar do tipo painel.....	27
2.3.3 Fogão solar do tipo caixa	27
2.4 CAPACIDADE CALORÍFICA DO FOGÃO SOLAR	28
2.5 GANHO DE CALOR EM UM SISTEMA.....	29
2.5.1 Radiação	30
2.5.2 Condução	30
2.5.3 Convecção.....	31
2.5.4 Efeito estufa.....	32
2.6.1 Eficiência óptica do sistema.....	32
2.6.2 Potência térmica do sistema	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 MATERIAIS	35
3.2 MÉTODOS	35
3.2.1 Testes de estagnação.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4.1 RESULTADOS.....	42
4.1.1 Teste de estagnação	42
4.1.2 Testes de ganho de calor ao ar livre	45
4.2 DISCUSSÕES.....	48
4.2.1 Cálculo do parâmetro F1 para a placa de aço.....	48
4.2.2 Cálculo do parâmetro “F1” para a placa de alumínio.....	49
4.2.3 Cálculo do parâmetro “F2” para a placa de aço	49
4.2.4 Cálculo do parâmetro F2 para a placa de alumínio	50

4.2.4 ANÁLISE DOS DADOS	52
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

O uso da energia é vital para a sociedade, pois fornece a base necessária para a vida humana e para a realização de diversas atividades que impulsionam o progresso social, tecnológico e econômico. Assim, o uso de energia também exige uma abordagem responsável e de forma sustentável que possa prover a preservação do meio ambiente e o bem-estar das gerações futuras. O consumo de energia per capita pode ser usado como um indicador da importância dos problemas que afetam alguns países, onde se encontram 70% da população mundial (GOLDEMBERG, 1998).

Um dos grandes problemas relacionados à utilização de fontes convencionais de energia, são os impactos ambientais decorrentes deles. Esses problemas ambientais são questões que afetam negativamente o meio ambiente e têm impactos na biodiversidade, ecossistemas e no clima terrestre. O mundo encontra-se em constantes transformações, em grande parte advindas de ações antrópicas, que têm causado grande impacto no ecossistema (MACHADO; GARRAFA, 2020).

A priori, a atual crise ambiental é proveniente de ações imprudentes dos seres humanos em busca de desenvolvimento econômico e a favor do benefício próprio, sem que houvesse preocupação com as questões ambientais ou com as possíveis consequências geradas. Com o intuito de desempenhar um papel crucial na mitigação dos impactos ambientais e na redução de emissão de gases poluentes causados por fontes de energia convencionais, as fontes renováveis passaram a ser implementadas na matriz energética do país e do mundo. Nessa perspectiva, pressupõe-se que a demanda excessiva de geração de energia convencional reduz oportunidades de desenvolvimento e prejudica o meio ambiente (COHEN, 2002).

Com relação às fontes renováveis de energia, a solar é uma fonte que utiliza e aproveita a luz do sol para gerar eletricidade ou calor. A energia solar se relaciona diretamente com processos químicos, físicos e biológicos que estão associados à vida na Terra. Possíveis variações dessa energia tem impacto direto na atmosfera da Terra. A luz do Sol é um bem livre, ilimitado e não excludente. Isso significa que além de estar disponível para todos, o seu uso por uns não impede o acesso ou a disponibilidade para outros. (BURSZTYN, 2020).

A radiação solar refere-se ao fluxo de energia emitida pelo sol, a qual é transmitida em forma de ondas eletromagnéticas. Essa energia ao chegar na atmosfera da Terra é absorvida e utilizada como fonte renovável para gerar energia e para o desenvolvimento humano, social e tecnológico de forma limpa. A Irradiância Solar Total é definida como a potência total da energia proveniente do Sol por unidade de área a 1 UA (distância entre o Sol e a Terra conhecida como Unidade Astronômica). (GÓMEZ; CARLESSO; VIEIRA; SILVA, 2018)

A transferência de calor pode ocorrer por meio de três mecanismos: condução, convecção e radiação (NOVO; BITENCOURT; TIBA; SILVA; PANDOLFELLI, 2014). A absorção e conversão dessa energia em calor acontece devido a processos térmicos que são eficientes técnicas empregadas à essa conversão. Dessa forma é possível estimar a energia útil que poderá ser utilizada em forma de calor e estimar seu nível de eficiência.

Decerto, são indispensáveis a utilização de fontes de energias renováveis para que o mundo e a sociedade possam evoluir sem gerar problemas ou prejudicarem cada vez mais o meio ambiente. E junto com essas utilizações, surgirão novas tecnologias que poderão englobar técnicas e aperfeiçoamentos para serem implementadas no futuro da geração energética global, como o caso fogão solar.

Seguindo esse cenário é fundamental fazer uso de novas tecnologias e/ou fortalecer o uso de tecnologias existentes para que não impactem negativamente no meio ambiente. Diante disso o trabalho contribui para minimizar esses impactos ambientais, através da reutilização de materiais reciclados de baixo custo, para aproveitar a energia solar.

Um fogão solar caseiro do tipo caixa desenvolvido poderá ser utilizado pelas comunidades carentes da Região do Maciço de Baturité ou até mesmo no Estado do Ceará.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos gerais

Testar e analisar um fogão solar caseiro do tipo caixa que pode ser utilizado pelas comunidades carentes da Região do Maciço de Baturité ou Estado do Ceará.

Tal dispositivo tem a possibilidade de servir e substituir a lenha ou gás de cozinha, reutilizando materiais reciclados na sua composição.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estudar a utilização do fogão solar;
- Comparar qualitativamente a capacidade térmica entre duas placas metálicas, uma placa de alumínio e uma placa de aço;
- Estimar o melhor desempenho entre as placas de metal;
- Estimar e analisar a eficiência térmica do sistema do fogão solar;
- Estimar e analisar a capacidade térmica do sistema do fogão solar;
- Estimar e analisar o ganho de energia calorífica do sistema do fogão solar.

1.2 JUSTIFICATIVA

O uso de fontes convencionais de energia, acarretam problemas ambientais decorrentes da poluição gerada pela utilização delas. A crescente demanda por novas fontes de energia que possam suprir a necessidade da sociedade humana de forma sustentável traz à tona a busca por novas tecnologias que utilizem fontes infinitas e que não prejudiquem o meio ambiente.

O estudo proposto tem como objetivo, coletar dados sobre a eficiência óptica e capacidade de um fogão solar caseiro do tipo caixa, e analisá-los de forma ampla entendendo seus problemas e limitações.

Importantes órgãos ambientais, como Ministério do Meio Ambiente (MMA), com a criação do Estudo de Impactos Ambientais (EIA), apontam que o constante aumento da população mundial, gera uma crescente poluição e diversos impactos ambientais que prejudicam de forma descontrolada o meio ambiente, que pode levar a uma escassez dessas fontes convencionais de energia. Seguindo esse cenário é fundamental fortalecer a utilização e o surgimento de novas tecnologias que possam gerar energia proveniente do sol ou de outras fontes renováveis, de forma limpa e sustentável.

Desta forma, pretende-se apresentar e contribuir positivamente para estudos científicos que levam em consideração os parâmetros obtidos, estudados, analisados e apresentados para a comunidade. Por meio de estudo voltados para o fogão solar caseiro do tipo caixa.

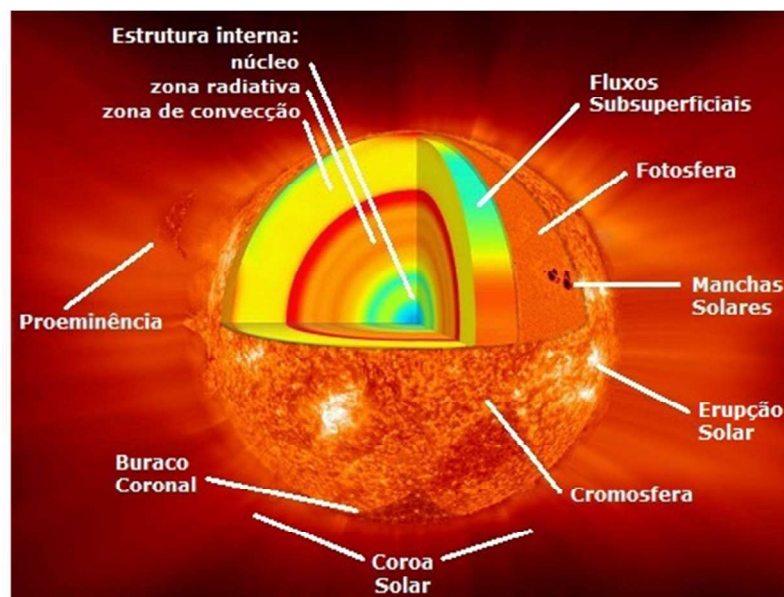
2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar está diretamente relacionada aos processos físicos, químicos e biológicos do planeta Terra, ou seja, toda a vida existente, seja ela animal ou vegetal recebe influências dessa energia. Assim, suas variações impactam na atmosfera e no clima do planeta. A radiação solar ou irradiância constitui um importante fator que influencia os processos químicos, físicos e biológicos na Terra. (GÓMEZ; CARLESSO; VIEIRA; SILVA, 2018).

