



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
(IFBA) CAMPUS JEQUIÉ**

Natiale Serra Almeida

**Desenvolvimento do protótipo de uma estufa de baixo custo com aquecimento
solar para as marmitas dos discentes do IFBA campus Jequié – BA**

Jequié – BA

2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
(IFBA) CAMPUS JEQUIÉ**

Natiale Serra Almeida

Desenvolvimento do protótipo de uma estufa de baixo custo com aquecimento solar para as marmitas dos discentes do IFBA campus Jequié – BA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à disciplina de TCC, aos docentes Fabiano Borges e Rita Queiroz como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador (a): Dr. Márcio Andrade Rocha.

Coorientador (es): Dra. Olandia Ferreira Lopes e Me. Marcio Henrique Alves dos Santos.

Jequié – BA

2024

Natiale Serra Almeida

Desenvolvimento do protótipo de uma estufa de baixo custo com aquecimento solar para as marmitas dos discentes do IFBA campus Jequié – BA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à disciplina de TCC, aos docentes Fabiano Borges e Rita Queiroz como requisito parcial para conclusão do curso.

Jequié, 07 de agosto de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Andrade Rocha (Orientador)

Prof. Dra. Olandia Ferreira Lopes

Prof. Dra. Juanice Helena de Andrade

RESUMO

A cidade de Jequié, localizada no sudoeste da Bahia, é conhecida como "cidade sol". Em 2023, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a cidade registrou temperaturas máximas de aproximadamente 35 °C e mínimas próximas de 16 °C. O Instituto Federal da Bahia (IFBA), com campus localizado nesta cidade, dispõe de ensino técnico na modalidade integrada, subsequente e nível superior. Alguns discentes permanecem mais de um turno na instituição para atividades curriculares e extracurriculares, necessitando que levem marmitas para as refeições. Por conta desta demanda, a disponibilidade de aparelhos micro-ondas é insuficiente para que todos aqueçam sua marmita antes de consumi-la. Essa pesquisa consiste na realização de um experimento piloto, com aproveitamento da incidência solar, empregando materiais de baixo custo e fácil acesso e sensores de temperatura para monitorar o processo de variação da temperatura. A coleta de dados ocorreu entre os meses de maio e junho de 2024 a fim de averiguar se a temperatura alcançada dentro da estufa se manteve estável durante 6h como o recomendado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A estufa de baixo custo se mostrou eficaz quanto ao desempenho térmico e eficiente em relação ao consumo energético, visto que seus componentes elétricos têm baixo gasto de energia. A contribuição social, ambiental e econômica desse trabalho consiste na disponibilização de um equipamento simples, eficiente e com custo reduzido. Outra vantagem é a redução do consumo energético para a administração pública federal. Ademais, o uso de fontes mais limpas de energia contribuirá com as metas do acordo de Paris ao qual o Brasil é signatário, bem como o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 da Agenda da Organização das Nações Unidas (ONU) 2030: Transformando Nosso Mundo. Infere-se, que este protótipo tem potencial de ser replicado em outras instituições para a mesma finalidade ou mesmo em âmbito empresarial para aquecer as marmitas dos colaboradores.

Palavras-chave: Protótipo, estufa solar, aquecimento, eficiência energética, energia mais limpa.

ABSTRACT

The city of Jequié, located in the southwest of Bahia, is known as the "City of Sun." In 2023, according to the National Institute of Meteorology (INMET), the city recorded maximum temperatures of approximately 35°C and minimum temperatures close to 16°C. The Federal Institute of Bahia (IFBA), with a campus located in this city, offers technical education in integrated, subsequent, and higher education levels. Some students stay for more than one shift at the institution for curricular and extracurricular activities, requiring them to bring lunchboxes for their meals. Due to this demand, the availability of microwave ovens is insufficient for everyone to heat their lunchboxes before consumption. This research involves conducting a pilot experiment utilizing solar incidence, using low-cost and easily accessible materials and temperature sensors to monitor the temperature variation process. Data collection occurred between May and June 2024 to determine if the temperature inside the low-cost greenhouse remained stable for 6 hours as recommended by the National Health Surveillance Agency (ANVISA). The low-cost greenhouse proved effective in terms of thermal performance and energy efficiency, as its electrical components have low energy consumption. The social, environmental, and economic contributions of this work include providing a simple, efficient, and cost-effective piece of equipment. Another advantage is the reduction of energy consumption for the federal public administration. Moreover, the use of cleaner energy sources will contribute to the goals of the Paris Agreement, to which Brazil is a signatory, as well as to Sustainable Development Goal (SDG) 13 of the United Nations (UN) 2030 Agenda: Transforming Our World. It can be inferred that this prototype has the potential to be replicated in other institutions for the same purpose or even in business settings to heat employees' lunchboxes.

Keywords: Prototype, solar greenhouse, heating, energy efficiency, cleaner energy.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1 Energia mais limpa.....	10
2.2 Energia solar e radiação.....	11
2.3 Troca de calor.....	13
3 METODOLOGIA.....	15
3.1 Montagem do experimento e custos.....	17
3.1.1 Etapa 01.....	18
3.1.1.1 Protótipo da estufa.....	18
3.1.1.2 Sistema embarcado.....	21
3.1.2 Etapa 02.....	23
3.1.2.1 Aperfeiçoamento do protótipo da estufa.....	23
3.1.1.2 Sistema embarcado.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Resultados.....	25
4.1.1 Etapa 01.....	25
4.1.2 Etapa 02.....	28
4.2 Discussão.....	33
5 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	37
APÊNDICE A - Código de programação.....	39

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Jequié, localizada no interior da Bahia, é popularmente conhecida por ser a 'cidade sol'. O município tem a predominância do clima semiárido, segundo informações da Prefeitura Municipal. Esse clima, de acordo com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2024) é caracterizado por altas temperaturas, irregularidade nas chuvas e episódios de monções torrenciais que eventualmente caem em períodos curtos e provocam cheias.

No ano de 2023, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) registrou mais de 300 dias ensolarados, com média de 35 °C (trinta e cinco graus Celsius) para temperaturas máximas e 16 °C (dezesesseis graus Celsius) para temperaturas mínimas. Essa abundante disposição solar na cidade é geralmente aproveitada para geração de energia elétrica por meio de placas fotovoltaicas, contudo, o investimento para obtenção do material para instalação é alto, desta forma é pouco acessível à grande maioria da população.

Além da geração de energia elétrica por meio da radiação solar, que é captada por intermédio das placas fotovoltaicas, é possível utilizar-se dessa vasta disponibilidade de incidência dos raios solares de outras maneiras, como cocção de alimentos através de fornos solares ou aquecimento de água por meio de sistemas de troca térmica, a qual utiliza serpentinas helicoidais associadas com bombas para uso residencial ou industrial.

Segundo o censo de 2022 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Jequié tem 158.813 habitantes e dispõe da presença de um campus do IFBA (Instituto Federal da Bahia). O referido instituto oferta cursos de ensino médio e técnico de forma integrada, técnico na modalidade subsequente e graduação de período integral (vespertino e noturno). Logo, é esperado que alguns discentes permaneçam na instituição por mais de um turno, gerando a necessidade de levar marmitas para o almoço e/ ou lanches.

Para maior conforto e segurança alimentar, essas marmitas devem ser aquecidas antes do consumo. Esse aquecimento, via de regra, é feito com o auxílio de micro-ondas disponíveis no campus. Contudo, a quantidade de aparelhos disponíveis para uso não é suficiente para atender a demanda de alunos que necessitam do uso do referido equipamento. Além dessa pequena quantidade, há geralmente intervalo destinado para o almoço, com isso pode ocasionar filas

enormes e possíveis atrasos para as atividades acadêmicas. Portanto, outra alternativa de aquecimento ou manutenção da temperatura das marmitas se faz necessária.

Considerando a alta incidência solar na localidade e com o intuito de atender a demanda do campus, objetivou-se a construção do protótipo de uma estufa solar de baixo custo para analisar se a temperatura alcançada dentro da estufa é suficiente para manter as marmitas aquecidas, conforme regulamentação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Na Resolução nº 216 de 15 de setembro de 2004, a ANVISA determina que:

Após serem submetidos à cocção, os alimentos preparados devem ser mantidos em condições de tempo e de temperatura que não favoreçam a multiplicação microbiana. Para conservação a quente, os alimentos devem ser submetidos à temperatura superior a 60 °C (sessenta graus Celsius) por, no máximo, 6 (seis) horas” (BRASIL, 2004).

Essa pesquisa consiste na realização de um experimento piloto a fim de desenvolver o protótipo de uma estufa de baixo custo com aquecimento solar, adaptar e calibrar um sistema embarcado para monitoramento da temperatura e coleta de dados térmicos no sistema, bem como avaliar a efetividade térmica do trocador de calor utilizado no conjunto, validando se as recomendações da ANVISA foram atendidas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia mais limpa

Segundo Villalva et. Al. (2012) as fontes renováveis de energia podem ser chamadas dessa forma por serem consideradas inesgotáveis diante dos padrões humanos de aproveitamento.

Dentre as fontes consideradas como inesgotáveis, têm-se as energias consideradas mais limpas, porquanto causam menos impacto em sua utilização e geração. Um exemplo disso é a energia eólica, que segundo Martinez (2023), “os parques eólicos representam um elemento empobrecedor da qualidade da paisagem”, mas “estas fontes possibilitam o acesso a uma energia que não impacta tão negativamente o meio ambiente, se comparada com as fontes de geração por combustíveis fósseis”, conforme explica Silva (2022).

A energia solar tem se destacado como uma das principais fontes renováveis, com uma extensa variedade de aplicações para conversão da energia proveniente do sol em energia elétrica e térmica (SILVA, 2023).

Há várias aplicações para a energia solar de acordo com as faixas de temperaturas, tais como processos agropecuários, cocção de alimentos, a dessalinização de água e uma ampla gama de processos industriais (MARTINS., 2017).

