



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

ARLINDO HERNANY RAMOS DELGADO

**Avaliação de um Protótipo de Coletor Solar Plano: Estudo da
Temperatura com o Uso de Arduíno**

Fortaleza 2022

ARLINDO HERNANY RAMOS DELGADO

Avaliação de um Protótipo de Coletor Solar Plano: Estudo da Temperatura com o Uso de Arduíno

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, com requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro em Engenharia de Energias Renováveis.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida

Fortaleza 2022

ARLINDO HERNANY RAMOS DELGADO

Avaliação de um Protótipo de Coletor Solar Plano: Estudo da Temperatura com o Uso de Arduíno

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias Renováveis do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, com requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro em Engenharia de Energias Renováveis.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida

Aprovada em: 18 de Fevereiro de 2022

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Fabíola Leite Almeida (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Ilson Da Silva Junior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Vera Ramos e Arlindo Delgado, por todo o apoio, amor e confiança, que sempre acreditaram na minha capacidade e incentivaram meus estudos.

À Universidade Federal do Ceará - UFC, pelo suporte e ensino de qualidade durante todo o curso.

À minha orientadora Ana Fabíola Leite Almeida, o qual me guiou em todo meu caminho com sabedoria e paciência.

Ao Victor Augusto e ao Paulo Hebert, pelo constante auxílio, esclarecimento de dúvidas e troca de conhecimentos.

Aos amigos, que tornaram mais doce a minha jornada.

À Deus, por guiar e abençoar meus caminhos.

RESUMO

A crescente demanda de energia no planeta e a iminente escassez de energias não renováveis, torna a utilização da energia solar e outras energias renováveis cada vez mais importante. O sol é uma fonte de energia que tem sido explorada cada vez mais para o aquecimento de fluidos tais como água e ar. A tecnologia que utiliza o coletor solar para aquecimento de fluidos já é bem estudada e difundida na comunidade científica, sendo que muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos nesta área. Neste trabalho foi construído um protótipo de coletor solar plano direcionado para o uso como aquecedor de ar com o objetivo de avaliar e buscar a melhor configuração para o ganho de temperatura. Também, foi feita a instrumentação para o monitoramento de temperatura a fim de procurar as melhores condições de funcionamento do coletor de aquecimento de ar. Para isto foi utilizado ferramentas de aquisição acessível, hardwares e softwares de baixo custo, como o sensor DS18B2, Microsoft Excel, e Arduino. As temperaturas de saída do coletor solar foram analisadas, obtendo-se picos de temperatura na saída com valor de até 53,75° °C, no interior da caixa do coletor. Com os resultados obtidos e analisados foi possível concluir que o melhor desempenho para o coletor solar desenvolvido foi o revestimento interno preto e fosco, com a placa de vidro como cobertura e com a mínima funcionalidade do sistema de ventilação forçada controlando o fluxo de ar aquecido, atingindo ganho de temperatura de 95,6%.

Palavras-Chave: energia solar. coletor solar térmico. Instrumentação. hardwares e softwares.

ABSTRAT

The growing demand for energy on the planet and the imminent shortage of non-renewable energies makes the use of solar energy and other renewable energies increasingly important. The sun is an energy source that has been increasingly exploited for heating fluids such as water and air. The technology that uses the solar collector for heating fluids is already well studied and disseminated in the scientific community, and many works have been developed in this area. In this work, a prototype of solar collector was built for use as an air heater in order to evaluate and seek the best configuration for temperature gain. Also, instrumentation was made for temperature monitoring in order to look for the best working conditions of the air heating collector. The main objective of the work was to perform a reliable instrumentation for a solar thermal collector (air heater). Were used tools for easy purchase, low cost and easy access hardware and software such as the DS18B2 sensor, Microsoft Excel, and Arduino. The outlet temperatures of the solar collector were analyzed, obtaining temperature peaks at the outlet with a value of up to 53.75°C , inside the collector box. With the results obtained and analyzed, it was possible to conclude that the best performance for the solar collector developed was the black and matte internal coating, with the glass plate as a cover and with the minimum functionality of the forced ventilation system controlling the flow of heated air, reaching a temperature gain of 95.6%.

Keywords: solar energy. solar thermal collector. Instrumentation. hardware and software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Total diário da irradiação global horizontal – Média Anual.....	14
Figura 2 - Vista ilustrativa de um coletor plano.	16
Figura 3 - Transmitância do vidro em função do comprimento de onda	17
Figura 4 – Imagem ilustrativa de um Sistema de aquisição de dados generalizado.....	19
Figura 5 -Sensor de temperatura DS18B20 do tipo sonda, a prova d'água	20
Figura 6 – Plataforma Arduino Uno R3	21
Figura 7 - Caixa do Coletor	22
Figura 8 - Coletor solar com as hastes e o isolante térmico	23
Figura 9 – Coletor solar térmico com revestimento escuro e com Placa de vidro	24
Figura 10 – Sistema forçado de ar	25
Figura 11 - Sistema de leitura de temperatura.....	25

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Dados da temperatura do teste 01, realizado no dia 07/02/2022.	27
Gráfico 2 - Dados de radiação e temperaturas ambiente, INMET 07/02/2022	28
Gráfico 3 - Dados da temperatura do teste 02, realizado no dia 08/02/2022.	29
Gráfico 4 - Dados de radiação e temperaturas ambiente, INMET 08/02/2022	29
Gráfico 5 - Dados da temperatura do teste 03, realizado no dia 09/02/2022	30
Gráfico 6 - Dados de radiação e temperaturas ambiente, INMET 09/02/2022	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivo geral.....	11
2.2	Objetivos específicos.....	11
3	REVISÃO LITERARIA – ESTADO DA ARTE.....	12
3.1	Energia solar.....	12
3.2	Radiação solar	12
3.2.1	Radiação solar no brasil	13
3.3	Coletor solar	13
3.3.1	Coletor de placa plana	14
3.3.2	Coletores Planos a Ar.....	18
3.4	Sistema de aquisição de dados	19
3.4.1	Sensores.....	20
3.5	Arduíno	21
4	METODOLOGIA	22
4.1	Construção do Coletor Solar Térmico.....	22
4.2	Montagem do sistema forçado de entrada e saída de ar	24
4.3	Instrumentação para monitoramento das variáveis de processo.....	25
4.4	Ensaios	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
6	CONCLUSÃO	32
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

Uma das fontes de energia mais abundante e duradoura, é o sol, além de ser silenciosa e não poluente, é responsável pela existência de todas as formas de vida no planeta Terra. Todos os dias uma grande quantidade de energia é transmitida pelo sol, através de ondas eletromagnéticas. Posteriormente, essa energia pode ser utilizada para diversas aplicações, substituindo outras formas convencionais de energia que vêm sendo utilizadas há décadas.