A energia irradiada pelo sol é consequência das reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênio que representam cerca de 75% de sua composição para formar o Hélio com cerca de 25% de sua composição. (GÓMEZ; CARLESSO; VIEIRA; SILVA, 2018).

Figura 1: Camadas do sol



Fonte: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0342>

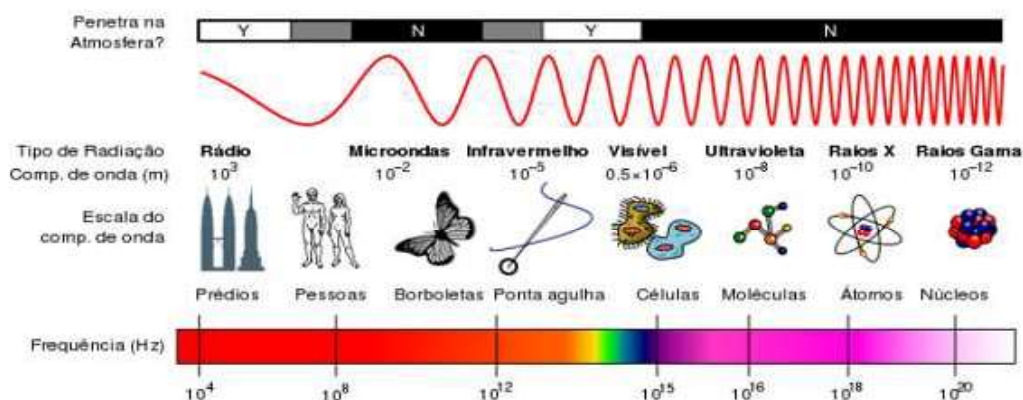
A radiação solar equivale ao fluxo de energia emitida pelo sol que é transmitida em forma de ondas eletromagnéticas. Essas ondas estão relacionadas com cargas elétricas aceleradas que irradiam energia, ou seja, refere-se às variações temporais do campo elétrico (E), provocando uma variação do campo magnético (B).

Segundo o Atlas brasileiro de energia solar, a energia irradiada pelo Sol ocorre em diferentes faixas espectrais que variam com o tipo de interação com a matéria. Cerca de 81% da energia que chega ao Sistema Terra/Atmosfera está em uma faixa de comprimentos de onda que vai do visível ao infravermelho próximo. Todas essas características em comum resultam das oscilações do campo elétrico (E) e do campo magnético (B).

Essas oscilações entre os campos magnéticos e elétricos, influenciam a forma como a luz e os raios solares se propagam no espectro. O espectro eletromagnético é classificado em diferentes regiões sendo elas:

- Raios γ ;
- Raios X;
- Ultravioleta
- Visível;
- Infravermelho;
- Micro-ondas;
- Ondas de rádio.

Figura 2: Espectro eletromagnético



Fonte: Física para o Ensino Médio, Volume 3 (2016) – Kazuhito Yamamoto e Luiz Felipe Fuke

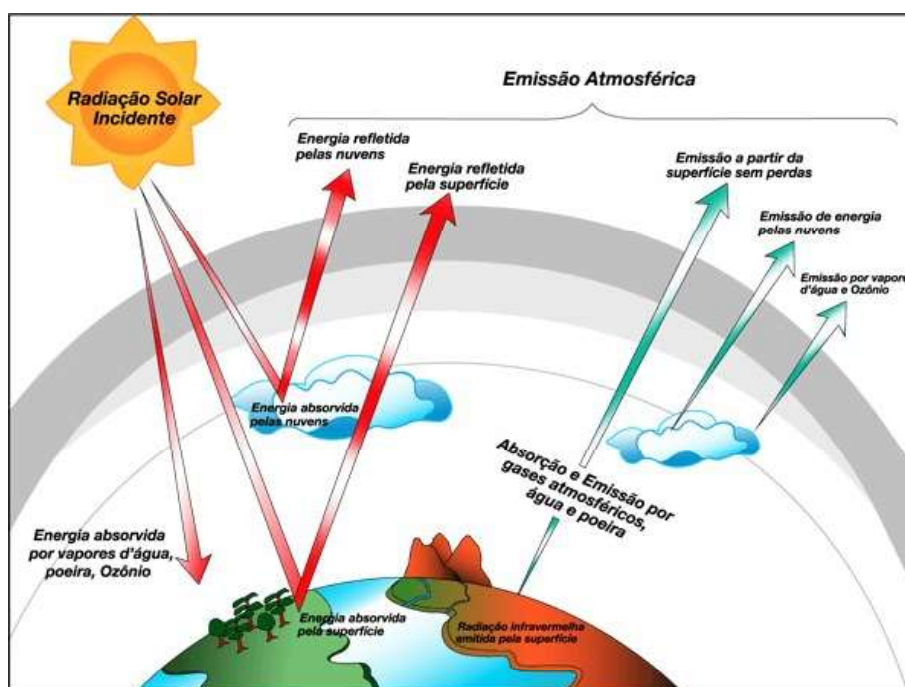
Essa emissão eletromagnética, ocorre devido ao caráter magnético e elétrico de fenômenos originados pelo dínamo solar. O dínamo solar é um processo físico que

produz um campo magnético solar. Tal campo magnético é dipolo, produzido por uma corrente elétrica circular decorrente dos movimentos no interior do Sol.

Durante muitos anos a irradiância solar foi considerada constante em torno de 1.365 W/m^2 , com uma potência atual da ordem de $3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$ e uma temperatura efetiva na superfície do Sol da ordem de 5778 K (5505° C). (RAMOS FILHO, 2011). Porém, algumas observações contínuas desde o final da década de 70, demonstraram variações nas escalas de tempo. (GÓMEZ; CARLESSO; VIEIRA; SILVA, 2018).

Apenas uma pequena fração de energia solar atinge a superfície do planeta Terra, devido à grande distância existente entre eles. A intensidade da radiação que chega à atmosfera terrestre é determinada por uma série de medidas. A energia resultante é conhecida como a constante solar.

Figura 3: Irradiância que chega na Terra



Fonte: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0342>

Ao chegar na superfície da Terra, cerca de 30% da radiação incidente são refletidas pelas nuvens, pela superfície do planeta, pelas partículas atmosféricas e

outros. Os demais 70% são absorvidos produzindo aquecimento em forma de calor latente e também calor sensível. O espalhamento da irradiância pelas nuvens depende da espessura ótica, do estado físico da água. Essas características variam de acordo com o tipo de nuvem. (ENIO PEREIRA, 2017).

A irradiância solar que chega à superfície é composta por duas componentes, a direta e a difusa. A direta representa a parcela que não sofre processos de absorção e espalhamentos na atmosfera. Por outro lado, a componente difusa engloba todas as demais que são decorrentes dos processos de espalhamentos na atmosfera. (ENIO PEREIRA, 2017).

A irradiância extraterrestre (G_0), equivale a taxa de energia incidente por unidade de área em um plano horizontal imaginário no topo da atmosfera. (ENIO PEREIRA, 2017).

A irradiância direta normal (G_n), é a taxa de energia por unidade de área proveniente do Sol que incide perpendicularmente à superfície. (ENIO PEREIRA, 2017).

A irradiância difusa horizontal (G_{dif}), equivale à taxa de energia incidente sobre uma superfície horizontal por unidade de área, decorrente do espalhamento de feixe solar pelos constituintes atmosféricos. (ENIO PEREIRA, 2017).

A irradiância direta horizontal (G_{dir}), equivale à taxa de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal. (ENIO PEREIRA, 2017).