Segundo o Atlas da Eficiência Energética (2021), o uso da energia solar térmica para o aquecimento da água tanto em residências, como em uso industrial, são os denominados Sistemas de Aquecimento Solar (SAS). Assim, a partir do uso de coletores solares e do reservatório térmico, pode-se utilizar a água aquecida. A utilização desses sistemas contribui para a redução do consumo de energia elétrica e também na redução dos gases causadores do efeito estufa.

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU), lançou o desafio de uma agenda de desenvolvimento sustentável para os próximos 15 anos, a Agenda 2030. Um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) diz respeito a energia acessível e limpa, sendo uma das metas deste ODS o aumento da participação de energias renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE). Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, em 2022 o Brasil contou com 47,4% de participação de energias renováveis na sua OIE, um passo importante para cumprimento da meta

7.2 que visa manter elevada a participação de energias renováveis na matriz energética nacional até 2030.

Ainda nesse ensejo, o Brasil tem como meta expandir a infraestrutura e aprimorar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos. Esse abastecimento de energia moderna é o que disponibiliza energia com menor impacto ao meio ambiente, além de menor emissão dos gases de efeito estufa (GEE).

Em 2020, o Ministério de Minas e Energia (MME) aprovou o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050. O PNE 2050 é um plano estratégico brasileiro com foco no desenvolvimento do setor energético nas próximas décadas, enquanto o desafio da ONU se estende ao âmbito global.

A geração de energia mais limpa está diretamente relacionada à redução dos gases de efeito estufa. De acordo com o MME, a matriz energética do Brasil conta com 55,2% oriunda de fontes não renováveis, dentre essas, 34,4% provenientes do petróleo. A combustão desse combustível fóssil libera grandes volumes de CO₂, principal responsável pelo efeito estufa. Ele pode permanecer na atmosfera por centenas de anos contribuindo para o aquecimento global, por isso, fontes de energia mais limpas são consideradas tão necessárias.

O Brasil é signatário do Acordo de Paris, um compromisso global que visa combater as mudanças climáticas, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa, restaurando e reflorestando áreas de floresta desmatadas, aumentando a participação de fontes renováveis na matriz energética e, auxiliando países mais vulneráveis aos impactos que as mudanças climáticas podem gerar. Esse acordo está alinhado com o ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, numa tentativa global de frear o aquecimento global e os efeitos adversos decorrentes dele.

2.2 Energia solar e radiação

Segundo SILVA (2023), a energia solar que alcança a terra é transmitida através de radiação eletromagnética, não necessitando assim de um meio interveniente para se propagar. Sendo assim essas ondas eletromagnéticas podem ser convertidas em energia elétrica e/ ou térmica.

Levando em conta a velocidade da luz e a distância entre a terra e o sol, é conhecido que a radiação solar leva em média 8 minutos para chegar à terra. De fato, a transferência de calor por radiação é mais rápida (na velocidade da luz) e ela não sofre atenuação no vácuo (CENGEL; GHAJAR, 2009). Parte dessa radiação é refletida pela atmosfera, pelas nuvens e até mesmo pela superfície. Entretanto, outra parte é retida, aquecendo os oceanos, rios e lagos, a atmosfera e o solo, favorecendo o processo fotoquímico nas plantas.

Conforme explica PINHEIRO (2022), o sol é uma fonte natural de energia e o ser humano foi desenvolvendo, ao longo do tempo, meios de aproveitar essa abundante matriz energética. A energia heliotérmica, ou energia solar térmica, pode ser utilizada para diversos fins. Sistemas solares podem ser usados para aquecer água em residências ou indústrias, aquecimento de ambientes por meio de aquecimento solar por água ou ar, fornos solares para a cocção de alimentos, geração de energia fotovoltaica.

O funcionamento da energia heliotérmica ocorre pela absorção da radiação solar por painéis apropriados para tal fim. Esses painéis são geralmente pretos ou cores escuras, visto que a cor preta é a cor que melhor absorve a luz solar e minimiza sua reflexão, aumentando a retenção de calor, conseqüentemente, menos perda de calor para o ambiente. Alguns desses painéis possuem tubos por onde há circulação de um fluido, geralmente água ou óleo. O fluido aquecido por meio da radiação é transferido para um reservatório ou para um sistema de aquecimento onde irá trocar calor com o ambiente.

A radiação que atinge a superfície terrestre de forma horizontal é uma mistura de raios solares provenientes de todas as direções. Esses raios interagem com diversos elementos, como nuvens, ar, vapor d'água, aerossóis e poeira, sendo absorvidos, refletidos e dispersos. Essa radiação se divide em dois tipos: radiação difusa e direta. A soma desses tipos é denominada radiação global.

A radiação direta corresponde aos raios solares que chegam diretamente do Sol em linha reta e incidem sobre o plano horizontal com uma inclinação que depende do ângulo zenital do Sol. Já a radiação difusa corresponde aos raios solares que chegam indiretamente ao plano terrestre. Ou seja, é o resultado da

difração na atmosfera e da reflexão da luz nas partículas do ar, nas nuvens e em outros objetos (SOUZA, 2022).

O uso da energia solar térmica pode ter diversas vantagens, a primeira delas, percorrida de forma mais extensiva no tópico 2.1 é o fato de ser uma energia mais limpa e renovável. O baixo custo de manutenção dos sistemas solares térmicos também não pode ser desprezado. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), pode haver substancial redução nas contas de energia com o uso do aquecimento solar da água. Em contrapartida, seu custo inicial de instalação e a instabilidade de eficiência por conta de dias chuvosos e nublados tem devem ser considerados, sem esquecer que o armazenamento dessa energia para aproveitamento posterior de forma limpa e sustentável ainda é um desafio.

Fato é que há grande potencial da energia heliotérmica contribui cada vez mais para um futuro sustentável. Com o avanço das tecnologias e redução de custos, é esperado que essa fonte de energia seja cada vez mais acessível e utilizada.

2.3 Troca de calor

Em essência, calor é a energia térmica que pode ser transmitida devido à discrepância de temperatura presente entre dois meios (MARQUES, 2022).

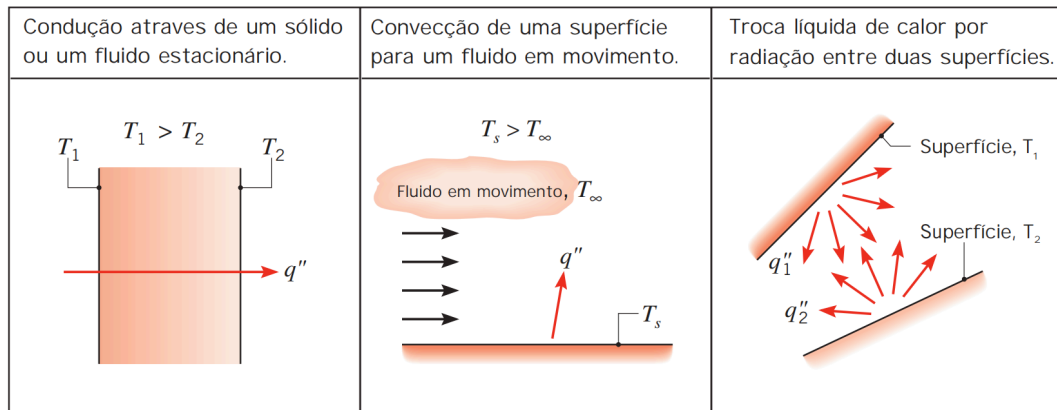
Com base na definição já citada por Marques (2022), o processo de troca térmica sempre acontecerá quando houver uma diferença de temperatura entre sistemas. Com o intuito de favorecer esse transporte de calor é que os trocadores têm seu uso justificado. Máquinas desse tipo permitem a transferência de calor entre 2 ou mais fluidos sem que haja contato direto entre eles.

Conforme explica Flamino (2024), historicamente, a indústria passou por transformações marcantes, caracterizadas por importantes marcos no processo de industrialização, conhecidos como Revoluções Industriais, e nos avanços tecnológicos paralelos, frequentemente referidos como Revoluções Tecnológicas. Com isso, diversos tipos de máquinas foram desenvolvidas e aperfeiçoadas, a exemplo dos trocadores de calor que foram aperfeiçoados para atender as

necessidades que surgiram com a demanda por processos mais eficientes e precisos no âmbito industrial. Essas mudanças vão desde o material de fabricação do trocador de calor, tamanho, tipo de trocador, sempre visando maior eficiência e menor custo.

De acordo com Bergman (2011), essa troca de calor pode ocorrer de 3 maneiras distintas, denominadas como métodos ou mecanismos de calor: condução, convecção e radiação. As trocas por condução e convecção necessitam de um meio material para se propagar, enquanto a radiação, como discutido no tópico anterior, é propagada através de ondas eletromagnéticas.

Figura 01 - Mecanismos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.



Fonte: BERGMAN et al. (2011).

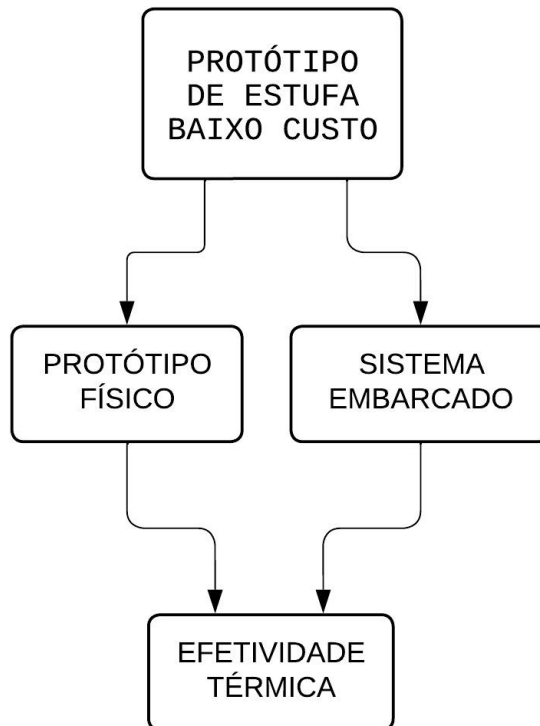
Para que a estufa atinja seu objetivo, a serpentina precisará receber energia térmica proveniente do sol por meio da radiação, a troca de calor então ocorrerá da serpentina para o fluido de trabalho por convecção, do fluido para a serpentina da estufa também por convecção, e, finalmente, da serpentina para dentro da estufa por condução.