Além disso, tal energia tem um grande diferencial por ser de baixo custo e de acordo com Dutra (2014), uma vez que se tenham os recursos necessários para converter essa energia em energia utilizável, o combustível é livre e nunca estará sujeito a altos e baixos no mercado. A energia solar, que é obtida diretamente do sol, usada como fonte energética de tecnologias se utilizam de dispositivos capazes de convertê-la diretamente, no caso, em energia térmica, através de coletores planos e concentradores (TOLMASQUIM, 2003).

O estudo do coletor solar térmico usado para aquecimento de ar pode ter aplicação em diversas áreas. No Brasil essa aplicação visa principalmente a secagem de produtos como alimentos, biomassa, entre outros, o que é de grande importância, tendo em vista que se apresenta como uma alternativa energética de enorme potencial no país.

Além disso, o Brasil possui um potencial energético solar que pode ser explorado. Há boa uniformidade na média anual de irradiação sendo relativamente alta e o desenvolvimento de um coletor solar de baixo custo pode ser realizado por pequenos produtores rurais na desidratação de alimentos, gerando uma fonte de renda, substituindo a forma convencional de secagem de alimentos, exposição direta ao sol e ao ar livre. Embora seja um método de baixo custo, por não necessitar de nenhuma estrutura, segundo Esper e Mühlbauer, podem ocorrer perdas consideráveis durante a secagem devido ao ataque de roedores, pássaros, insetos e microrganismos, além da perda significativa da

qualidade em função da falta de controle do processo, como secagem em excesso ou insuficiente, contaminação por insetos e microrganismos, assim como a descoloração pela radiação ultravioleta.

Uma alternativa à secagem convencional, exposta ao ar livre, é a secagem solar, que consiste em um secador solar que coleta a energia solar por meio de um coletor solar térmico e aquece o ar que, por sua vez, é utilizado na secagem. Esse tipo de secagem, em relação à secagem ao sol, reduz as perdas, aumenta a qualidade e reduz o tempo de secagem.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da temperatura de um protótipo de coletor solar plano direcionado para o uso como aquecedor de ar, com instrumentação Arduino, buscando melhor configuração para ganho de temperatura.

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar a meta proposta no objetivo geral, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- Escolha dos materiais e construção do coletor solar plano;
- Instalação de um sistema forçado de ar;
- Instalação de sensores de temperatura;
- Instrumentação de um componente Arduino;
- Monitoramento e análise do ganho de temperatura resultante das variações das condições do coletor.

3 REVISÃO LITERARIA – ESTADO DA ARTE

3.1 Energia solar

Quase todas as fontes de energia - hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos - são formas indiretas de energia solar, como por exemplo, a energia eólica, a qual os ventos, ativos da energia, são gerados devido à circulação atmosférica provocada pelo aquecimento desigual da atmosfera (Romani, 1985).

Segundo a ANEEL (2005), o aproveitamento da energia solar pode ser realizado diretamente para iluminação, aquecimento de fluidos e ambientes ou ainda para geração de potência mecânica ou elétrica, como fonte de energia térmica. A energia solar pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica por meio de efeitos sobre materiais, dentre os quais o termoelétrico e fotovoltaico.

De acordo com Taborda (2017), a energia solar tornou-se amplamente utilizada na produção direta de eletricidade e também para aplicações térmicas. Ou seja, o aproveitamento da energia solar pode se dividir em duas formas: a passiva ou a ativa. Na forma passiva, a penetração da radiação solar em aplicações possibilita o aproveitamento do calor, para o aquecimento, além da iluminação natural. Na forma ativa, se caracteriza pela existência de um processo de transformação, onde a energia solar é convertida em energia elétrica ou térmica.

A energia solar térmica é uma forma de utilização direta da energia solar. Para uma melhor eficiência de sua utilização é necessário o uso de coletores solares, os quais captam e, em alguns casos, intensificam os raios solares (TABORDA, 2017).

3.2 Radiação solar

A radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta, tanto como fonte de calor quanto fonte de luz (LAMBERTS et. al. 1997).

A radiação solar é energia eletromagnética, de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera. De acordo com Pereira et al. (2006, p.14), “ao atravessar a atmosfera, a radiação é atenuada por processos físicos de espalhamento e absorção com os constituintes atmosféricos e a superfície do planeta”.

3.2.1 Radiação solar Brasil

O Brasil, por sua localização e extensão territorial, recebe energia solar da ordem de 1013 MWh anuais, o que corresponde a cerca de 50 mil vezes o seu consumo anual de eletricidade, tornando a energia solar promissora para suprir grande parte da demanda da matriz energética no país (OLIVEIRA; ROCHA; MARTINS, 2015).

Para obter estimativas da radiação solar incidente na superfície foi desenvolvido um modelo físico, o modelo BRASIL–SR, nele é feita uma combinação de dados de informações climatológicas e parâmetros determinados a partir de imagens de satélite na solução da Equação de transferência radiativa. Foram considerados fatores climatológicos como: temperatura e visibilidade, albedo de superfície, umidade relativa do ar, altitude, entre outros (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017).