A irradiância global horizontal (G), é a taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal. (ENIO PEREIRA, 2017).

A irradiância global (G), é dada por:

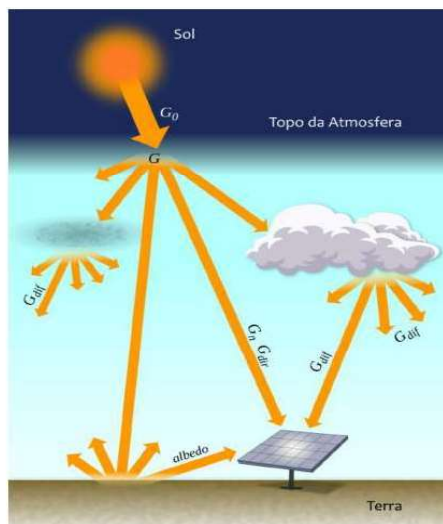
$$G = G_{dif} + G_{dir} \quad (1)$$

ou

$$G = G_{dif} + G_n \cos(\theta) \quad \text{onde } \theta \text{ é o ângulo zenital.} \quad (2)$$

A irradiância no plano inclinado (G_i), equivale a taxa de energia total por unidade de área incidente sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da Terra. (ENIO PEREIRA, 2017).

Figura 4: Componente dos raios solares que chegam a Terra



Fonte: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

A Lei de Stefan Boltzmann descreve a radiação do corpo negro, a qual é integrada sobre comprimentos de onda específicos, e a partir dela pode-se concluir que corpos com maior temperatura emitem mais energia total por unidade de área comparado com os de menor temperatura. A equação 3, mostra exatamente a Lei de Stefan Boltzmann. (GÓMEZ; CARLESSO; VIEIRA; SILVA, 2018).

$$P = \sigma \cdot T^4 \cdot A \quad (3)$$

Onde:

- P - Corresponde a irradiância solar total;
- T_{sol} - 5.800 K é a temperatura aproximada do Sol ;
- σ - $5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2} T^{-4}$;
- A - $4\pi R^2$ é a área da superfície.

Assim, é possível obter o valor de $P \sim 1.365,6$

O valor de G , pode ser utilizado pela Lei da radiação do corpo negro, para estimar uma temperatura efetiva da superfície do Sol. (GÓMEZ; CARLESSO; VIEIRA; SILVA, 2018)

$$G = \left(\frac{r}{R}\right)^2 \sigma \cdot T_s^4 \quad (4)$$

Onde:

- G - 1.365 W/m²;
- r - Raio do disco solar de 6,9598.108 m
- R_t - Distância média da Terra ao Sol de 1,496.1011 m
- σ - Constante de Stefan-Boltzmann de 5,6697.10-8 W/(m² . K⁴).

Através dos cálculos e simplificações realizadas podemos estimar que a temperatura efetiva da superfície do Sol é de 5.800 K.

2.2 HISTÓRICO DOS FOGÕES SOLARES

Na remota antiguidade os povos já utilizavam a energia do sol para aquecer água, secar frutas e cozinhar. O uso da energia solar para cozimento de alimentos é antigo e difundida entre povos de diferentes etnias, atuando com sua principal característica social e econômica. Na África o uso massivo do fogão solar, contribuiu para uma política de não utilização da lenha que influenciou de forma positiva no desequilíbrio ambiental de nosso planeta (GOMES, 2009).

A princípio os fogões solares só começaram a evoluir na década de 50, pois as guerras tiveram um impacto negativo no desenvolvimento dessa tecnologia. No século XIX existiram importantes invenções com relação aos fogões solares o que impulsionou sua implementação.

O primeiro fogão solar foi criado pelo francês Horace de Saussura no ano de 1767, o dispositivo era composto por duas caixas de madeira de pinho, uma dentro da outra, isoladas com lã e cobertas por três coberturas de vidro. (RAMOS FILHO, 2011).

Durante o século XIX o astrônomo britânico John Herschel utilizou um fogão solar de sua criação durante uma viagem ao continente africano. (RAMOS FILHO, 2011).

Já em 1881 Samuel P. Langley utilizou um fogão solar durante a subida ao monte Whitney nos Estados Unidos. E lá pôde usar o fogão solar para esquentar azeite, retendo parte do calor por várias horas após o pôr do sol, conseguindo cozinhar alguns alimentos durante a noite. (LION, 2007).

Com a chegada do século XX e a Revolução Industrial, as fontes fósseis tomaram grande parte da matriz energética, fazendo com que as fontes alternativas e naturais ficassem esquecidas temporariamente.

Com início do século XX, a utilização massiva pelos combustíveis fósseis, como também a possibilidade de obtenção de energia abundante e relativamente barata em quase todas as camadas da população, o mundo industrializado esqueceu as antigas e simples técnicas naturais (GOMES, 2009)

Na década de 80 houve a popularização do “solar chef”, do Sam Erwin. Se tratava do mais eficiente fogão solar doméstico.

No ano de 1992 a associação Solar Cooker International foi responsável pela primeira conferência mundial sobre a utilização de fogões solares, o que marcou historicamente a época e reuniu pesquisadores de 18 países. Essa conferência repetiu-se em 1995-1997 e recentemente em 2006, na Espanha (VARELA, 2013).

Com relação ao Brasil, o estudo sobre fogões solares só teve início na década de 80, no laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba. Segundo Varela (2013) “Foram construídos vários tipos de fogões solares à concentração, utilizando matérias primas diversas para a superfície refletora dos paraboloídes.

2.3 TIPOS DE FOGÕES SOLARES

Os fogões solares são coletores de calor que realizam a transformação da radiação solar em calor. Captam a radiação e realizam a conversão em calor para em seguida transferir para um fluido seja ele ar, água ou óleo em geral.

Decerto, os fogões solares são dispositivos especiais que por influência da luz solar servem para cozimento de alimentos e outras utilidades (GOMES, 2009). Os fogões solares são classificados em três tipos, sendo eles:

- Fogão solar do tipo parabólico;
- Fogão solar do tipo painel;
- Fogão solar do tipo caixa.

2.3.1 Fogão solar do tipo parabólico

São fogões solares que conseguem captar a radiação solar e concentrar posicionando para o absorvedor, promovendo a cocção do alimento. Para que façam essa captação e reflexão da luz solar necessitam de refletores, geralmente espelhos distribuídos em uma superfície de forma côncava (VARELA,2013).

Figura 5: Fogão solar do tipo parabólico



Fonte: DOI 10.22533/at.ed.7622305014

2.3.2 Fogão solar do tipo painel

Esse tipo de fogão solar é constituído por uma estrutura desmontável que possui muita praticidade. Normalmente, os painéis são construídos de papelão possuem uma camada de revestimento reflexiva, para que possam direcionar os raios solares para a parte concentradora onde está localizada a panela.

Figura 6: Fogão solar do tipo painel



Fonte: DOI 10.22533/at.ed.7622305014

2.3.3 Fogão solar do tipo caixa

Esses fogões têm um formato de caixa, e podem ser construídos com diversos materiais. Na parte superior devem possuir uma tampa de material transparente para a passagem dos raios solares direto para seu interior. Esse modelo de fogão possui distintos refletores externos que podem ser planos ou côncavos, e caracterizam-se por permitirem a obtenção de temperatura de no máximo 150° C e demoram a aquecer (LION, 2007).

Figura 7: Fogão solar caseiro do tipo caixa



Fonte: Acervo pessoal

O fogão do tipo caixa foi escolhido para a realização dos testes por ter uma eficiência elevada e também por possuir um baixo custo na sua construção. Esse tipo fogão solar do tipo caixa permite a reutilização de materiais descartados com: polímeros, metais e também materiais cerâmicos. E com isso, apresentar uma opção renovável de baixo custo para a comunidade do Maciço de Baturité.

2.4 CAPACIDADE CALORÍFICA DO FOGÃO SOLAR

A capacidade calorífica de um corpo equivale à propriedade dele absorver ou liberar calor quando sua temperatura varia. Ou seja, é a quantidade de energia térmica necessária para aumentar a temperatura.

A capacidade calorífica está diretamente relacionada ao calor específico de uma superfície de uma substância. O calor específico equivale a uma propriedade que indica a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma estrutura com determinada massa em quilogramas. Essa relação entre a capacidade calorífica e o calor específico pode ser determinada pela equação:

$$C = C_p \cdot m \quad (5)$$

Onde:

- C é a capacidade calorífica total [Cal ou J];
- C_p é o calor específico da substância à pressão constante [Cal/°C ou J/K];
- m equivale a massa da superfície [Kg ou g].