3 METODOLOGIA

Para avaliar o desempenho térmico da estufa de baixo custo com aquecimento solar foi adotado o modelo experimental. Segundo Antonio Carlos Gil, "o método experimental consiste essencialmente em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto" (Gil, 2008).

Visando avaliar se a temperatura obtida dentro da estufa atendeu a condição necessária e se manteve estável durante 6h como o recomendado pela ANVISA, o experimento teve 2 subdivisões: a construção do protótipo físico da estufa e o sistema embarcado para monitoramento. Essas subdivisões geraram como resultado a validação da efetividade térmica da estufa, conforme descrito no Fluxograma (Figura 02).

Figura 02 - Fluxograma geral do experimento

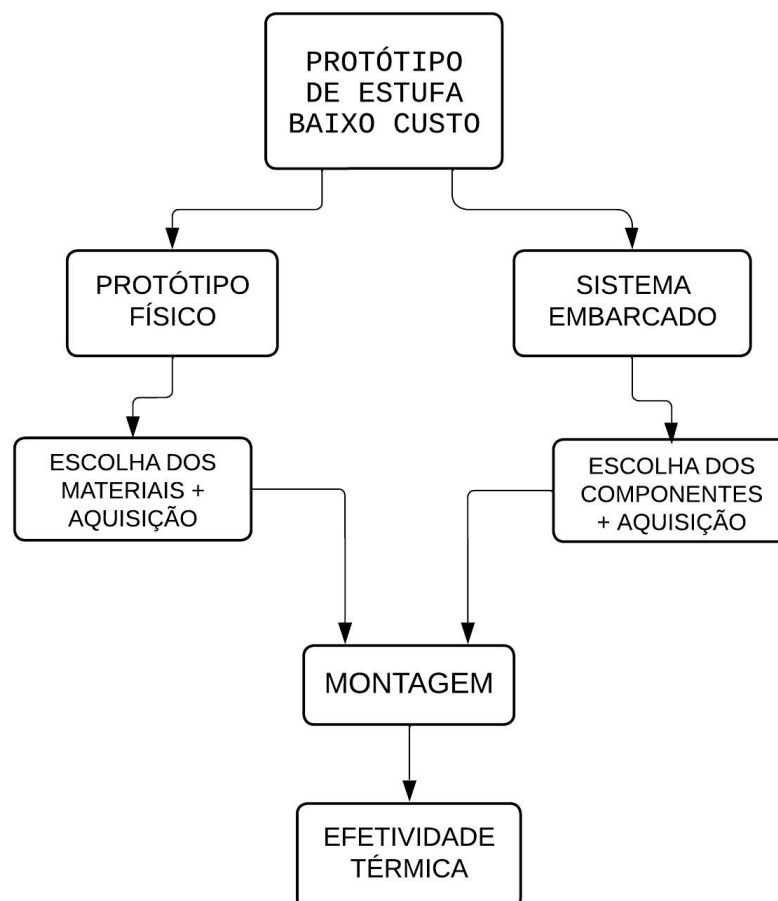


Fonte: Autoria própria (2024).

No fluxograma exposto na Fig. 03 são elucidadas de forma mais dinâmica as etapas que se sucederam para que os objetivos da Fig. 02 fossem alcançados. Tanto o experimento relacionado ao protótipo quanto ao sistema embarcado envolveram a escolha de materiais e posteriormente a sua aquisição, com conclusão efetivada com a etapa de montagem. Para o sistema embarcado infere-se junto a montagem, o desenvolvimento e validação da programação para que o mesmo funcione de modo a retornar ao usuário os dados necessários.

A efetividade térmica só foi possível ser validada após a montagem do protótipo e do sistema embarcado, visto que essa fase estava condicionada a coleta e análise dos dados obtidos com a realização do experimento.

Figura 03 - Fluxograma de etapas do experimento



Fonte: Autoria própria (2024).

3.1 Montagem do experimento e custos

O experimento foi realizado no campus do IFBA Jequié, entre os dias 13/05 a 12/06 do ano de 2024 e contou com 2 fases. A primeira foi realizada entre os dias 13/05 a 18/05, enquanto a segunda foi executada entre os dias 19/05 a 12/06/2024. Os dados para comparação foram coletados na série histórica do INMET (<https://portal.inmet.gov.br/>) e da empresa norte-americana de previsão do tempo AccuWeather (<https://www.accuweather.com/pt/br/brazil-weather>).

Partindo do pressuposto que o equipamento deve ser simples e fácil de ser replicado, o material escolhido para protótipo da estufa foi uma caixa de poliestireno expandido, popularmente conhecido como isopor. A escolha desse material se baseou no fato desse polímero ser conhecido por suas propriedades de isolamento térmico, fácil acesso no comércio local, além do baixo custo. Os mecanismos responsáveis pela troca de calor foram duas serpentinas de liga de cobre: uma exposta ao sol no caixote de madeira e outra disposta dentro do protótipo da estufa. O Quadro 01 apresenta os materiais utilizados na confecção do protótipo e o custo econômico para aquisição.

Quadro 01 - Materiais utilizados

Material	Quantidade	Valor
Caixa de poliestireno expandido com capacidade de 80 L	01 unidade	R\$ 84,90
Serpentinas de liga cobre C12200	02 unidades	Doação para uso no experimento por uma empresa de manutenção de sistema de refrigeração
Tubos de ¼ pol de liga cobre C12200	02 unidades	R\$ 55,44
Esponjoso de isolamento térmico dos tubos	02 unidades	R\$ 7,90
Caixote de madeira	01 unidade	R\$ 40,00
Vidro para tampa do caixote	01 unidade	Empréstimo - IFBA Campus Jequié

Reservatório de água	01 unidade	R\$ 8,00
Manta de isolamento térmico do reservatório	50 centímetros	R\$ 27,45
União de ¼ pol para os tubos de cobre	01 unidades	R\$ 7,50
Redução saída da bomba de ½ pol para ¼ pol	01 unidade	R\$ 20,00
União de redução de ⅜ pol para ¼ pol	02 unidades	R\$ 18,00
Porcas de ¼ pol para conexões	04 unidades	R\$ 12,00
Porcas de ⅜ pol para conexões	02 unidades	R\$ 7,60
Eletrobomba;	01 unidade	R\$ 109,90
Sensores de temperatura	04 unidades	R\$ 56,97
Módulo Arduino Mega 2560 R3	01 unidade	R\$ 145,90
Módulo clock RTC	01 unidade	R\$ 27,77
Módulo leitor de micro SD	01 unidade	R\$ 6,82
Jumpers	30 unidades	R\$ 13,20
		R\$ 649,35

Fonte: Autoria própria (2024).

3.1.1 Etapa 01

3.1.1.1 Protótipo da estufa

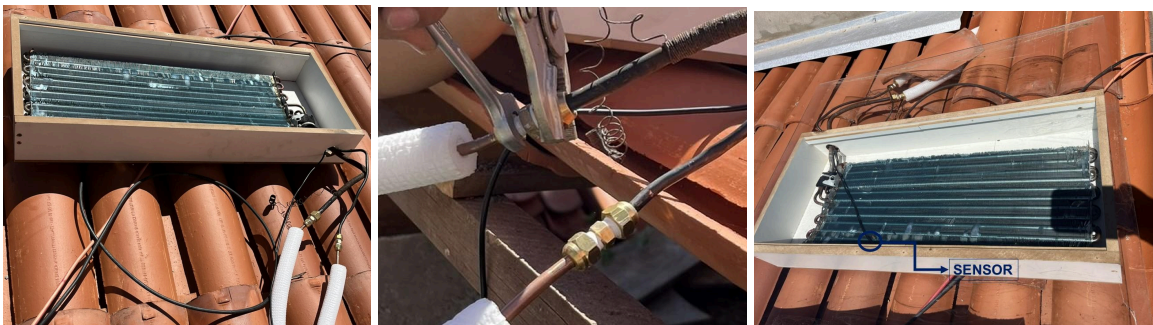
As serpentinas utilizadas no experimento foram reaproveitadas de sistemas de condicionamento de ar. Essas serpentinas têm 620x230mm de dimensão e possuem tubulações de diâmetros diferentes para entrada e saída do fluido de trabalho, devido a isso foi necessário o uso de uniões e reduções nas ligações entre os tubos. Os tubos de cobre e tubulações das serpentinas foram previamente flangeados para que as conexões fossem feitas por meio de uniões rosqueáveis de

porcas e niples. Assim, não houve necessidade de união por solda oxiacetilênica, que também é conhecida como solda a gás.

Uma das serpentinas foi alocada no caixote de madeira tipo *Medium Density Fiberboard* (MDF), com dimensões 280x700x80mm. Nessa caixa havia um furo lateral de 40mm para possibilitar a passagem das tubulações e conexões, bem como o sensor.

O caixote foi colocado no telhado acadêmico do IFBA Campus Jequié, com o auxílio de alicate de pressão e a chave fixa, a união entre as tubulações da serpentina e os tubos de cobre foi realizada. Após isso, o vidro transparente foi posto em cima do caixote a fim de aumentar a temperatura interna do mesmo, visto que esse material possibilita a passagem da radiação em apenas um sentido, produzindo uma espécie de efeito estufa dentro do caixote. Por ser um empréstimo do instituto, as medidas do vidro tinham um tamanho maior comparado ao caixote, mas esse aspecto não atrapalhou o experimento.

Figura 04: (a) Serpentina no caixote de MDF; (b) Conexões rosqueáveis; (c) caixote com tampa de vidro transparente.