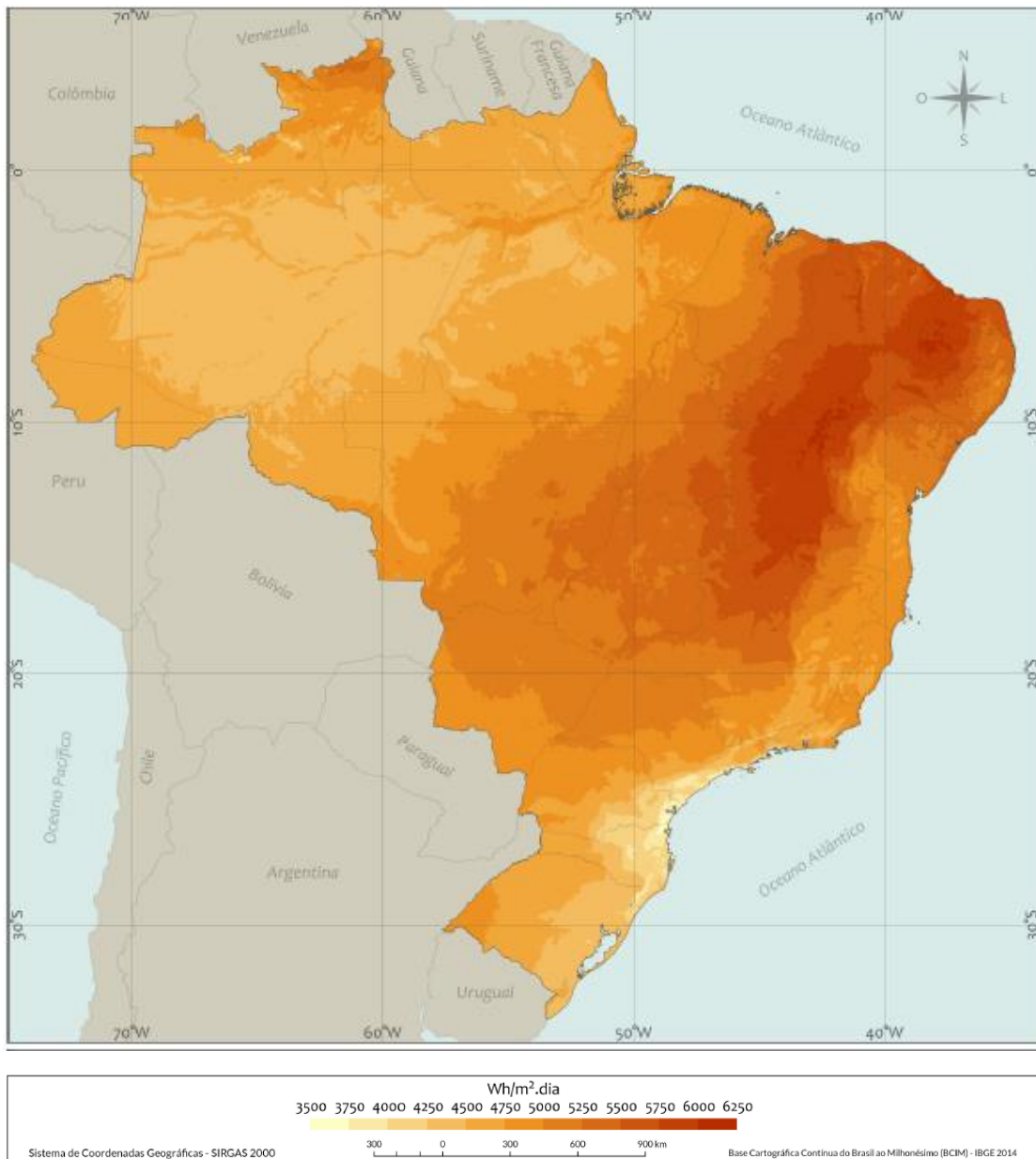
O modelo foi utilizado para mapear o fluxo de radiação solar no Brasil disponível no Atlas Brasileiro de Energia Solar. Os mapas apresentam os valores médios das estimativas do total diário de irradiação solar. Há uma biblioteca de dados confiáveis de todo o território nacional com valores sazonais para radiação horizontal, radiação em plano inclinado e radiação difusa. A média de irradiação solar total diária estimada durante um ano no Brasil está representada na Figura 1.

3.3 Coletor solar

Coletor de energia solar é um tipo especial de trocador de calor que transforma energia solar radiativa em energia térmica. É um dispositivo que absorve a radiação solar, converte-a em calor, e transfere esse calor por um fluido (geralmente ar, água ou óleo) ao acumulador. A energia solar coletada é transportada do fluido circulante diretamente para o espaço de condicionamento ou um tanque de armazenamento de energia térmica, a partir do qual pode ser retirada para o uso a qualquer momento (KALOGIROU, 2004).

Ainda de acordo com Kalogirou (2004), existem basicamente dois tipos de coletores solares: os sem concentração e os com concentração. Os coletores sem concentração, chamados coletores planos, tem a mesma área para interceptar e para absorver radiação solar, enquanto um coletor solar de concentração geralmente tem superfície côncava de reflexão para interceptar e concentrar a radiação do sol para um feixe menor de área de recepção, aumentando assim o fluxo de radiação. Nesta revisão serão apresentados somente os coletores sem concentração (coletores planos).

Figura 1 - Total diário da irradiação global horizontal – Média Anual



Fonte: Adaptado Atlas Brasileiro de Energia solar, 2017.

3.3.1 Coletor de placa plana

Ao longo do tempo, têm-se usado diversas variedades de formas, como como novos materiais para a construção de coletores planos. Eles vêm sendo usados para o aquecimento de fluidos, como água ou ar. Apesar dos diversos efeitos sobre o coletor, como a corrosão, alcalinidade ou solidez do fluido de transferência de calor, efeitos da radiação ultravioleta do sol, congelamento da água, acúmulo de poeira ou umidade sobre o vidro ou a quebra do vidro, devido a queda de granizo, vandalismo, entre outras, ele

deve ter uma vida longa e eficaz. Entretanto, de acordo com Kalogirou (2004), essas causas podem ser minimizadas com o uso de vidro temperado.

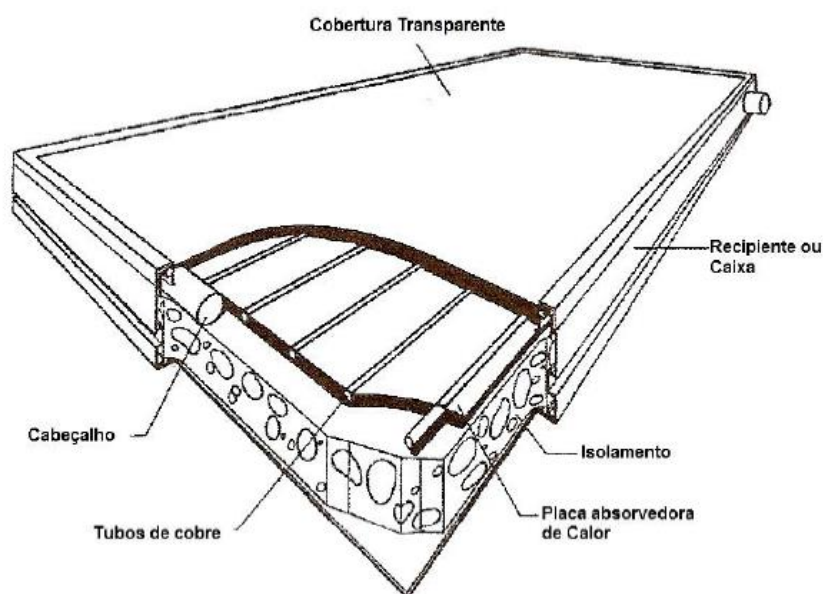
Quando a radiação solar passa através de uma superfície transparente, a superfície absorvedora escura absorve a energia solar incidente e tem sua temperatura aumentada. Já a superfície de vidro, acima da anterior, reduz as perdas por convecção e radiação para a atmosfera, além de formar um canal condutor para o fluido de trabalho.