Esta relação indica que a capacidade total de um objeto de absorver ou liberar calor é diretamente proporcional ao calor específico do material do qual é feito e à sua massa.

2.5 GANHO DE CALOR EM UM SISTEMA

O ganho de calor em um sistema equivale à quantidade de calor que é transferida para o sistema a partir de suas vizinhanças. Esse ganho é a forma de energia que entra no sistema, gerando um aumento na temperatura do sistema.

Pela segunda lei da termodinâmica o calor é sempre transferido espontaneamente do corpo mais quente para o corpo mais frio. O calor dentro de um fogão solar pode ser dissipado de três formas básicas: condução, radiação e convecção.

A quantidade de calor transferida para um determinado sistema pode ser estimada pela equação:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (6)$$

Onde:

- Q é a quantidade de calor transferida [J ou Cal];
- m é a massa do sistema [Kg];
- C_p é o calor específico [Cal/g °C ou J/Kg. °C];
- ΔT é a variação de temperaturas;

Nos fogões solares ocorre o processo de reflexão dos raios solares e em seguida sua concentração em um ponto focado em direção a panela. A energia que é

radiada se concentra no material que absorve parte dessa energia transformando em calor.

2.5.1 Radiação

A energia proveniente do sol, atravessa o espaço e atmosfera terrestre para então aquecer a superfície da Terra. Tal energia é transmitida através da radiação, na forma de ondas eletromagnéticas, incluindo a luz visível. A energia radiante é obtida pela equação:

$$q_{rad} = h_r \cdot A(T_s - T_{viz}) \quad (7)$$

Onde:

- q_{rad} é o fluxo de calor por radiação;
- h_r é o coeficiente de transferência de calor por radiação;
- A equivale à área de análise;
- T_s é a temperatura da superfície;
- T_{viz} é a temperatura da vizinhança.

O fogão cozinha devido à radiação que é fornecida pelo sol, contudo essa radiação também é emitida por objetos no interior do fogão, sendo até mesmo pelos próprios alimentos.

2.5.2 Condução

A condução térmica é um fenômeno que envolve a transferência de calor, principalmente em sólidos, devido a uma diferença de temperatura. Durante este processo, a energia térmica é transmitida de átomo para átomo ou de molécula para molécula dentro do sólido, sem que haja movimento de matéria. Por outro lado, a Lei de Resfriamento de Newton é uma regra que define a taxa de transferência de calor por convecção. Esta lei postula que a velocidade de perda de calor de um corpo é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente ao

seu redor, desde que essa diferença de temperatura seja pequena e a natureza da superfície que irradia calor permaneça constante.

A equação 8, mostra a Lei de Fourier que modela a transferência de calor por condução.

$$q' = -k \cdot dT \cdot dx \quad (8)$$

Onde:

- q' é o fluxo de calor por condução;
- k é o coeficiente de condutividade térmica;
- dT é a diferença infinitesimal de temperatura dentro do material.
- dx é a diferença infinitesimal do espaço dentro do material.

Sendo a condução de calor a transferência do mesmo de um corpo com mais quente para um corpo mais frio. Dessa forma em um fogão o constante aumento de calor interno fornece atritos entre moléculas, tornando possível a transferência.

A panela é aquecida pela radiação, em seguida transfere calor ao alimento e assim a água através de condução

2.5.3 Convecção

Se trata da transferência de calor entre superfícies, estando uma superfície em movimento e uma imóvel. Quando um fluido é aquecido de baixo para cima, suas moléculas que estão depositadas no fundo passam a se mover rapidamente, ao ponto de se afastarem umas das outras, se tornando o material menos denso, e fazendo com que surja uma força de empuxo e aqueça todo o fluido de forma igualitária. A equação abaixo mostra o processo de convecção em um fluido ou massa.

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (9)$$

Onde:

- q'' é o fluxo de calor;

- h é o coeficiente de transferência de calor por convecção;
- T_s é a temperatura da superfície;
- T_∞ é a temperatura do ambiente.

2.5.4 Efeito estufa

O efeito estufa é resultante do aquecimento que ocorre em espaços fechados, devido a luz visível que atravessa a superfície, sendo ela absorvida ou refletida por alguns materiais internos. O efeito estufa referente ao planeta Terra é resultante do aquecimento, em sua atmosfera pois na atmosfera a energia é ganha quando absorvida em forma de radiação que é proveniente do sol. No entanto a Terra emite radiação terrestre, sendo que a maior parte dessa radiação escapa para seu exterior, fazendo a temperatura aumentar à medida que a incidência de energia radiante aumenta e o escape de radiação diminua.

Ao se tratar do fogão solar, parte de sua energia interna é armazenada pelos materiais isolantes que compõem sua estrutura.

2.6 POTÊNCIA E EFICIÊNCIA ÓPTICA DE CONVERSÃO TÉRMICA

Como já dito anteriormente a conversão da energia solar em energia térmica passa por alguns processos para se concretizar. No primeiro estágio ocorre a captação da radiação solar por meio da superfície que a absorve, já na segunda etapa a energia absorvida é transferida para um corpo absorvedor ou para um fluido de trabalho.

2.6 1 Eficiência óptica do sistema

A eficiência óptica de um sistema do fogão solar é uma razão entre a potência que é recebida e a potência que é transmitida dependendo diretamente das perdas e da capacidade de absorver a radiação, ganho de calor e de sua capacidade de isolamento.

É o nível percentual máximo que o sistema estudado pode alcançar sem violar a Segunda Lei da termodinâmica. Depende exclusivamente das temperaturas dos reservatórios térmicos que trocam calor com os sistemas.

- η_o - Eficiência óptica do sistema de captação de energia solar
- η_u - Eficiência útil
- η_t - Eficiência térmica

É importante ressaltar que existem variações na intensidade da radiação em função da localização geográfica e de outros fatores que interferem no clima do planeta. Mas pode-se obter a eficiência útil através da equação

$$\eta_u = \eta_o \cdot \eta_t \quad (10)$$

2.6.2 Potência térmica do sistema

A potência térmica de um sistema é a energia ou quantidade de calor que é transferida de um sistema por unidade de tempo. Essa potência mede a rapidez com que a energia calorífica é trocada entre dois corpos

A potência absorvida pode ser determinada pela equação 11, para calcular a potência em sistema térmico por convecção:

$$P_{abs} = I_c \cdot A \cdot k_r \cdot \alpha_p \cdot \rho \quad (11)$$

A potência perdida pode ser determinada pela equação:

$$P_{perd} = h \cdot A (T_{sist} - T_{amb}) \quad (12)$$

Por fim a potencial útil é determinada pela equação abaixo:

$$P_u = P_{abs} - P_{perda} \quad (13)$$

Onde:

- P_u – Potência térmica útil ou potência total do sistema [W]
- P_{abs} – Potência máxima absorvida pela panela
- P_{perda} – Potência perdida pela panela para o ambiente externo
- I_c – Radiação instantânea coletada pelo sistema de captação de energia solar
- h – Coeficiente de transferência de calor
- A - Area de contato

A eficiência óptica pode ser determinada pela equação:

$$\eta_o = \rho \cdot k_r \cdot \alpha_p \quad (14)$$

Por fim através do balanço e da relação entre as equações, obtém-se que a eficiência térmica pode ser determinada pela equação:

$$\eta_t = \frac{P_u}{I_c \cdot A \cdot \eta_o} \quad (15)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

- 1 Fogão solar do tipo Caixa;
- 1 Panela preta antiaderente N° 14;
- 1 Placa de aço 24cmx24cm;
- 1 Placa de alumínio 24cmx24cm;
- Software para simulação e modelagem e coleta de dados do sistema;
- 1 Medidor de irradiância solar;
- 6 Termopares;
- 1 Becker de 500ml;
- 1 Balança digital;
- 1 Computador pessoal;
- Caixas de papelão para cobrir os dispositivos de medição

3.2 MÉTODOS

Para tal análise, utilizamos como base um artigo internacional intitulado: Estimation of design parameters for thermal performance evaluation of box-type solar cooker do autor Sudohr Kumar, que tem como objetivo, modelar um sistema termodinâmicos de um fogão solar que é complexo por ser um sistema não estacionário, a partir de parâmetros estabelecidos como “F1” e “F2”, através da linearização das equações obtidas.