(a)

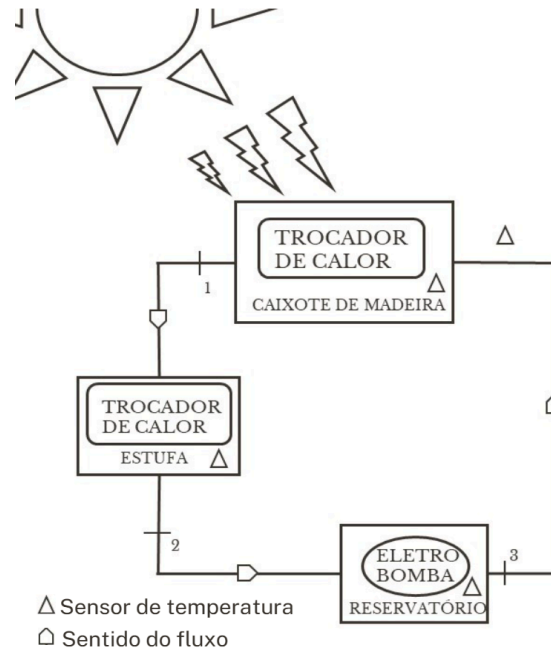
(b)

(c)

Fonte: Autoria própria (2024).

Os tubos de cobre apresentavam 2 metros de comprimento cada um, assim, após serem unidos à entrada e à saída da serpentina externa, um foi conectado à entrada da serpentina da caixa de isopor, e o outro na saída da bomba. A saída da serpentina da caixa de isopor foi conectada ao reservatório de água para que o ciclo fosse completo. O funcionamento geral é melhor elucidado no desenho esquemático demonstrado na Figura 05.

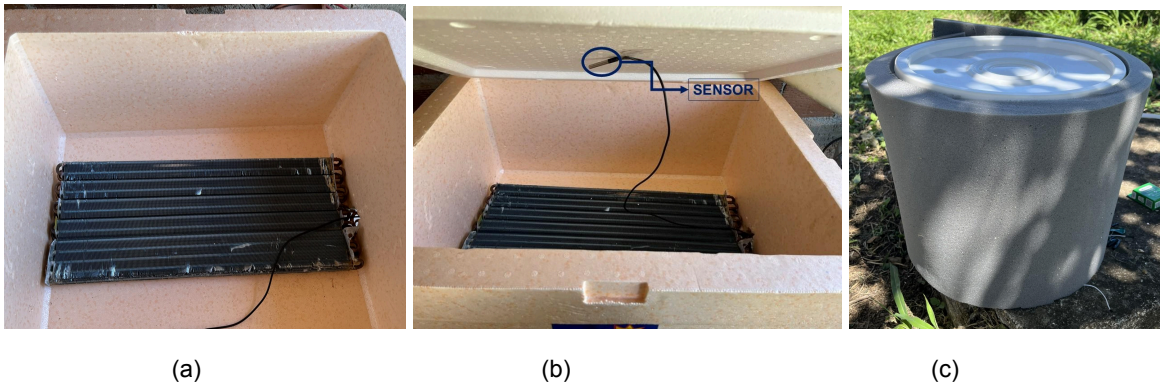
Figura 05 - Desenho esquemático.



Fonte: Autoria própria (2024).

Após montada a parte que ficaria exposta ao sol, partiu-se para a instalação da estufa. A caixa de isopor tem 698x523x327mm de dimensões internas. Realizou-se um furo de 60mm em uma das laterais da referida caixa para passagem da tubulação da serpentina, que foi instalada dentro dela. Além disso, a fiação do sensor também foi disposta por esse furo lateral, que teve a função de monitorar a temperatura no ambiente interno do isopor

Figura 06: (a) Serpentina na caixa de isopor; (b) Posição do sensor de temperatura dentro da caixa de isopor; (c) Reservatório envolto com a manta térmica.



Fonte: Autoria própria (2024).

A água foi definida como fluido de trabalho por seu calor específico ser conhecido, logo, a quantidade de calor recebida pelo sistema poderia ser mensurada a partir da variação de temperatura da H₂O num intervalo de tempo. Para isso, um sensor de temperatura foi adicionado ao reservatório para fazer a aferição dessa variação. Na tentativa de minimizar a troca térmica com o meio externo, o reservatório foi envolvido com uma manta térmica para isolamento. Houve a adição de aproximadamente 10 litros de água no referido recipiente.

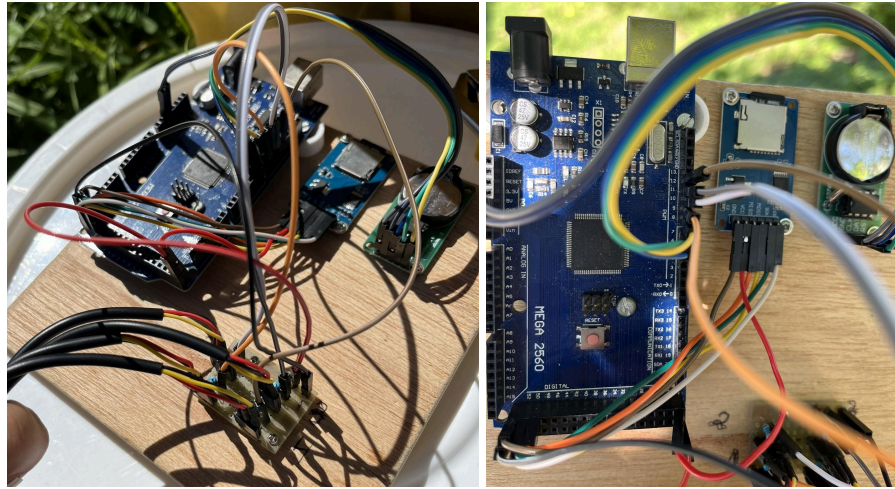
As conexões envolvendo o reservatório foram feitas na sua tampa, com a finalidade de evitar vazamentos e possíveis complicações decorrentes disso. Outro motivo trata-se da facilidade de troca, caso fosse necessário efetuar.

A eletrobomba, responsável por promover o fluxo do fluido pelo sistema, foi conectada à tubulação por meio de uma adaptação, visto que a sua tubulação de saída das serpentinas e os tubos usados no experimento foram de diâmetros diferentes. Após a realização dessa adaptação, a bomba foi imersa na água em virtude da sua condição de operação, que recomenda o funcionamento desse modo.

3.1.1.2 Sistema embarcado

Para acompanhamento da temperatura no decorrer do experimento, um sistema de monitoramento foi acoplado ao protótipo da estufa. Esse sistema dispõe dos seguintes componentes: a) 4 sensores de temperatura do tipo Ds18B20, b) 1 microcontrolador do tipo Arduino Mega 2560 R3, c) 1 módulo leitor de micro SD, d) 1 micro SD com capacidade de armazenamento de 2gb para armazenamento de dados, e e) 1 módulo clock RTC Ds1302.

Figura 07 - Vistas do hardware do sistema embarcado.



Fonte: Autoria própria (2024).

Toda alimentação do sistema foi fornecida por uma fonte de 12V ligada ao Arduino, enquanto a alimentação dos outros componentes do sistema estava ligada diretamente no microcontrolador. O sinal de dados dos sensores ocorre através das portas Pulse Width Modulation (PWM) no Arduino, da mesma forma que o clock RTC. O armazenamento de dados no micro SD foi realizado através das portas digitais do módulo, visto que os sinais dos componentes são de diferentes tipos.

Os componentes foram conectados entre si utilizando os jumpers e fixados numa placa simples de madeira tipo compensado para evitar que houvesse desconexão e reduzir o risco de mau contato. Os cabos originais de dois dos sensores não eram longos o suficiente para alcançar o local de aplicação, necessitando então que fossem alongados. Essa extensão foi feita utilizando solda estanho-chumbo na proporção 60/40.

O microcontrolador do Arduino Mega 2560 R3 foi escolhido por seu fácil acesso e uso, além de suportar diversos sensores e módulos e sua linguagem de programação ser simples, com isso favoreceu o desenvolvimento do software e montagem do hardware. Assim sendo, o software foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação C++, enquanto o hardware construído com os componentes descritos anteriormente. O código de programação consta no Apêndice A deste trabalho.

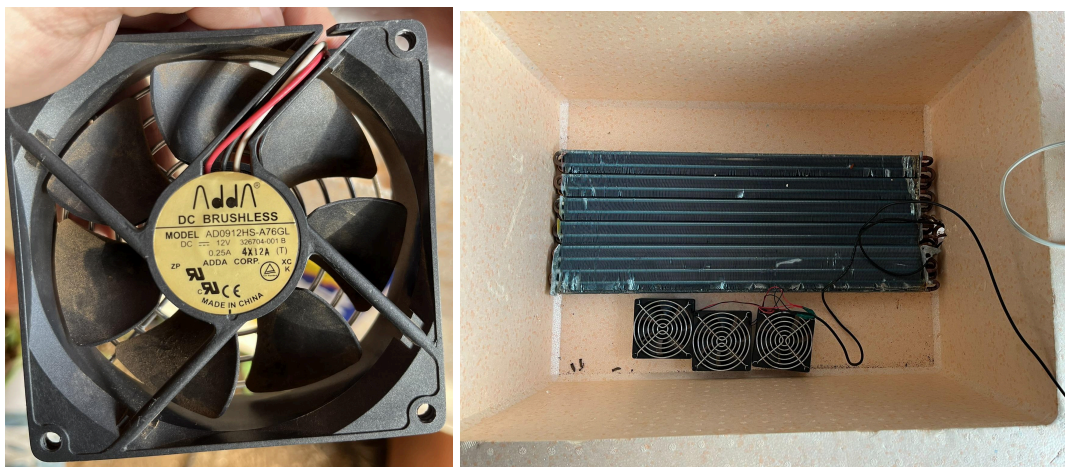
3.1.2 Etapa 02

3.1.2.1 Aperfeiçoamento do protótipo da estufa

Nesta etapa a área de exposição solar para troca térmica foi aumentada utilizando uma serpentina maior, reaproveitada do condensador de geladeira, com dimensão de 920x630mm e tubulação de ¼ de pol, associada a outra serpentina que já estava sendo usada na etapa anterior. Logo, a área total para troca térmica do experimento (etapa 2) foi 4 vezes maior que a etapa 01.