Coletores planos devem ser orientados diretamente para o equador, voltados para o sul no hemisfério norte e para o norte no hemisfério sul. O ótimo ângulo de inclinação é igual a latitude do local, com variação do ângulo de mais ou menos 10-15°, dependendo da aplicação (TABORDA,2071)

Segundo Kalogirou (2004), um coletor plano consiste geralmente dos seguintes componentes, como ilustrados na figura 2:

- **Cobertura Transparente:** uma ou mais camadas de vidro ou outro material que transmite radiação e evita perdas por convecção.
- **Tubos, barbatanas ou passagens:** para conduzir ou direcionar o fluido de transferência de calor da entrada à saída.
- **Placa Absorvedora de Calor:** planas, onduladas ou com ranhuras, para encaixar os tubos, barbatanas ou passagens. Os tubos também podem ser integrados à placa absorvedora.
- **Cabeçalhos:** para admitir e descarregar o fluido.
- **Isolamento:** para minimizar a perda de calor no fundo e nas laterais do coletor.
- **Recipiente ou caixa:** para reunir os componentes acima mencionados e mantê-los livre de poeira, umidade, etc.

Figura 2 - Vista ilustrativa de um coletor plano.



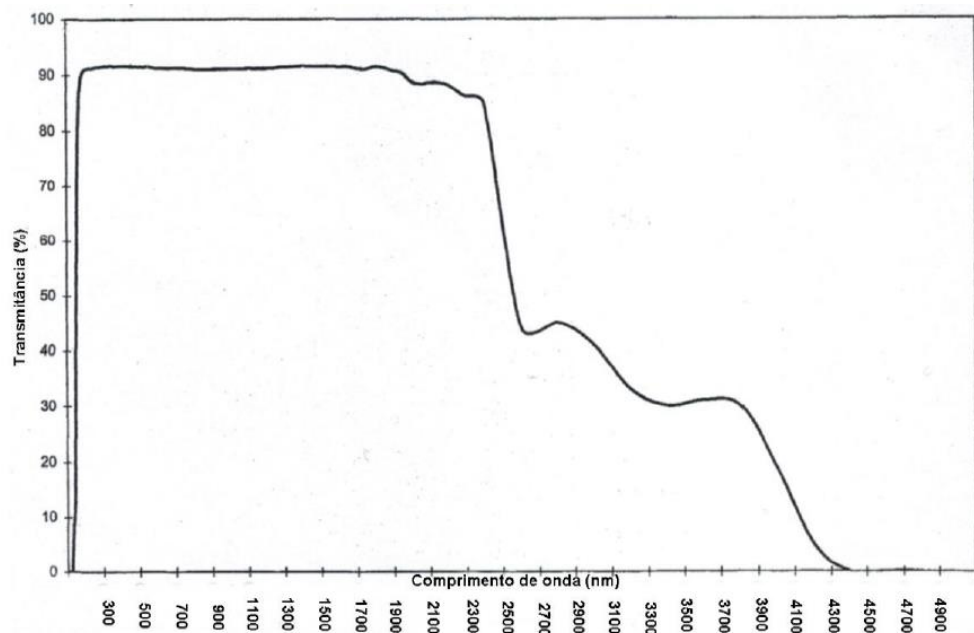
Fonte: adaptado de Kalogirou (2004).

3.3.1.1 Cobertura Transparente

O propósito de se usar uma cobertura de vidro transparente é transmitir comprimentos de ondas curtas da radiação solar, porém bloquear comprimentos de onda longos irradiados do absorvedor plano, além de reduzir a perda por convecção no topo do absorvedor plano. Vidro é o material mais usado na construção da cobertura transparente, pois transmitem até 90% das ondas curtas de radiação solar (KALOGIROU, 2004). A figura 3 mostra a transmitância do vidro em função do comprimento de onda.

Plásticos transparentes bem como policarbonatos e acrílicos também são usados como cobertura para os coletores planos. A principal desvantagem de plásticos é que possuem alta transmitância em ondas longas, portanto, eles não são usados como boas coberturas para coletores. Outra desvantagem é a deterioração devido ao longo período de tempo exposto a radiação ultravioleta. A grande vantagem fica por conta de sua alta resistência a impactos. Embora vidro possa quebrar facilmente, essa desvantagem pode ser minimizada pelo uso de vidro temperado. A fim de minimizar a perda de calor pelo topo do coletor, mais de um vidro pode ser usado. Entretanto com o aumento do número de coberturas de vidro, a transmitância sofre um decréscimo (GOSWAMI, et al., 2006).

Figura 3 - Transmitância do vidro em função do comprimento de onda



Fonte: Adaptado de Goswami et al. (2006)

3.3.1.2 Absorvedores de calor

A placa coletora deve absorver o máximo possível da radiação que passa através do vidro, devendo perder o mínimo de calor possível para cima, para a atmosfera, e para baixo, para o fundo da caixa.

Um coletor solar eficiente deve absorver a radiação solar incidente, convertê-la em energia térmica e levar essa energia ao meio de transferência de calor com mínimas perdas a cada etapa. É possível usar vários princípios de projeto e mecanismos físicos para criar uma superfície seletiva de absorção solar.

Os materiais mais utilizados para as placas coletoras são o cobre, o alumínio e o aço inoxidável. Extrusões de plástico resistentes à Ultravioleta são utilizadas para aplicações a baixa temperatura (KALOUGIROU, 2004).

3.3.2 Coletores Planos a Ar

Tal como os coletores a água, os coletores planos a ar compreendem:

- Absorvedor;
- Cobertura transparente, que realiza o efeito estufa e
- Caixotão isolante, que protege o conjunto e o torna estanque.