Para poder analisar a base de dados obtidas nos testes, eles seguiram uma metodologia para constatarem fatores como: Eficiência térmica para cada placa e a capacidade térmica de cada placa.

3.2.1 Testes de estagnação

Os testes de estagnação foram realizados no terraço do bloco A, do campus das Auroras na UNILAB, localizado no município de Redenção-Ce com as coordenadas de -4,218073° S, 38,714219° O.

Os testes foram feitos usando as duas placas de testes, nas quais eles eram reproduzidos de forma semelhante com o intuito de compará-las. Durante os testes

eram verificados constantemente a temperatura da placa analisada juntamente com outros fatores.

Foram verificados e devidamente anotados fatores como: temperatura da placa [°C], temperatura do ambiente externo [°C] e irradiância [W/m²] para cada intervalo de tempo.

As anotações eram feitas a cada intervalo de 10 minutos ou 600s. Seguindo um cronograma as temperaturas eram medidas com o auxílio de termopares instalados em cada superfície que deveria ser medida a temperatura.

Figura 8: Localização do ponto dos testes



Fonte: Google Maps

A primeira variável que queríamos obter era “F1”, utilizando o fogão solar do tipo caixa, através da razão entre a eficiência óptica e o coeficiente geral de perda de calor que é dada como:

$$F1 = \frac{F' \eta_0}{F' U_p} \quad (16)$$

Onde:

- F1 é a temperatura de estagnação [° C];
- F' η_0 é a eficiência térmica [W];
- F' U_p é o coeficiente global de perda de calor

Podemos reescrever tal equação da seguinte forma:

$$F1 = \frac{T_e - T_{inst}}{H_a} \quad (17)$$

Onde:

- T_e é a temperatura de estagnação da placa [°C];
- T_{inst} é a temperatura instantânea para um dado instante de tempo [°C];
- H_a é a insolação ou irradiância solar [W/m²].

3.2.1.1 Placa de aço

Os testes foram feitos nos dias 08 de março de 2023, e no dia 22 de março de 2023. No primeiro dia de testes constatamos uma umidade de 87%, o clima parcialmente nublado, os testes iniciaram exatamente às 09:00 horas e finalizaram às 12:30 horas.

Já no segundo dia de testes notamos uma umidade de 83% e o dia estava parcialmente nublado com poucas nuvens, o teste foi iniciado às 09:00 horas e finalizado às 12:50 horas.

Durante os testes, buscamos sempre verificar as temperaturas para cada intervalo de tempo, até o exato momento em que a temperatura atingia sua estagnação, ou seja, não variava mais.

Para cada dia de testes analisamos a posição do sol, no intuito de prevê e analisar com bases em estudos de cartas solares e bibliografias a posição do solar para aquela época do ano.

Figura 09: Registros dos testes feitos na placa de aço



Fonte: Acervo pessoal

3.2.1.2 Placa de alumínio

Os testes foram feitos nos dias 15 de abril de 2023, e no dia 29 de abril de 2023. No primeiro dia de testes constatamos uma umidade de 85%, o clima parcialmente nublado, os testes iniciaram exatamente às 09:00 horas e finalizaram às 12:20 horas.

Já no segundo dia de testes notamos uma umidade de 80% e o dia estava parcialmente nublado com poucas nuvens, o teste foi iniciado às 09:00 horas e finalizado às 12:30 horas.

Figura 10: Registros dos testes com a placa de alumínio



Fonte: Acervo pessoal

3.2.2 Ganho de calor no fogão solar

Esses testes também foram realizados no terraço do bloco A, do campus das Auroras na UNILAB, localizado no município de Redenção-Ce com as coordenadas de $-4,218073^{\circ}$ S, $38,714219^{\circ}$ O.

Também foram feitos testes usando as duas placas metálicas, nas quais eles eram reproduzidos de forma semelhante com o intuito de compará-las.

Durante os testes eram verificados e devidamente anotados fatores como: temperatura ambiente [$^{\circ}$ C], temperatura da placa [$^{\circ}$ C], temperatura da água [$^{\circ}$ C], irradiância [W/m^2].

Nesses testes foram coletados dados de cada uma das placas para usar para análises.

A Segunda variável “F2” obtida com testes no fogão solar tipo caixa a partir do teste de aquecimento de água que especificava os limites de temperatura Tag1 e Tag2 na curva de aquecimento sensível para uma determinada quantidade de água e usando a seguinte relação:

$$F_2 = F' \eta_0 . CR \quad (18)$$

Ou

$$F_2 = F_1 \frac{(M.C)_{ag}}{A.t} . \ln \left[\frac{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{Tag1 - T_{amb}}{H_m} \right)}{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{Tag2 - T_{amb}}{H_m} \right)} \right] \quad (19)$$

Ou

$$F' \eta_0 = \frac{F_1 (MC)_{ag}}{CrAt} \ln \left[\frac{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{Tag1 - T_{amb}}{H_m} \right)}{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{Tag2 - T_{amb}}{H_m} \right)} \right] \quad (20)$$

Onde:

A representa a área de abertura do fogão solar;

t é o intervalo de tempo durante o qual a temperatura da água aumenta de Tag1 para Tag2;

H_m é a insolação média;

T equivale à temperatura ambiente, durante o intervalo de tempo.

Por outro lado, na equação abaixo a variável “CR” equivale a relação de capacidade de calor do fogão solar, (MC)’ é a capacidade dos materiais internos do fogão, e (MC)_{ag} é a capacidade de calor da água. Decerto, o parâmetro CR não pode

ser conhecido de forma precisa devido à incerteza na avaliação dos valores corretos e confiáveis da capacidade de calor dos interiores do fogão (MC)'.

$$C.R = \frac{(MC)ag}{(MC)'ag} = \left(\frac{(MC)ag}{(MC)'+(MC)ag} \right) \quad (21)$$

Então, reescrevendo a equação 21 na equação 20, teremos que:

$$F2 = F'\eta_0 CR = F'\eta_0 \left(\frac{(MC)ag}{(MC)'+(MC)ag} \right) \quad (22)$$

É possível obter F2, a partir da linearização da equação 22, com base nos valores previstos para $F'\eta_0$ e para CR, de forma que:

$$\frac{1}{F2} = \frac{(MC)'}{F'\eta_0(MC)ag} + \frac{1}{F'\eta_0} \quad (23)$$

De forma que a equação 23, representa uma reta descrita da seguinte forma:

$$Y = mX + C \quad (24)$$

Onde:

$$Y = \frac{1}{F2};$$

$$m = \frac{(MC)'}{F'\eta_0}$$

$$X = \frac{1}{(MC)ag}$$

$$C = \frac{1}{F'\eta_0}$$

Dessa forma, é possível prever que um gráfico de $1/F^2$ versus $1/(MC)_{ag}$ será linear com uma inclinação determinada por $(MC)' / F' \eta_0$ e uma interceptação em $1/F' \eta_0$.

3.2.2.1 Placa de aço

Os testes com a placa de aço foram realizados em dois dias distintos, sendo um teste realizado no dia 06 de maio e outro no dia 03 de junho. Em ambos os dias os testes começaram às 09:00 horas da manhã e finalizavam às 15:30 para poder aproveitar os horários de insolação.

Figura 11: Testes para validação dos parâmetros na placa de aço



Fonte: Acervo pessoal

3.2.2.2 Placa de alumínio

Os testes com a placa de aço foram realizados em dois dias distintos, sendo um teste realizado no dia 13 de maio e outro no dia 27 de maio. Em ambos os dias os testes começaram às 09:00 horas da manhã e finalizavam às 15:30 para poder aproveitar os horários de insolação

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Teste de estagnação

4.1.1.1 Placa de aço

Seguindo a metodologia programada, os testes foram iniciados com realização e obtenção das temperaturas de estagnação. Na tabela 1, estão os dados obtidos para a temperatura da placa de aço medida em graus Celsius, e a irradiância medida em $[W/m^2]$, com seus respectivos horários de medições.