Ademais, modificações foram propostas para a parte interna da estufa baseado em inferências constatadas na primeira parte do experimento. Notou-se que havia pouca movimentação do ar dentro da caixa de isopor, consequentemente, muito calor ficava retido no fluido de trabalho. Assim estava ocorrendo pequena dissipação na parte interna da estufa. Então, a ideia foi promover uma ventilação forçada dentro da caixa de isopor para induzir um deslocamento de ar mais eficiente e por consequência, uma transferência de calor do fluido mais intensa para o ambiente interno da estufa. Para melhorar a efetividade do fluxo de ar na estufa, 3 ventiladores axiais DC BRUSHLESS modelo AD0912HS-A76GL foram associados em série e ligados a uma fonte 12V (Figura 09).

Figura 09 - Ventilador axial instalado dentro da caixa de isopor.

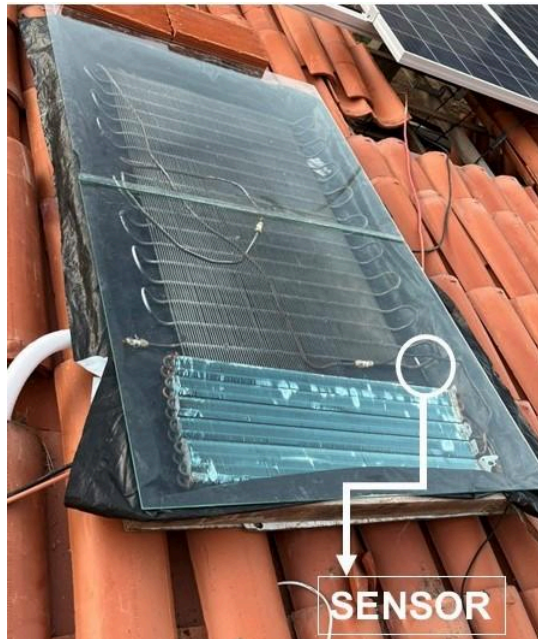


Fonte: Autoria própria (2024).

Visando a concretização das alterações em questão, houve necessidade de confecção de um novo caixote para que as serpentinas associadas fossem

acopladas. Esse compartimento com dimensão 1240x720x55mm foi forrado com uma lona preta para promover uma maior retenção, pois cores escuras retêm uma quantidade significativa da radiação incidente sobre ela e transforma em calor. Também foi disposto um novo vidro para fechamento completo do componente externo (Figura 8).

Figura 08 - Caixaote forrado com lona e serpentinas associadas.



Fonte: Autoria própria (2024).

O monitoramento da etapa 02 do experimento aconteceu entre os dias 19/05/2024 e 12/06/2024.

3.1.1.2 Sistema embarcado

O sistema embarcado não foi modificado, pois foi validado na etapa anterior por meio dos dados do INMET. Os sensores foram posicionados nos mesmos locais da etapa 01, além disso, não houve mudança no algoritmo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados

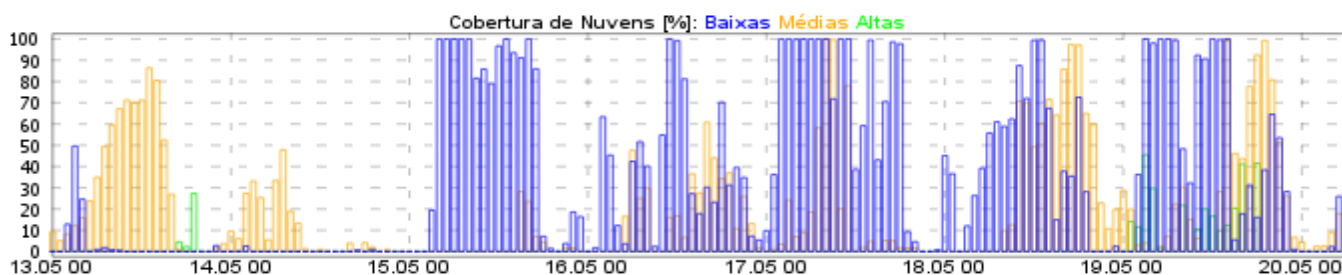
O experimento operou em condições climáticas variadas. Houve oscilação do clima, temperaturas mais baixas do que o observado durante o ano e céu nublado no decorrer de quase todos os dias avaliados, bem como ocorrência de chuva de forma frequente no período monitorado. Esse aspecto pode ser justificado pelo fato dos meses de maio e junho serem enquadrados na estação outono, já transicionando para o inverno.

Nesse contexto, a coleta de dados ocorreu em situações adversas, mas real, já que a oscilação no clima é algo natural, mas para Jequié é mais comum ter período de sol durante todo o ano. Desta forma, a análise da efetividade térmica não ocorreu nas condições ideais de operação para a cidade, que seria no período com maior incidência solar.

4.1.1 Etapa 01

O gráfico (Fig. 08) mostra os registros de nuvens em Jequié – BA nos dias em que a primeira etapa do experimento esteve em funcionamento.

Figura 08 - Cobertura de nuvens em Jequié – BA no período de 13/05/24 a 20/05/2024.



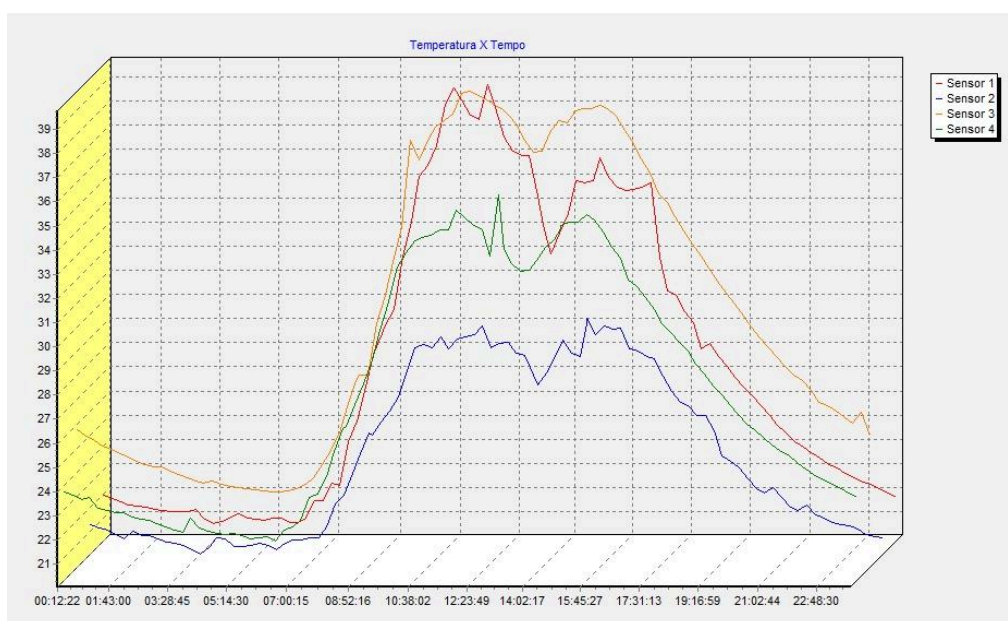
Fonte: INMET, 2024.

Pode-se observar a predominância de céu nublado a partir do dia 15/05/2024. E esse cenário implica diretamente nos resultados obtidos, visto que a baixa incidência solar implica em menores temperaturas.

Os gráficos das Figuras 09, 11 e 12 demonstram as variações de temperatura ao longo dos seguintes dias: 16, 17 e 18/05/24, respectivamente. O sistema contou com o monitoramento de 4 sensores, sendo que: a) sensor 1 representado na cor vermelha, estava posicionado dentro do caixote; b) sensor 2 representado na cor azul estava posicionado na parte externa da estufa, aferindo a temperatura do ambiente; c) sensor 3 representado na cor laranja estava posicionado dentro do reservatório; e por fim, d) sensor 4 representado na cor verde estava posicionado dentro da estufa.

Nota-se que para todos os dias registrados a maior temperatura foi alcançada dentro do reservatório, indicando que a troca térmica foi eficiente, ainda que insuficiente para aquecer a estufa (sensor 4 - verde).

Figura 09 - Dados do dia 16/05/2024.

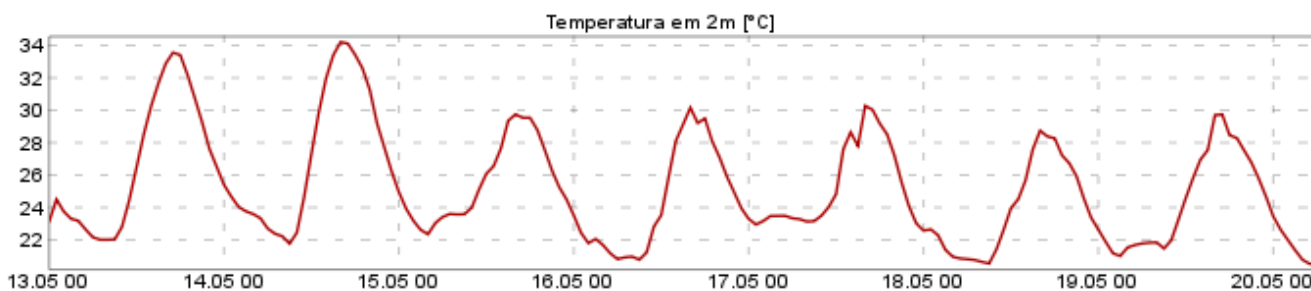


Fonte: Autoria própria (2024).

Nota: a) sensor 1 representado na cor vermelha, estava posicionado dentro do caixote; b) sensor 2 representado na cor azul estava posicionado na parte externa da estufa, aferindo a temperatura do ambiente; c) sensor 3 representado na cor laranja estava posicionado dentro do reservatório; d) sensor 4 representado na cor verde estava posicionado dentro da estufa.

O sensor que registrou as menores temperaturas estava posicionado na parte externa ao sistema, com a função de coletar dados da temperatura ambiente. Ao comparar as informações registradas pelo sensor utilizado no experimento, com os dados de temperatura disponibilizados pelo INMET para cidade de Jequié, foi possível validar este sistema de monitoramento, ratificando a sua confiabilidade.