Segundo Cabirol e Roux (1984), a diferença essencial reside na concepção do absorvedor, que deve transmitir o calor ao ar e não à água. Os coeficientes de troca do absorvedor com a água atingem facilmente 2000 W/m^2 , assim, para transmitir 800 W/m^2 (que é o máximo), a diferença de temperatura entre o absorvedor e a água deve ser de $0,4^\circ\text{C}$. Para o ar, ao contrário, os coeficientes de troca são dificilmente superiores a 30 W/m^2 , considerando as velocidades usadas nos sistemas de aquecimento a ar.

Para transmitir 800 W/m^2 , o absorvedor deve estar a 27°C acima da temperatura do ar a aquecer. Nestas condições, o ar estando a 25°C , o absorvedor está a 52°C , o que resulta em perdas grandes e maus rendimentos de captação (CABIROL E ROUX, 1984).

Para reduzir-se esta diferença de temperatura, deve-se aumentar a superfície de troca do absorvedor para 4m^2 ou 5m^2 de envidraçamento para diferenças aceitáveis de 4°C a 5°C (CABIROL E ROUX, 1984).

Partindo destas observações, distinguem-se dois tipos de absorvedores: os absorvedores em metal em várias camadas e os absorvedores de lâminas.

Observa-se que, nos sistemas que permitem a circulação do ar contra o vidro, esta passagem renovada provoca, a longo prazo, um acúmulo de sujeira na face interna e, portanto, uma perda de rendimento. É preciso prever a desmontagem regular da cobertura transparente para se fazer a limpeza.

3.4 Sistema de aquisição de dados

A National Instruments (2001), define a Aquisição de Dados (DAQ), do ponto de vista eletrônico, como processos utilizados para coletar informações a fim de documentar ou analisar um fenômeno. Contudo, é possível definir, de forma mais simples, como sendo o processo de medir informações do mundo real. Um sistema DAQ é formado por sensores, condicionadores de sinais, hardware de aquisição e medição de dados e um computador com software acessível. Esse sistema é capaz de transformar a energia contida no fenômeno medido em energia manipulável por circuitos eletrônicos.

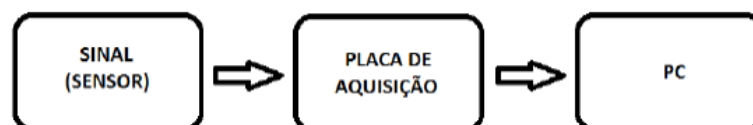
Como pode ser observado na figura 4, um sistema de aquisição é composto por uma série de elementos. Nesta figura, pode-se visualizar um sistema de aquisição generalizado. Este sistema é estruturado através de elementos de hardware, mas também é necessário elementos de software para estabelecer certas funcionalidades para realizar uma operação correta (NAVARRO, 2012).

De acordo com Navarro (2012) o primeiro elemento de um sistema de aquisição de dados é conhecido como transdutor ou sensor, pois este converte energia física em outro tipo de energia. A principal função dele é medir a magnitude de interesse onde neste caso a temperatura gera uma energia térmica que é convertida em energia elétrica. Ele ainda cita que a quantidade dessa energia convertida para o sensor geralmente é muito pequena, e que finalmente o sinal de saída deve ser condicionado para adapta-lo às seguintes fases do processo.

Dutra (2014) fala que o segundo elemento de um sistema de aquisição é a plataforma de módulo Arduíno com sua estrutura de pinos analógicos e digitais, o qual pode receber a informação a partir de um sensor ou de outro dispositivo externo.

O último elemento do sistema de aquisição de dados é o computador, segundo Navarro (2012), o qual processa os dados recebidos do Arduíno conectado a este por meio de uma comunicação serial.

Figura 4 – Imagem ilustrativa de um Sistema de aquisição de dados generalizado



Fonte: Adaptado de Navarro (2012)

3.4.1 Sensores

3.4.1.1 Sensores de temperatura

Sensores de temperatura são dispositivos de medições que detetam a temperatura a partir de uma característica física correspondente dos equipamentos, como, por exemplo, uma resistência elétrica, um campo eletromagnético ou radiação térmica, sendo que a maneira que esses sensores de temperatura funcionam, dependem da propriedade física que o mesmo é constituído.

Neste tópico é dada atenção especial ao sensor utilizado no trabalho, este sensor é o DS18B20 prova d'água do tipo sonda. O DS18B20 é um sensor digital de temperatura com características interessantes para uso com o Arduíno, que são o baixo custo e a facilidade de uso. (REIS, 2014). Esse sensor pode ser utilizado em diversas aplicações como: medição de temperatura em aquários, em áreas internas ou externas à residência, sistemas de aquecimento de água, etc.

De acordo com Reis (2014) a principais características deste sensor são:

- Alimentação DC entre 3.0V e 5.5V;
- Faixa de medição de temperatura entre -55°C e +125°C;
- Não necessita de componentes externos;
- Resolução ajustável entre 9 e 12 bits;
- A prova de água, umidade e ferrugem;
- Utiliza o Protocolo 1-Wire para leitura;
- Cada sensor tem um endereço fixo.

O sensor DS18B20 pode ser visualizado na figura 5.

Figura 5 -Sensor de temperatura DS18B20 do tipo sonda, a prova d'água



Fonte: Autor (2021)

3.5 Arduíno

O Arduino é um projeto de código aberto tanto em software como em hardware. Voltado para prototipagem eletrônica, tem como principais características a fácil utilização e flexibilidade. Foi desenvolvido em 2005 por Massimo Banzi (e outros colaboradores), na Itália, para auxiliar estudantes de design e artistas no aprendizado de eletrônica, tendo como ponto forte o baixo custo para que os estudantes pudessem ter fácil acesso a uma plataforma que futuramente viria a ser conhecida internacionalmente e utilizada em milhares de projetos em diversas áreas.

Neste trabalho foi utilizado o Arduino Uno R3, figura 6. O Uno R3 é chamado de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software. A placa é capaz de interagir com o software e hardware de forma direta, possibilitando a integração com diversos atuadores, sensores e demais eletrônicos.