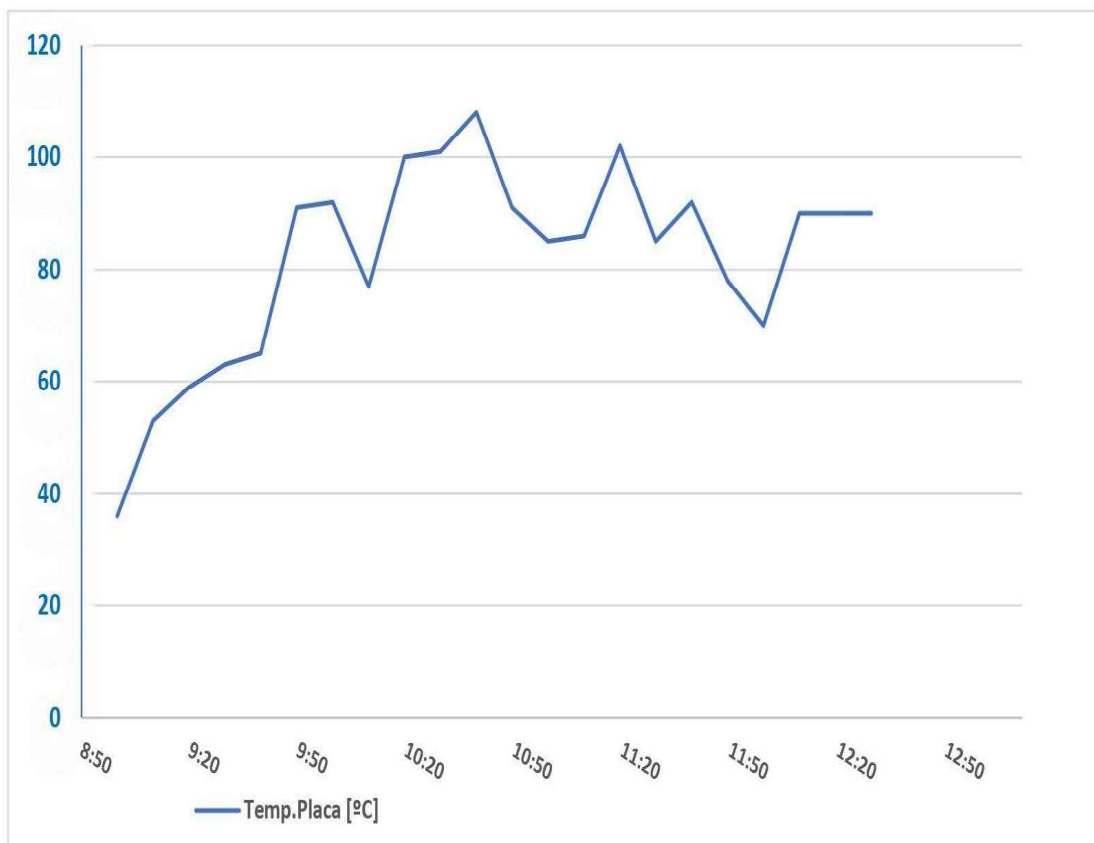
Tabela 1: Resultados dos testes de estagnação para a placa de aço

Hora	Temp.Amb [°C]	Temp.Placa [°C]	Irradiância $[W/m^2]$
9:00	27	36	600
9:10	29	53	1030
9:20	28	59	608
9:30	29	63	544
9:40	29	65	766
9:50	30	91	978
10:00	30	92	512
10:10	29	77	333
10:20	31	100	1178
10:30	32	101	1240
10:40	31	108	568
10:50	31	91	322
11:00	32	85	325
11:10	31	86	1308
11:20	32	102	1384
11:30	30	85	378
11:40	32	92	592
11:50	32	78	367
12:00	33	70	835
12:10	33	90	415
12:20	32	90	437
12:30	32	90	442

Fonte: Acervo pessoal

Logo, abaixo encontram-se as curvas obtidas para o teste de estagnação da placa de aço.

Gráfico 1: Curvas obtidas nos testes de estagnação do aço



Fonte: Acervo pessoal

4.1.1.2 Placa de alumínio

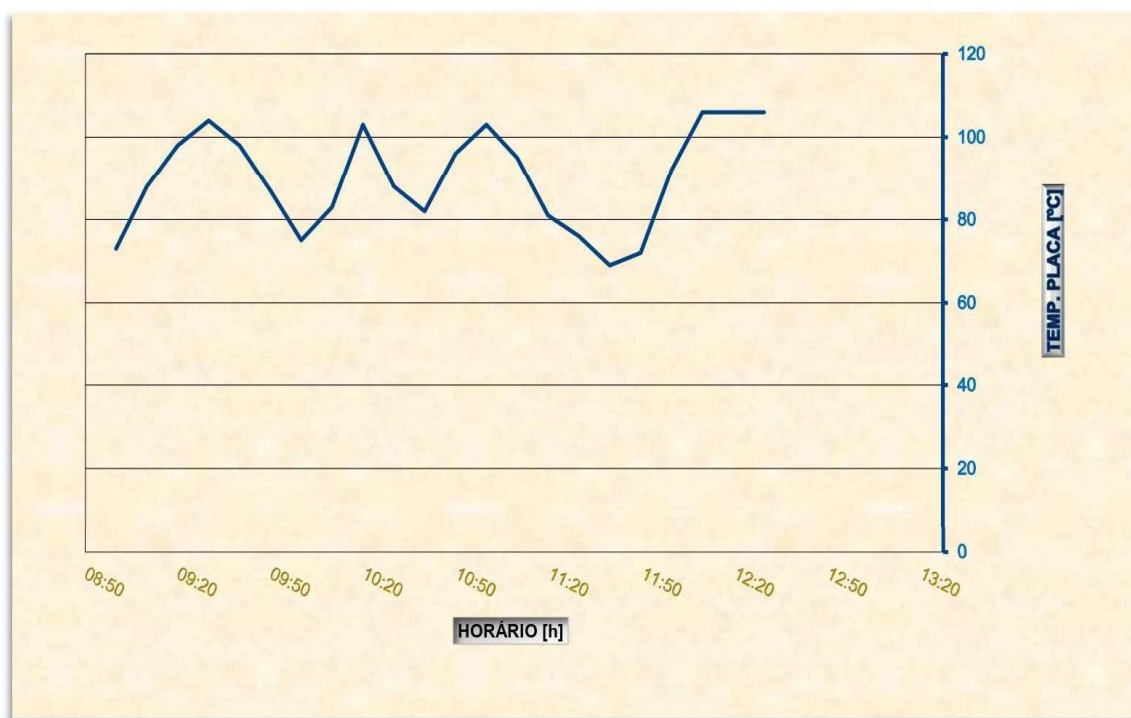
Seguindo a mesma metodologia programada e descrita acima, os testes relacionados a placa de alumínio foram iniciados com realização e obtenção das temperaturas de estagnação para a placa. Na tabela abaixo encontram-se os dados obtidos para a temperatura da placa de aço medida em graus Celsius, e a irradiância medida em $[W/m^2]$, com seus respectivos horários de medições.

Tabela 2: Resultados dos testes de estagnação para a placa de alumínio

Hora	Temp. Amb [°C]	Temp.Placa [°C]	Irradância [w/m²]
09:00	27	73	806
09:10	28	88	816
09:20	29	98	850
09:30	29	104	659
09:40	32	98	1021
09:50	30	87	279
10:00	30	75	739
10:10	31	83	1059
10:20	32	103	1073
10:30	30	88	243
10:40	31	82	402
10:50	31	96	1187
11:00	32	103	1067
11:10	31	95	351
11:20	32	81	305
11:30	33	76	299
11:40	32	69	179
11:50	32	72	1269
12:00	33	92	1271
12:10	33	106	1304
12:20	32	106	1295
12:30	32	106	1287

Fonte: Acervo pessoal

Logo, abaixo encontra-se a curva resultante obtida para o teste de estagnação realizado na placa de alumínio. O gráfico 1, apresenta os dados de temperatura em relação a cada horário correspondente. Cada ponto na curva reflete as condições térmicas em momentos distintos, proporcionando uma visão detalhada do comportamento da placa ao longo do tempo. Essa representação destaca as flutuações térmicas e também permite uma compreensão mais profunda das tendências e padrões que emergem nos testes de estagnação.

Gráfico 2: Curvas obtidas nos testes de estagnação do alumínio

Fonte: Acervo pessoal

4.1.2 Testes de ganho de calor ao ar livre

4.1.2.1 Placa de aço

Seguindo a metodologia prevista, os testes que vieram na sequente eram referentes a obtenção dos dados para determinar os parâmetros F1 e F2. Abaixo está a tabela 2, com os dados obtidos para a placa de aço.