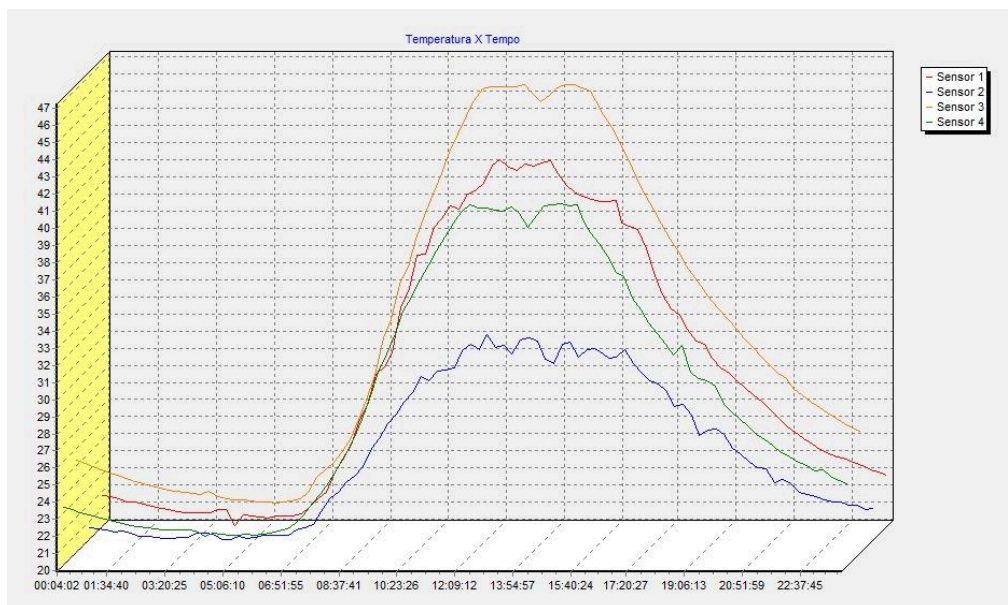
Figura 10 - Temperatura em °C Jequié – BA no período de 13/05/24 a 20/05/2024.



Fonte: INMET (2024).

No dia 16/05/24 a temperatura máxima registrada pelo INMET é de aproximadamente 30 °C, condizente com a temperatura aferida pelo sensor 2 do sistema. O mesmo aconteceu com as temperaturas registradas nos dias 17 e 18/05/2024.

Figura 11 - Dados do dia 17/05/2024.



Fonte: Autoria própria (2024).

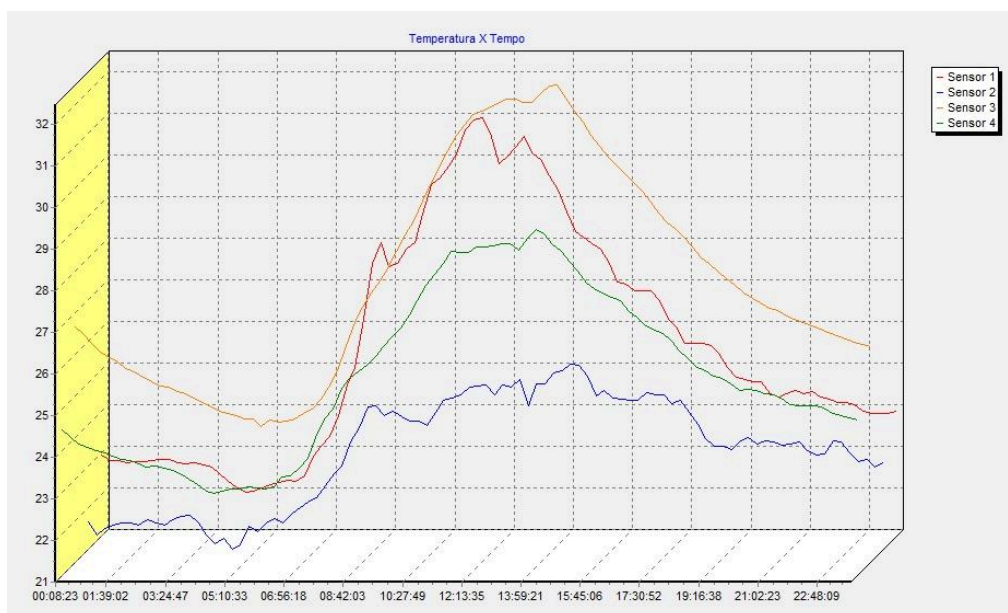
Nota: a) sensor 1 representado na cor vermelha, estava posicionado dentro do caixote; b) sensor 2 representado na cor azul estava posicionado na parte externa da estufa, aferindo a temperatura do ambiente; c) sensor 3 representado na cor laranja estava posicionado dentro do reservatório; d) sensor 4 representado na cor verde estava posicionado dentro da estufa.

Comparando os dados concernentes ao dia 17/05/2024 (Figura 11), com o gráfico de cobertura de nuvens (Figura 08) nota-se que mesmo com a cidade

praticamente coberta na maior parte do dia, as trocas térmicas aconteceram como esperado, alcançando temperaturas satisfatórias para as condições climáticas.

O dia com temperaturas mais baixas durante o monitoramento foi 18/05/2024, como observado no gráfico do respectivo dia (Figura 12). Em função disso, a estufa apresentou um rendimento significativamente inferior, com temperatura máxima registrada internamente em aproximadamente 28 °C. Esses dados corroboram com o apresentado no gráfico de temperatura (Figura 10).

Figura 12 - Dados de temperatura referente ao dia 18/05/2024.



Fonte: Autoria própria (2024).

Nota: a) sensor 1 representado na cor vermelha, estava posicionado dentro do caixote; b) sensor 2 representado na cor azul estava posicionado na parte externa da estufa, aferindo a temperatura do ambiente; c) sensor 3 representado na cor laranja estava posicionado dentro do reservatório; d) sensor 4 representado na cor verde estava posicionado dentro da estufa.

4.1.2 Etapa 02

A Figura 13 demonstra a média de temperaturas aferidas pelos sensores no decorrer do experimento. É possível observar que a temperatura dentro da estufa aumentou consideravelmente quando comparada com as da fase anterior. Na etapa 01 a média máxima conseguida dentro da estufa foi de aproximadamente 34,6 °C, enquanto na segunda etapa, a média máxima ultrapassou os 60 °C, alcançando o valor mínimo determinado pela ANVISA. Com as melhorias realizadas na parte física do experimento, houve melhores resultados, apesar da variabilidade climática e a estação não ser a ideal.

Figura 13 - Média de temperatura aferida pelos sensores entre os dias 19/05 e 12/06/24.

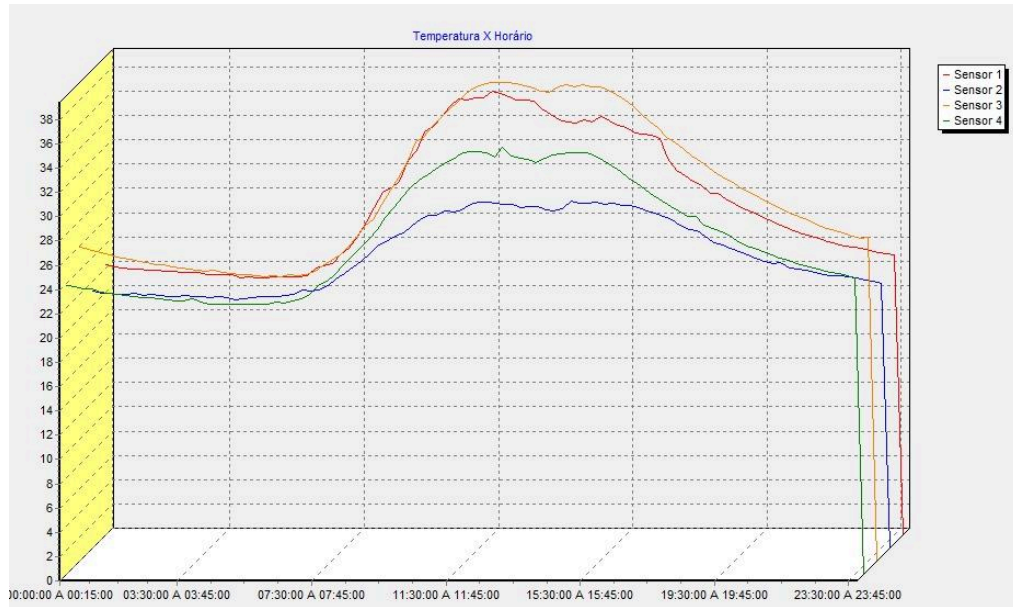


Fonte: Autoria própria (2024)

Nota: a) sensor 1 representado na cor vermelha, estava posicionado dentro do caixote; b) sensor 2 representado na cor azul estava posicionado na parte externa da estufa, aferindo a temperatura do ambiente; c) sensor 3 representado na cor laranja estava posicionado dentro do reservatório; d) sensor 4 representado na cor verde estava posicionado dentro da estufa.

A Figura 14 exibe a média de temperaturas monitorado por horário relativo à etapa 01, assim é possível notar que muito do calor absorvido pelo fluido de trabalho ficou retido no próprio fluido.

Figura 14 - Comparativo geral por horário ao longo dos dias, etapa 01.