Especificações do Arduino Uno R3:

- Microcontrolador: ATmega328p;
- Tensão de operação: 5VDC;
- Tensão de alimentação recomendada (externa): 7 - 12VDC;
- Limite de tensão de alimentação (externa): 6 - 20VDC;
- Portas digitais (I/O): 14 (das quais 6 oferecem PWM);
- Entradas analógicas: 6;
- Corrente DC por porta digital (I/O): 40mA;
- Corrente DC por entrada analógica: 50mA;
- Memória Flash: 32kb (ATmega328p) dos quais 0,5Kb são utilizados pelo carregador de inicialização;

Figura 6 – Plataforma Arduíno Uno R3



Fonte: Autor (2021)

4 METODOLOGIA

4.1 Construção do Coletor Solar Térmico

A caixa foi construída de madeira prensada com dimensões internas de 100 centímetros de comprimento, 50 centímetros de largura de 20 centímetros de altura. Em uma das extremidades foram abertos dois orifícios para entrada do ar ambiente e, no lado oposto, uma abertura para a saída do ar aquecido. A estrutura está representada na figura (7).

Figura 7 - Caixa do Coletor



Fonte: Autor (2022)

Duas bases foram colocadas no orifício de saída para melhor direcionamento do fluxo de ar aquecido. Toda a superfície interna do coletor, fundo e laterais, foi revestida com uma manta aluminizada auto adesiva, este material possui uma superfície refletora que funciona como isolante, diminuindo as perdas térmicas. O conjunto está representado na figura (8).

Figura 8 - Coletor solar com as hastes e o isolante térmico



Fonte: Autor (2022)

Como alternativa para a análise de desempenho do coletor e aquecedor de ar, decidiu-se revestir sua superfície interna com uma cobertura escura e fosca, o qual foi feita com tinta spray alta temperatura- preto fosco, aumentando a transferência de calor entre superfície absorvedora e fluido de circulação (ar). Foi utilizado uma placa de vidro na parte superior de fechamento, com dimensões de 100 centímetros de comprimento, 50 centímetros de largura e com 8mm de espessura. Este pode ser visualizado na figura (9).

Figura 9 – Coletor solar térmico com revestimento escuro e com Placa de vidro

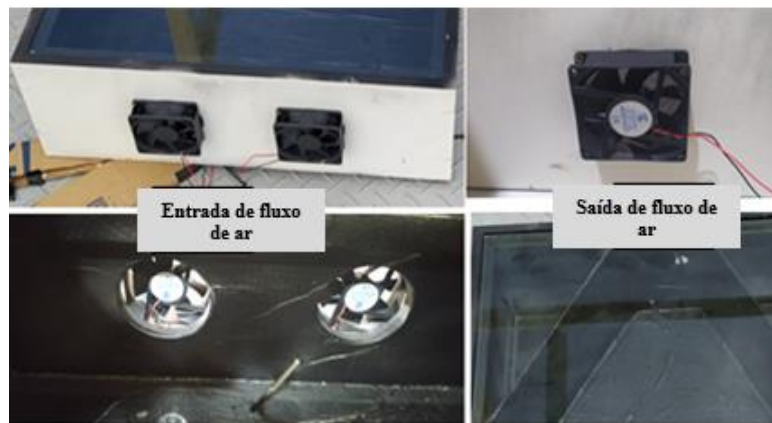


Fonte: Autor (2022)

4.2 Montagem do sistema forçado de entrada e saída de ar

Para funcionar com sistema forçado de fluxo de ar, foram acoplados três *coolers* de 12V e 0,15A, de 80x80x25 mm. Para a entrada, foram usados dois *coolers*, com fluxo de fora para dentro do coletor. Foi utilizada uma fonte de 12V, de corrente contínua para alimentação dos *coolers*. Estes foram interligados em paralelo, logo a tensão aplicada nos terminais dos *coolers* era a mesma para todos. No lado oposto para a saída de fluxo de ar, foi acoplado um *cooler*, com fluxo de dentro para fora do coletor. O sistema montado pode ser observado na figura 10.

Figura 10 – Sistema forçado de ar



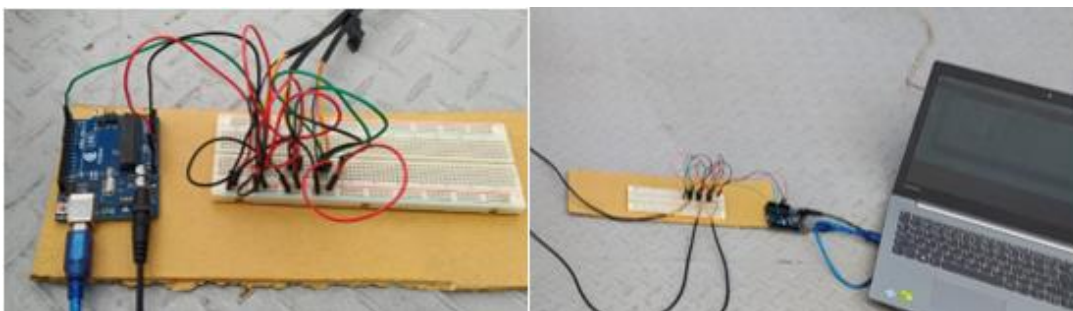
Fonte: Autor (2022)

4.3 Instrumentação para monitoramento das variáveis de processo

Para monitorar a temperatura do ar na entrada, meio e saída do coletor foi utilizado o sensor digital de temperatura DS18B20 do tipo sonda, que opera na faixa de $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, e precisão de $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para monitorar os sensores de temperatura utilizou-se uma placa Arduino UNO R3, dispositivo de software e hardware livres. Para realizar a leitura de dados e gráficos foi utilizado o software livre Arduino INO, este software realiza a leitura de dados recebidos pelo computador através do Arduino, os dados são armazenados e visualizados pelo software Microsoft Excel utilizando um computador portátil. O sistema montado pode ser observado na figura 11.

Figura 11 - Sistema de leitura de temperatura



Fonte: Autor (2022)

4.4 Ensaios

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Filmes Finos e Energias Renováveis-LAFFER, da Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici, este laboratório possui um acesso com o exterior da edificação, onde foi construída uma plataforma na parte superior do mesmo. As leituras das temperaturas foram feitas nos mesmos horários e condições climáticas parecidas, com a variação do funcionamento dos *coolers*, onde foi testado estes ligados e desligados. Foram realizados diferentes tipos de testes para o levantamento de dados do coletor solar térmico.

- **Teste 01-** Realizado no dia 07/02/2022, com os *coolers* de entrada de fluxo de ar ligados e com o *cooler* de saída de fluxo de ar desligado. O teste teve a duração de mais ou menos duas horas e 20 minutos, e o sistema foi programado para fazer a leitura da temperatura a cada 30 segundos.