Tabela 3: Dados obtidos para a placa de aço

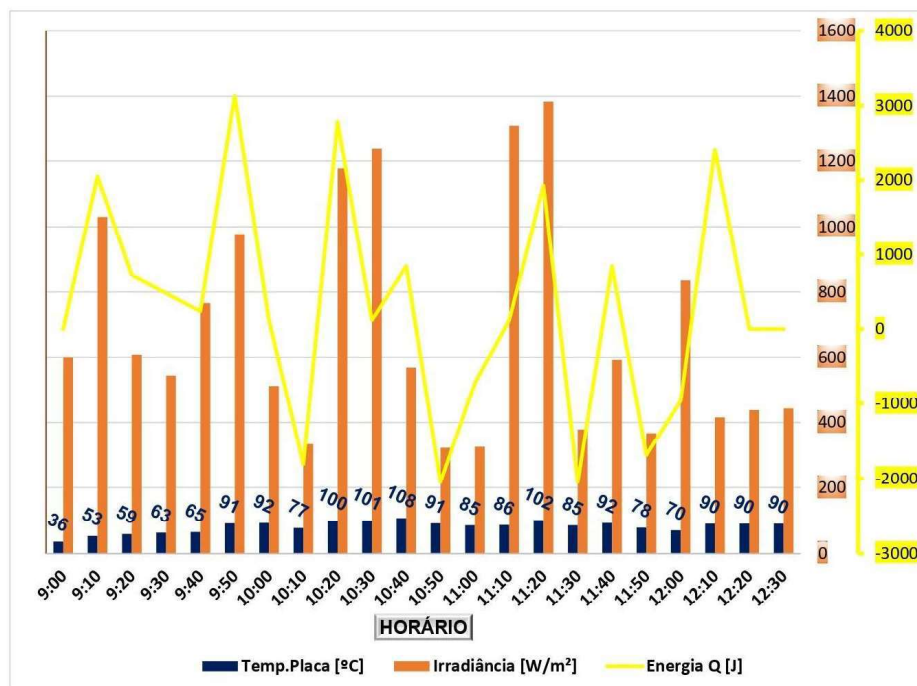
Hora	Temp. Placa [°C]	Irradiância [W/m ²]	ΔT [°K]	Energia Q [J]
9:00	36	600	0	0
9:10	53	1030	17	2048,42
9:20	59	608	6	722,97
9:30	63	544	4	481,98
9:40	65	766	2	240,99
9:50	91	978	26	3132,87
10:00	92	512	1	120,5
10:10	77	333	-15	-1807,43

10:20	100	1178	23	2771,39
10:30	101	1240	1	120,5
10:40	108	568	7	843,47
10:50	91	322	-17	-2048,42
11:00	85	325	-6	-722,97
11:10	86	1308	1	120,5
11:20	102	1384	16	1927,92
11:30	85	378	-17	-2048,42
11:40	92	592	7	843,47
11:50	78	367	-14	-1686,93
12:00	70	835	-8	-963,96
12:10	90	415	20	2409,9
12:20	90	437	0	0
12:30	90	442	0	0

Fonte: Acervo pessoal

Logo abaixo está o gráfico 3 com as curvas de temperatura, radiação e ganho de calor para pode analisar e compará-las facilmente, nos testes usando a placa de aço.

Gráfico 3: Temperatura x ganho de calor placa de aço



Fonte: Acervo pessoal

4.1.2.2 Placa de alumínio

Seguindo a metodologia prevista, os testes que vieram na sequência eram referentes a obtenção dos dados para determinar os parâmetros F1 e F2. Abaixo está a tabela 4, com os dados obtidos para a placa de alumínio.

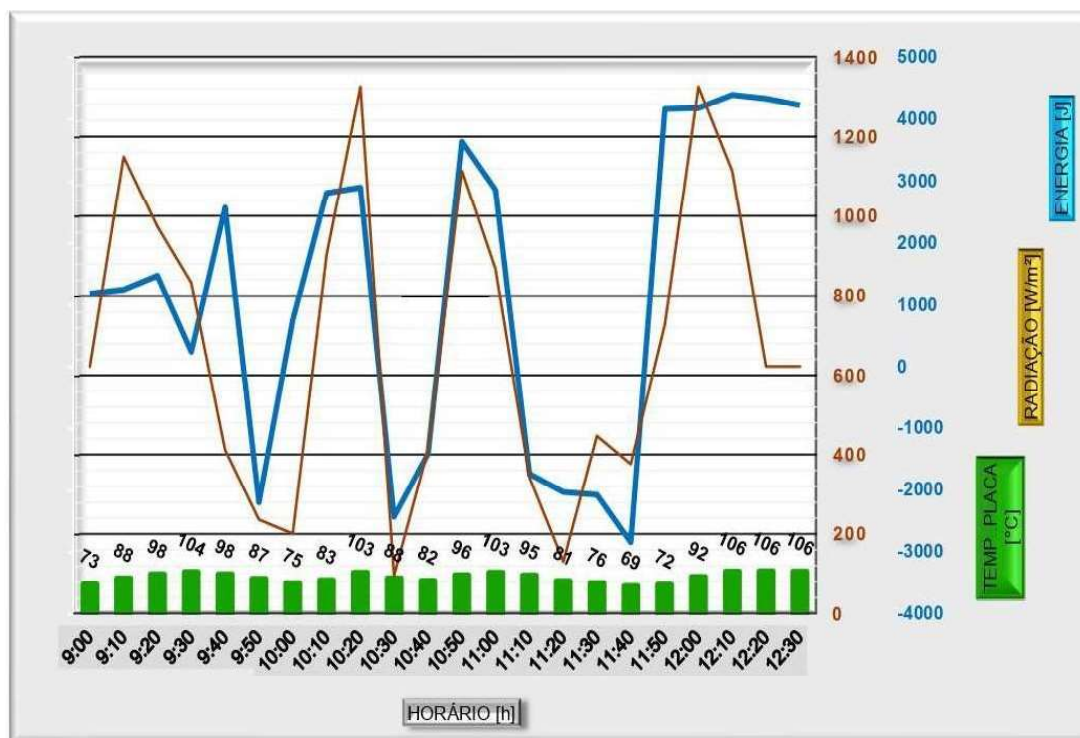
Tabela 4: Dados obtidos para a placa de alumínio

Hora	Temp.Ambiente [°C]	Temp. Placa [°C]	Irradiânci a [W/m ²]	ΔT [° K]	Energia Q [J]
9:00	25	73	806	0	0
9:10	28	88	816	15	3386,25
9:20	28	98	850	10	2257,5
9:30	29	104	659	6	1354,5
9:40	29	98	1021	-6	-1354,5
9:50	30	87	279	-11	-2483,25
10:00	30	75	739	-12	-2709
10:10	29	83	1059	8	1806
10:20	27	103	1073	20	4515
10:30	30	88	243	-15	-3386,25
10:40	31	82	402	-6	-1354,5
10:50	31	96	1187	14	3160,5
11:00	32	103	1067	7	1580,25
11:10	31	95	351	-8	-1806
11:20	32	81	305	-14	-3160,5
11:30	33	76	299	-5	-1128,75
11:40	32	69	179	-7	-1580,25
11:50	32	72	1269	3	677,25
12:00	33	92	1271	20	4515
12:10	33	106	1304	14	3160,5
12:20	32	106	1295	0	0
12:30	32	106	1278	0	0

Fonte: Acervo pessoal

Logo abaixo está o gráfico 4, com as curvas de temperatura, radiação e ganho de calor para fins de comparação, nos testes usando a placa de alumínio.

Gráfico 4: Temperatura x ganho de calor placa de alumínio



Fonte: Acervo pessoal

4.2 DISCUSSÃO

Para analisar os resultados obtidos no fogão solar foram realizados primeiramente os cálculos de parâmetros que auxiliam na análise.

4.2.1 Cálculo do parâmetro F1 para a placa de aço

Usamos o equacionamento 17, visto no capítulo anterior e acrescentamos os dados coletados durante os testes. E assim como foram descritos anteriormente, nos dados mostrados na tabela, para a placa de aço temos que:

- T_{es} - 90°C
- T_{amb} - 32°C
- H_a - 442 W/m²

$$F1 = \frac{90-32}{442} = 0,1312$$

F1 para a placa de aço é 0,1312.