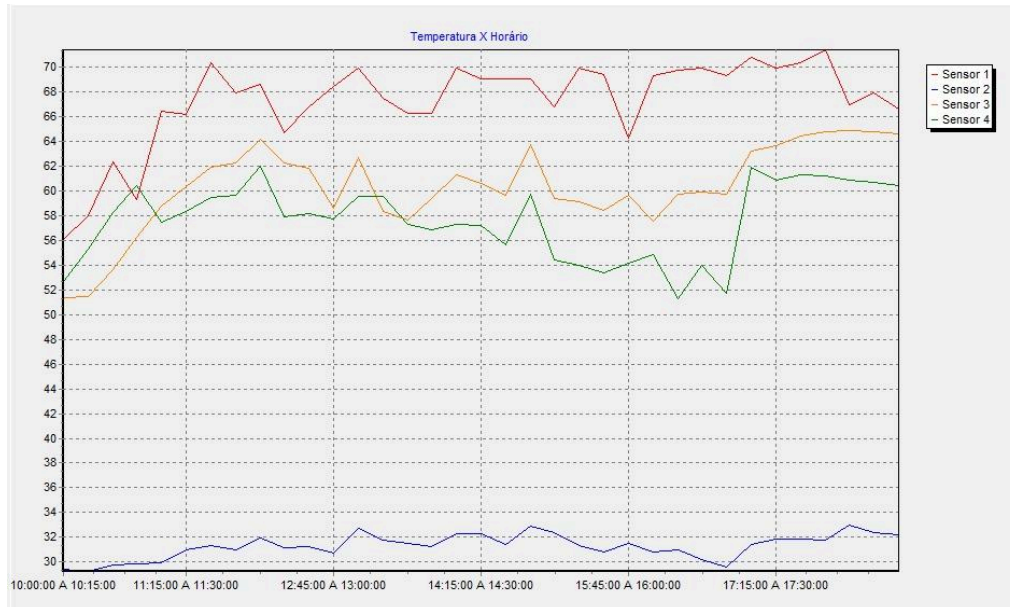


Fonte: Autoria própria (2024)

Nota: a) sensor 1 representado na cor vermelha, estava posicionado dentro do caixote; b) sensor 2 representado na cor azul estava posicionado na parte externa da estufa, aferindo a temperatura do ambiente; c) sensor 3 representado na cor laranja estava posicionado dentro do reservatório; d) sensor 4 representado na cor verde estava posicionado dentro da estufa.

As maiores temperaturas nessa etapa foram registradas dentro do reservatório e houve discrepância entre a temperatura do reservatório e da estufa. Esse achado indica que a maior parte do calor estava retida no fluido, por isso não estava sendo dissipada na estufa como planejado no objetivo do experimento. Esse resultado confirmou a hipótese de que as alterações no protótipo possibilitaram o aperfeiçoamento do rendimento do sistema como esperado, pois permitiram que a maior quantidade de calor fosse removida do fluido e distribuída pela estufa (Figura 15).

Figura 15 - Recorte das médias de temperatura nos horários de pico, etapa 02.



Fonte: Autoria própria (2024)

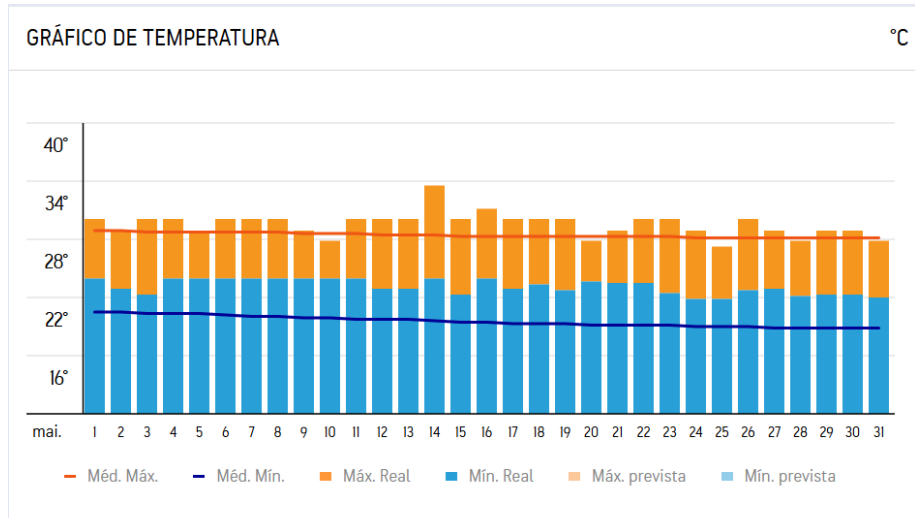
Nota: a) sensor 1 representado na cor vermelha, estava posicionado dentro do caixote; b) sensor 2 representado na cor azul estava posicionado na parte externa da estufa, aferindo a temperatura do ambiente; c) sensor 3 representado na cor laranja estava posicionado dentro do reservatório; d) sensor 4 representado na cor verde estava posicionado dentro da estufa.

Percebe-se que a diferença de temperaturas entre o reservatório e a estufa foi reduzida, apontando que a ventilação forçada implementada dentro da caixa de isopor surtiu o efeito planejado, logo, a quantidade de calor retida no fluido foi menor do que na etapa 01.

Enquanto na etapa 01 a diferença de temperatura entre a estufa e o reservatório chegou a 8 °C nos horários de pico, conforme observado na fig. 11, na etapa 2 essa temperatura foi reduzida para uma variação de aproximadamente 3 °C no mesmo intervalo de tempo.

Segundo dados do INMET, as temperaturas médias máximas nos meses de maio e junho no ano de 2024 foram de aproximadamente 32 °C em maio e 29 °C em junho, temperaturas que validam os dados mensurados pelo sensor no ambiente externo, como demonstrado nos gráficos de autoria própria, elucidados pela cor azul.

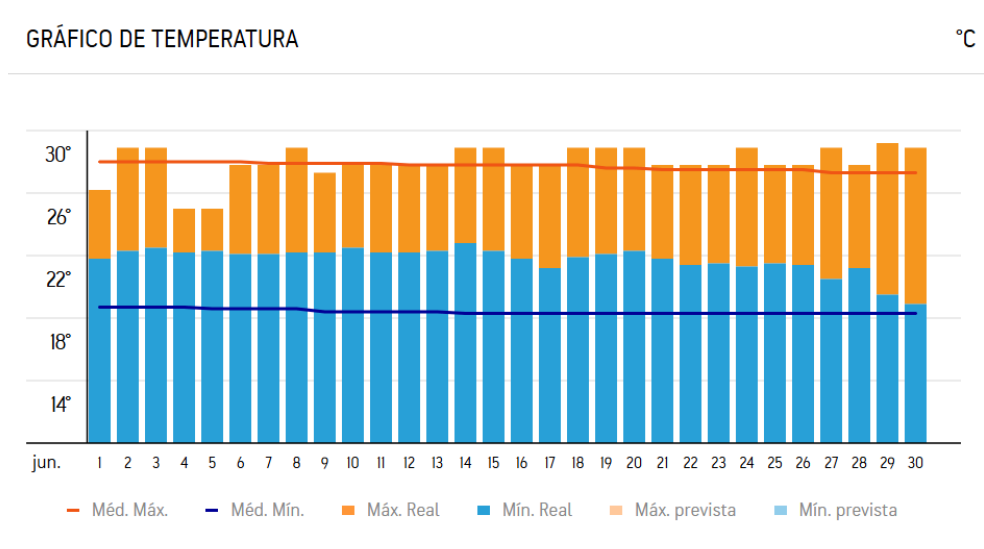
Figura 15 - Temperatura ao longo do mês de maio 2024.



Fonte: AccuWeather, 2024.

A Fig. 16 apresenta a temperatura durante o mês de junho. É notável que o protótipo demonstrou um ótimo desempenho, mantendo a temperatura média na estufa em aproximadamente 58 °C no intervalo de 11h15 às 14h15, apesar das variações externas.

Figura 16 - Temperatura durante o mês de junho 2024.



Fonte: AccuWeather, 2024.

4.2 Discussão

Como observado nos gráficos da etapa 01, a temperatura no interior da estufa não alcançou a temperatura recomendada pela ANVISA. O máximo obtido foi uma temperatura de aproximadamente 39 °C.

Em contrapartida, com a implementação da etapa 02 foi possível uma maior aproximação do valor de referência, inclusive foi alcançada a temperatura determinada pela Resolução da ANVISA (nº 216) nos momentos de pico entre 11h15 e 12h45, que estabelece 60 °C como temperatura mínima para estufas de aquecimento de alimentos, como observado na Figura 15.

Entretanto, apesar de resultados satisfatórios, ainda não foram suficientes para atender a exigência da ANVISA, que “promove a proteção da saúde da população, por intermédio do controle sanitário da produção e consumo de produtos e serviços submetidos à vigilância sanitária”. (ANVISA, 2024)

Desta forma, algumas hipóteses quanto ao fato da temperatura não ter sido alcançada podem ser levantadas, conforme abaixo:

A primeira delas é o fato do trocador de calor externo ser pequeno, promovendo trocas insuficientes, com isso pode não ter aquecido a água até a temperatura máxima possível, que segundo Lima (2020) pode chegar a 90 °C. Outra possibilidade está relacionada à estação do ano em que o experimento foi realizado. O outono é uma estação mais fria, com baixa incidência solar, o que pode ter influenciado os resultados.

Outro fator a ser considerado é o diâmetro das tubulações que foram utilizadas. Diâmetros maiores implicariam numa maior superfície de contato, promovendo maior troca térmica. Não obstante, a dimensão das serpentinas usadas no caixote exposto ao sol pode ter restringido a absorção de calor por radiação, limitando consideravelmente as trocas. Em consequência, a transferência de calor para o fluido de trabalho também é reduzida.

O fluido de trabalho também pode ter influenciado para esse resultado, visto que a água precisa de aproximadamente 4,19 J de energia para aumentar sua temperatura em 1 °C (MENGUAL et al., 2008) e existem fluidos que carecem de menos energia para essa variação a exemplo do Hélio, Hidrogênio, Argônio, Neônio ou Mercúrio, ambos com calor específico menor do que 1 cal/g °C (MENGUAL et al., 2008), mas a utilização destes tornaria o projeto demasiadamente caro, e é

necessário considerar a toxicidade do Mercúrio, um metal pesado danoso a organismos vivos.

Outra variável que pode ter influenciado diz respeito à reutilização de serpentinas em estado de deterioração. A presença de oxidação nas paredes internas e externas da serpentina dificulta a troca térmica, conforme explica Guazzelli (2016) “A corrosão [...] traz consequências como perda de capacidade de troca de calor, redução da vida útil do produto, aumento do consumo energético e quebra de compressores”.