- **Teste 02-** Realizado no dia 08/02/2022, com os *coolers* de entrada de fluxo de ar desligados e com o *cooler* de saída de fluxo de ar ligado. O teste teve a duração de mais ou menos duas horas e 40 minutos, e o sistema foi programado para fazer a leitura da temperatura a cada 30 segundos.

- **Teste 03-** Realizado no dia 09/02/2022, com os *coolers* de entrada e saída de fluxo de ar ligados. O teste teve a duração de mais ou menos duas horas e 10 minutos, e o sistema foi programado para fazer a leitura da temperatura a cada 30 segundos.

Com o objetivo de análises mais confiáveis pegou-se dados das leituras realizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, as quais são feitas por uma estação meteorológica automática (EMA) que coleta, as informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, radiação solar) representativas da área em que está localizada.

Desta forma, após a obtenção dos dados pôde-se fazer gráficos comparativos entre os dados da INMET e dos ensaios feitos, para análise do ganho de temperatura e para a identificação de melhores condições para o aquecimento de ar.

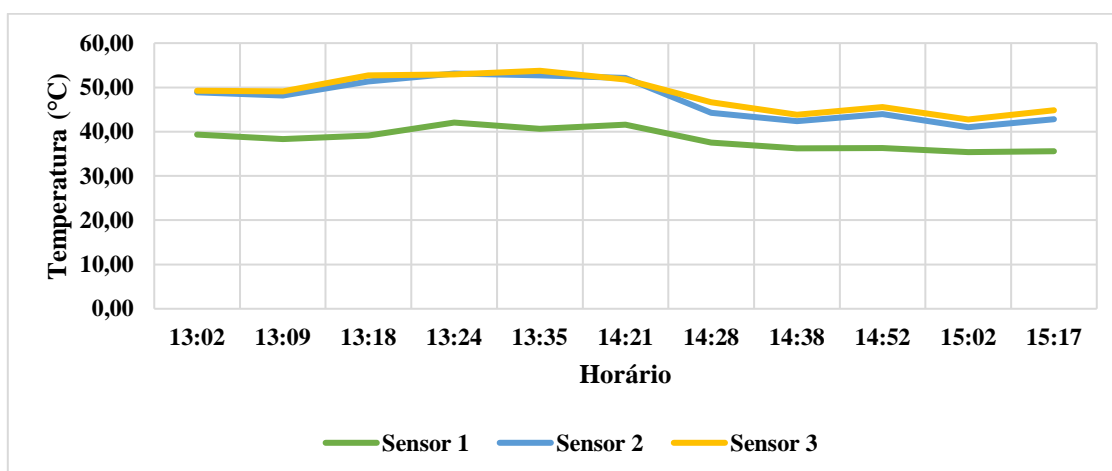
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Teste 01-** *coolers* de entrada de fluxo de ar ligados e com o *cooler* de saída de fluxo de ar desligado:

Após feito a coleta dos dados do teste 01, foi construído um gráfico (1) de temperatura, onde foi especificado as temperaturas dos três sensores (entrada, meio e saída) instalados no interior coletor. Analisando o gráfico (1) de temperatura nota-se que o acréscimo de temperatura foi satisfatório, de forma que a diferença de temperatura entre a entrada (Sensor1) e a saída (Sensor3) de fluxo de ar do coletor, foi de 9-10°C em média. Ainda, comparando com os dados obtidos no teste 01 e os dados do INMET, através dos gráficos (1) e (2), nota-se que o melhor ganho de temperatura do coletor nessas condições e nesse período de tempo foi por volta de 13h35min, com uma temperatura de 53,75°C na saída do coletor (sensor3), totalizando um ganho térmico de 86%, aproximadamente, comparado com a temperatura mínima do ar nesse horário, 28,90°C, de acordo com os dados da INMET.

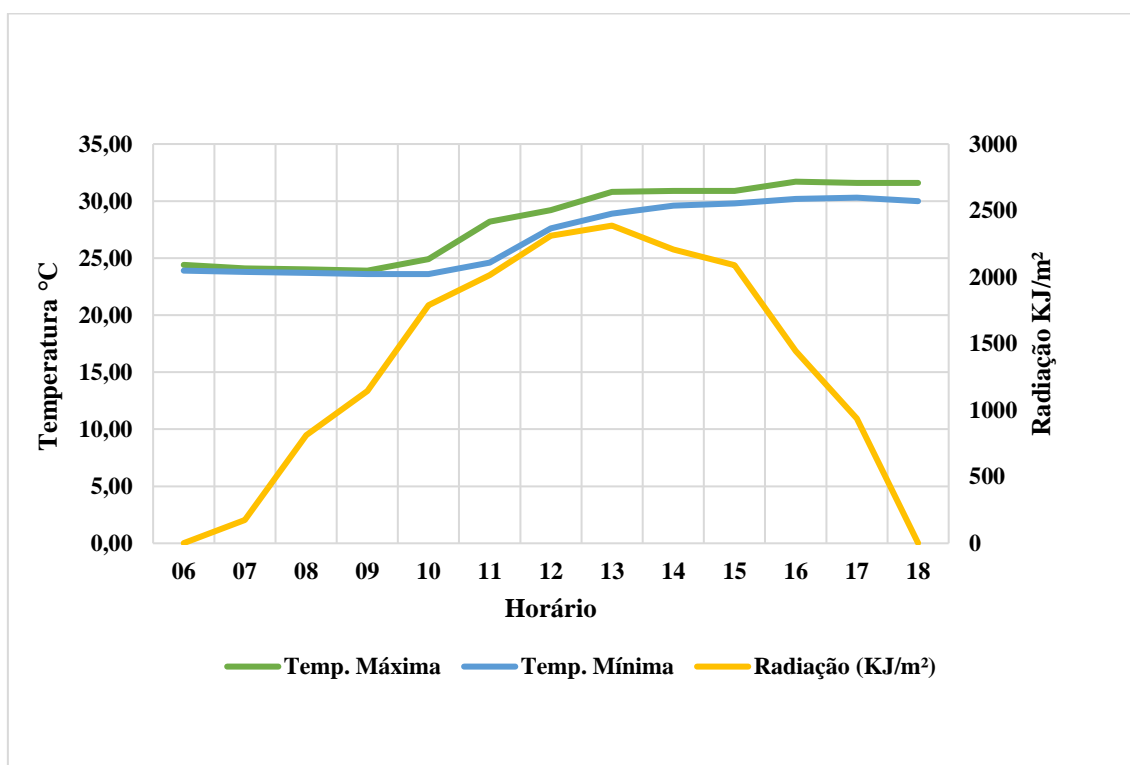
Observando o gráfico (2) da radiação incidente no dia, percebe-se que esta teve o comportamento normal em função do horário, o que influencia positivamente para o aumento do ganho de temperatura. No entanto, o ganho de temperatura pode ser explicado pela velocidade que o ar passa pelo coletor. Com os *coolers* de entrada ligados, a velocidade do ar dentro do coletor é menor do que com todos os *coolers* ligados, entrada e saída, obtendo assim mais tempo de aquecimento. Os gráficos (1) e (2) podem ser observados a seguir.