4.2.2 Cálculo do parâmetro “F1” para a placa de alumínio

Da mesma forma repetimos os cálculos para obter o parâmetro F1 para a placa de alumínio. E assim como foram descritos anteriormente, para a placa de alumínio temos que:

- $T_{es} = 106^{\circ}\text{C}$;
- $T_{amb} = 32^{\circ}\text{C}$;
- $H_a = 1287 \text{ W/m}^2$

$$F1 = \frac{106-32}{1287} = 0,0575$$

O parâmetro F1 para a placa de alumínio é igual a 0,0575.

4.2.3 Cálculo do parâmetro “F2” para a placa de aço

Primeiramente calculamos a relação de capacidade de calor do fogão solar:

- $MC_{ag} = 4.180 \text{ J/kg.K}$
- $MC' = 41.368,29 \text{ J/kg.K}$
- $A = 0,24^2 \text{ m} = 0,0576 \text{ m}^2$
- t = é igual a variação de 60 segundos então $t_1 = 60\text{s}$, $t_2 = 120\text{s}$...
- $F1 = 0,1312$
- $H_m = 689,18 \text{ W/m}^2$

$$CR = \left(\frac{(MC)_{ag}}{(MC)' + (MC)_{ag}} \right) = \left(\frac{(4180)}{(41368,29) + (4180)} \right) = 0,0917$$

Dessa forma obtivemos o valor de 0,0917 para C_R .

Em seguida calculamos a eficiência óptica para aplicar na equação e determinar o F2 para a placa de aço em cada intervalo de tempo.

$$F'\eta_o = \frac{F1 (MC)_{ag}}{CR.A.t} \ln \left[\frac{1 - \frac{1}{F1} \left(\frac{T_{ag1} - T_{amb}}{Hm} \right)}{1 - \frac{1}{F1} \left(\frac{T_{ag2} - T_{amb}}{Hm} \right)} \right]$$

$$F'\eta_o = 1913,56$$

Então temos que F2 será:

$$F2 = F'\eta_o . CR = F'\eta_o \cdot \frac{(MC)_{ag}}{(MC)' + (MC)_{ag}}$$

$$F2 = -175,47$$

Linearizando esse ponto temos que a relação da função “F2” para a placa de aço é:

$$\frac{1}{F2} = \frac{(MC)'}{F'\eta_o.(MC)_{ag}} + \frac{1}{F'\eta_o}$$

$$Y = \frac{1}{F2};$$

$$m = \frac{(MC)'}{F'\eta_o};$$

$$X = \frac{1}{(MC)_{ag}};$$

$$C = \frac{1}{F'\eta_o}$$

4.2.4 Cálculo do parâmetro F2 para a placa de alumínio

Primeiramente calculamos a relação de capacidade de calor do fogão solar:

- $MC_{ag} = 4.180 \text{ J/kg.K}$
- $MC' = 41.368,29 \text{ J/kg.K}$
- $A = 0,24^2 \text{ m} = 0,0576\text{m}^2$
- $t = \text{é igual a variação de 60 segundos então } t_1 = 60\text{s}, t_2 = 120\text{s} \dots$
- $F_1 = 0,0575$
- $H_m = 689,18 \text{ W/m}^2$

$$CR = \left(\frac{(MC)_{ag}}{(MC)' + (MC)_{ag}} \right) = \left(\frac{(4180)}{(41368,29) + (4180)} \right) = 0,0917$$

Dessa forma obtivemos o valor de 0,0917 para C_R .

Em seguida calculamos a eficiência óptica para aplicar na equação e determinar o F_2 para a placa de aço em cada intervalo de tempo.

$$F' \eta_o = \frac{F_1 (MC)_{ag}}{CR \cdot A \cdot t} \ln \left[\frac{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{ag1} - T_{amb}}{H_m} \right)}{1 - \frac{1}{F_1} \left(\frac{T_{ag2} - T_{amb}}{H_m} \right)} \right]$$

$$F' \eta_o = -837,34$$

Então temos que F_2 será:

$$F_2 = F' \eta_o \cdot CR = F' \eta_o \cdot \frac{(MC)_{ag}}{(MC)' + (MC)_{ag}}$$

$$F_2 = -76,78$$

Linearizando esse ponto temos que a relação da função F_2 para a placa de aço é:

$$\frac{1}{F_2} = \frac{(MC)'}{F' \eta_o \cdot (MC)_{ag}} + \frac{1}{F_1 \eta_o}$$

$$Y = \frac{1}{F2};$$

$$m = \frac{(MC)'}{F'\eta_0};$$

$$X = \frac{1}{(MC)ag};$$

$$C = \frac{1}{F'\eta_0}.$$

4.2.4 ANÁLISE DOS DADOS

De forma geral, a capacidade de previsão para a correlação que foi proposta para ambas as placas usadas no fogão solar é avaliada com base na análise de erro, determinando o erro médio relativo para cada placa (EMR), erro médio absoluta (EMA) e o erro padrão (EP). Além de determinar também R2 da linha de regressão para cada placa utilizando valores experimentais e os cálculos de F2.

$$EMR = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n | F2_{exp} - F2_{cal} | \quad (25)$$

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left| \frac{F2_{exp} - F2_{ca}}{F2_{exp}} \right| \quad (26)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (F2_{exp} - F2_{ca})^2}{n-1}} \quad (27)$$

O alto valor dos coeficientes de determinação “R2” foi de 0,8848 para ambas as placas, o que indica que há uma concordância muito boa entre o F2 calculado e o experimental, para o aço e para o alumínio.

De forma geral, o que determina o melhor desempenho entre as duas placas é justamente o nível de ganho de calor de cada uma de acordo com os dados e gráficos apresentados anteriormente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O procedimento apresentado de testes térmicos para determinação dos parâmetros de projeto pode prever as curvas características de aquecimento e de desempenho térmico de um fogão solar do tipo caixa.

A concordância mostrada ao analisar os dados obtidos nos testes realizados entre as curvas características de aquecimento revela que a metodologia apresentada é capaz de prever o comportamento térmico do fogão solar.

Por outro lado, ao comparar as duas placas, é possível verificar que a placa de alumínio apresenta uma eficiência térmica e um ganho de calor mais elevado com relação à placa de aço. É possível constatar tal fato com base nos dados apresentados nos gráficos e nas tabelas. Nelas, é possível verificar que as temperaturas atingidas na placa de alumínio durante os testes sempre eram mais elevadas. Isso afeta também diretamente no valor do parâmetro.

REFERÊNCIAS

BURSZTYN, Marcel. Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas¹. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 34, n. 98, p. 167-186, abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.3498.011>.

COHEN, C. A. M. J. **Padrões de consumo**: desenvolvimento, meio ambiente e energia no Brasil. 2002. 224 p. Tese (Doutorado em Ciência em Planejamento Energético) Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

GOLDEMBERG, José. Energia e desenvolvimento. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 12, n. 33, p. 7-15, ago. 1998. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40141998000200002>.

GÓMEZ, J.M. Rodríguez; CARLESSO, F.; VIEIRA, L.e.; SILVA, L. da. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 40, n. 3, p. 1-12, 26 mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342>.

GOMES, J.W. Construção e Análise de Desempenho de um Forno Fogão Solar do Tipo Caixa Alternativos Construído a Partir de sucata de Pneu. **Dissertação (Mestrado em engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação)** — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.

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

MOURA, Johnson Pontes de. **Construção e avaliação térmica de um fogão solar tipo caixa**. 2007. 212 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

NOVO, M. M. M.; BITENCOURT, C. S.; TIBA, P. R. T.; SILVA, D. G. M.; PANDOLFELLI, V. C.. Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade. **Cerâmica**, [S.L.], v. 60, n. 353, p. 22-33, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132014000100004>.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

RAMOS FILHO, Ricardo Eugênio Barbosa. **Análise de desempenho de um fogão solar construído a partir de sucatas de antenas de TV**. 2011. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, UFRN, Natal, 2011.

SANTANA, Guilherme. Espectro eletromagnético. **Todo Estudo**. Disponível em: <https://www.todoestudo.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico>. Acesso em: 08 de December de 2023.

VARELA, P. H. de A. Viabilidade Térmica de um Forno solar Fabricado Com Sucatas de Pneus. **Dissertação (Mestrado em engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação)** — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.