Vale salientar que em trabalhos futuros esse protótipo poderá ser aperfeiçoado a partir dos dados iniciais obtidos. A melhoria desse protótipo tem forte potencial de aplicação comercial, visto que aplica e utiliza energias mais limpas e sustentáveis, com baixo custo de aplicação em comparação com os modelos de estufa convencionais. Outro fator positivo trata-se de manutenção, tendo em vista que o sistema de monitoramento é econômico no que tange ao consumo energético.

5 CONCLUSÃO

As temperaturas monitoradas neste protótipo em alguns momentos atingiram o valor de referência instituído pela Resolução da ANVISA, que consiste em 60 °C. Ajustes possíveis de serem implementados, tais como, aumento da área do trocador de calor, aumento do diâmetro das tubulações usadas no sistema, utilização de serpentinas novas, dentre outras, podem possibilitar melhoria na estabilidade da temperatura de funcionamento da estufa.

O sistema embarcado utilizado para monitoramento da temperatura em diferentes pontos do sistema se mostrou eficiente e efetivo, com base na validação efetuada na fase experimental por meio de comparativo com os dados do INMET. Esse fato foi comprovado ao analisar que os achados dos sensores estão em consonância com os registros do INMET, ocorrência que confirma a eficiência do sistema embarcado e a calibração dos sensores.

O aperfeiçoamento deste protótipo apresenta um grande potencial de comercialização, pois utiliza energias mais limpas e sustentáveis, com custo de construção menor em comparação com os modelos de estufa convencionais. Outro benefício refere-se às despesas com o custeio da manutenção do equipamento, uma vez que o sistema de monitoramento é econômico no consumo energético.

A estufa desenvolvida neste estudo após as melhorias recomendadas tem o potencial de encaminhamento ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) para análise de viabilidade de registro de patente de utilidades, uma vez que o formato e o modelo aplicados neste trabalho não foram encontrados em nenhum estudo associado com outras funcionalidades importantes já mencionadas.

Com o desenvolvimento desta pesquisa, foi possível perceber que há contribuição social, ambiental e econômica, uma vez que a estufa possibilitará a redução dos custos com energia, conservação do meio ambiente, além de ser uma invenção que beneficiará os discentes que terão essa vantagem de manter seu alimento aquecido. Por fim, tem potencial de contribuir com o ODS 13 da ONU e com as metas do Brasil concernente ao Acordo de Paris.

REFERÊNCIAS

BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Introduction to heat transfer**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

CÂMARA MUNICIPAL DE JEQUIÉ. **Dados municipais**. Disponível em: SAI - Dados Municipais - Câmara Municipal de Jequié. Disponível em: <https://camarajeque.ba.gov.br>. Acesso em: junho 2024.

CENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa**. [S.l.]: AMGH Editora, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Atlas da Eficiência Energética Brasil 2021**. Disponível em: <https://epe.gov.br/Publicações>. Acesso em: mar. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética 2030**. Disponível em: <https://epe.gov.br/MATRIZ%202030.pdf>. Acesso em: maio 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia 2050: Relatório Final**. Disponível em: <https://epe.gov.br/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: maio 2024.

FLAMINO, Leandro Gabriel. **Inovação e as revoluções na indústria**. Universidade Federal de Santa Maria. 2024.

GUAZELLI, Caio; NETO, Antonio Faria. **Melhoria de qualidade: um estudo sobre os impactos dos revestimentos na corrosão do alumínio**. Revista Ciências Exatas, v. 22, n. 2, 2016.

IBGE. **Jequié (BA): panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/jequeie/panorama>. Acesso em: maio 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **ODS 7 - Energia acessível e limpa**. Brasília: Ipea, 2024. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods7-energia-acessivel-e-limpa>. Acesso em: maio 2024.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. **O Semiárido Brasileiro**. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/assuntos/o-semiarido-brasileiro>. Acesso em: junho 2024.

LIMA, Ariane Martins Caponi et al. **Estudo da eficiência de uma placa solar plana para aquecimento de água com trocador de calor em espiral**. Gears n' Bricks, v. 1, n. 1, 2020.

MARQUES, G. R. **Desenvolvimento de um algoritmo computacional para dimensionamento de trocadores de calor**. Universidade Federal de Uberlândia, 2022.

MARTINS, Fernando Ramos et al. **Atlas brasileiro de energia solar 2**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. 80 p.: il. (EBOOK).

MARTÍNEZ, Francisco López. **Impacto visual de los parques eólicos, ¿un aspecto negativo?** PH: Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, v. 31, n. 108, p. 120-121, 2023.

MENGUAL, J. A. I.; ABELLÁN, J.; PÉREZ, R. P. V.; GAMUZ, J. A. G. **Conductividad térmica de una barra de cobre: estudio experimental del transitorio**. Latin-American Journal of Physics Education, Instituto Politécnico Nacional, v. 2, n. 3, p. 19, 2008.

PINHEIRO, Ítalo Maia Brasil. **Viabilidade de utilização de um forno solar tipo caixa para assamento de alimentos**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2022.

SILVA, Rodrigo Andrade. **A relevância das fontes renováveis de energia no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Faculdade Pitágoras. 2022.

SILVA, José Weverton Oliveira. **Viabilidade de utilização de um forno solar tipo caixa para produzir o assamento de alimentos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2023.

SOUZA, Vinicius Augusto Belizario de. **Estudo de um forno solar de baixo custo para cocção de alimentos**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2022.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações; sistemas isolados e conectados à rede**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.

APÊNDICE A - Código de programação

```
#include <virtuabotixRTC.h>
#include <string.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Define os pinos de ligação CS (Módulo micro SD) e LDR
int pinoCS = 53;

virtuabotixRTC myRTC(6, 7, 8);

int vSensor[4] = {9, 10, 11, 12} ;
float vTemp[4] = {0, 0, 0, 0};
String retorno;
int cont = 0;
bool gravei = false;
OneWire oneWire[4];
DallasTemperature sensors[4];

int tempoEmMinutos = 15;
long ultimoTempo = 0;

float medirTemperatura(int porta);
void relógio ();
void gravarNoSD(String msg);

void setup() {
    pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
    for (int i=0; i < 4; i++){
        oneWire[i] = OneWire(vSensor[i]);
        sensors[i] = DallasTemperature(&oneWire[i]);
        sensors[i].begin();
    }
    // myRTC.setDS1302Time(30, 59, 11, 3, 19, 5, 2024);
    Serial.begin(9600);
    // delay(1000);
    if (!SD.begin(pinoCS)){
        Serial.println("Falha ao iniciar o cartão micro SD");
        while (true){
            digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
            delay(1000);
            digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
        }
    }
}
```

```

        delay(1000);
    }

}else{
    Serial.println("Cartão micro SD inicializado com sucesso");
    for(int i = 0; i < 3; i++){
        digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
        delay(300);
        digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
        delay(300);
    }
}

digitalWrite(9, HIGH); // apenas para teste
}

void loop() {

    relógio();
    delay(100);
}

float medirTemperatura(int porta){
    float temp = 0;
    for ( int i = 0; i < 10; i++){
        //temp += (analogRead(vSensor[porta]) * (5.0 / 1023.0) * 100);
        sensors[porta].requestTemperatures();
        temp += sensors[porta].getTempCByIndex(0);
        delay(300);
    }

    return temp / 10;
}

void gravarNoSD(String msg){
    myRTC.updateTime();

    String nomeArquivo = "" ;
    if (myRTC.dayofmonth < 10)
        nomeArquivo.concat("0");
    nomeArquivo.concat(myRTC.dayofmonth);
    if (myRTC.dayofmonth < 10)
        nomeArquivo.concat("0");
    nomeArquivo.concat(myRTC.month);
    nomeArquivo.concat(myRTC.year);
    nomeArquivo.concat(".txt");
    Serial.println(nomeArquivo);
    File data = SD.open(nomeArquivo, FILE_WRITE);
}

```

```

if(data){
    data.print(msg);
    data.close();
    cont = 0;
    gravei = true;
}else{
    if (cont < 3 && !gravei){
        for (int i = 0; i < 60; i++){
            digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
            delay(1000);
            digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
            delay(1000);
        }
        cont++;
        SD.begin(pinoCS);
        gravarNoSD(msg);
    }else
        cont = 0;
}

}

void relógio (){
    /*
    myRTC.dayofmonth
    myRTC.month
    myRTC.year
    myRTC.hours
    myRTC.minutes
    myRTC.seconds
    myRTC.dayofweek
    */
    gravei = false;
    String hora = "";
    String data = "";
    long tempo = millis();
    /* Serial.print(tempo);
    Serial.print(" Ultimo tempo: " );
    Serial.print(ultimoTempo);
    Serial.print(" Tempo em Minutos: ");
    Serial.println(tempoEmMinutos * 60000);
    */
    if((ultimoTempo == 0 ) || (tempo - ultimoTempo >= tempoEmMinutos
* 60000)){
        myRTC.updateTime();
        data.concat(myRTC.dayofmonth); // + '/' + myRTC.month + "/" +
myRTC.year + ";" + myRTC.hours + ":" + myRTC.minutes + ":" +
myRTC.seconds + ";";
        data.concat("/");
    }
}

```

```

data.concat(myRTC.month);
data.concat("/");
data.concat(myRTC.year );
hora.concat(myRTC.hours);
hora.concat(":");
hora.concat(myRTC.minutes );
hora.concat(":");
hora.concat(myRTC.seconds);
retorno = retorno + data + ";" + hora + ";";

// fazer aqui a medicao dos sensores
for (int i = 0; i < 4; i++){
    vTemp[i] = medirTemperatura(i);
    retorno = retorno + vTemp[i];
    if (i < 3)
        retorno = retorno + ";";
    else
        retorno = retorno + "\n";
}
ultimoTempo = tempo;
// retorno = myRTC.dayofmonth + "/" + myRTC.month + "/" +
myRTC.year + ";" + myRTC.hours + ":" + myRTC.minutes + ":" +
myRTC.seconds;
Serial.print(retorno);
gravarNoSD(retorno);
retorno = "";

}

}

```