Gráfico 1 - Dados da temperatura do teste 01, realizado no dia 07/02/2022.



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 2 - Dados de radiação e temperaturas ambiente, INMET 07/02/2022



Fonte: Autor (2022)

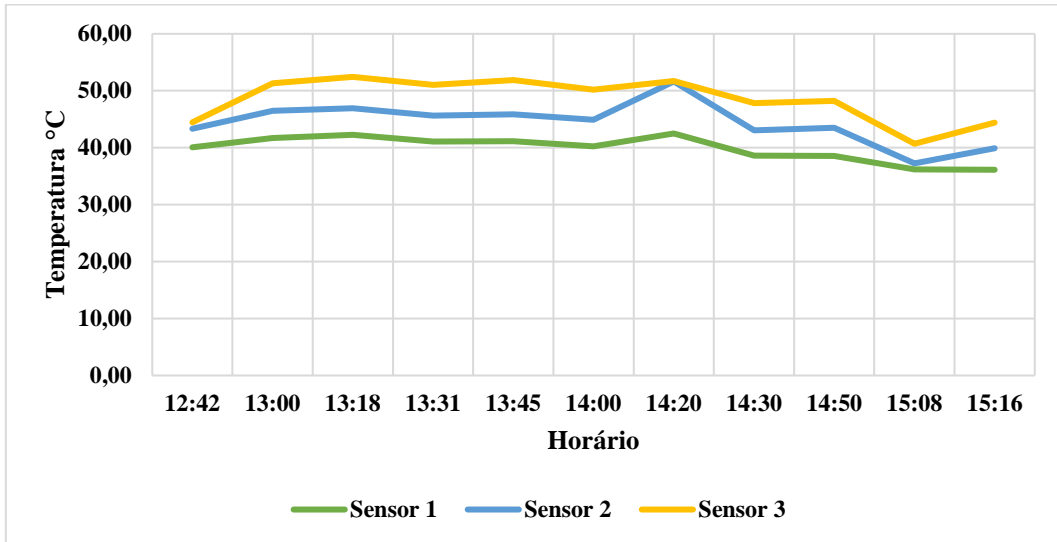
- **Teste 02-** *coolers* de entrada de fluxo de ar desligados e com o *cooler* de saída de fluxo de ar ligado:

Analisando o gráfico (3) de temperatura nota-se uma maior diferença entre as temperaturas dos sensores 2 e 3, em relação ao teste 01. Nota-se também que o acréscimo de temperatura, foi satisfatório, de forma que a diferença de temperatura entre a entrada (Sensor1) e a saída (Sensor3) de fluxo de ar do coletor, foi de 9°C em média. Comparando com os dados obtidos no teste 02 e os dados do INMET, através dos gráficos (3) e (4), nota-se que o melhor ganho de temperatura do coletor nessas condições e nesse período de tempo foi por volta de 13h18min, com uma temperatura de 52,44°C na saída do coletor (sensor3), totalizando um ganho térmico de 95,6% aproximadamente, comparado com a temperatura mínima do ar nesse horário, 26,80°C, de acordo com os dados da INMET.

Observando o gráfico (4) da radiação incidente pode-se notar que a partir das 13h20min essa radiação cai gradativamente. No entanto, o ganho de temperatura pode ser explicado pela velocidade que o ar passa pelo coletor. Com os *coolers* de entrada

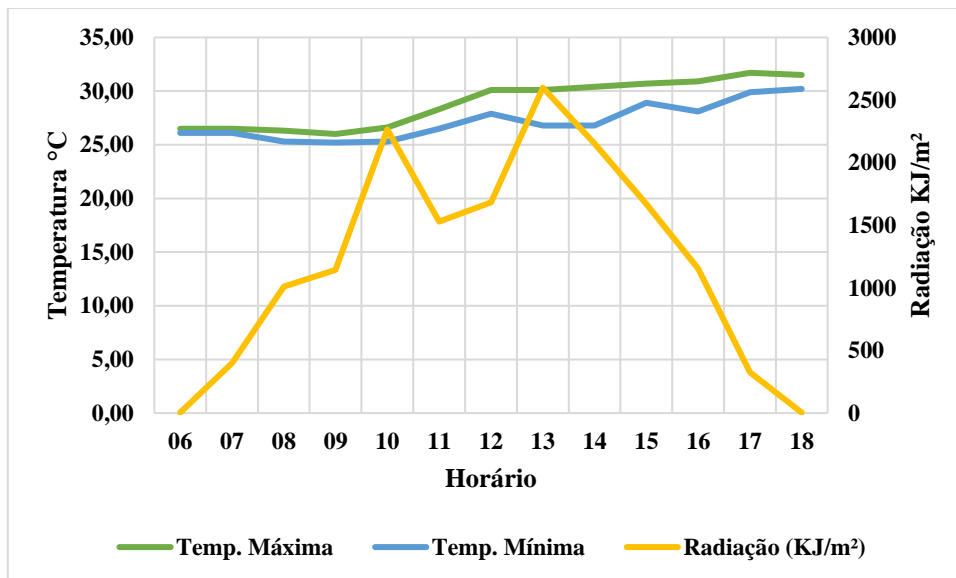
desligados, a velocidade do ar dentro do coletor é menor do que com todos os *coolers* de entrada de ar ligados, obtendo assim mais tempo de aquecimento. Os gráficos (3) e (4) podem ser observados a seguir.

Gráfico 3 - Dados da temperatura do teste 02, realizado no dia 08/02/2022.



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 4 - Dados de radiação e temperaturas ambiente, INMET 08/02/2022



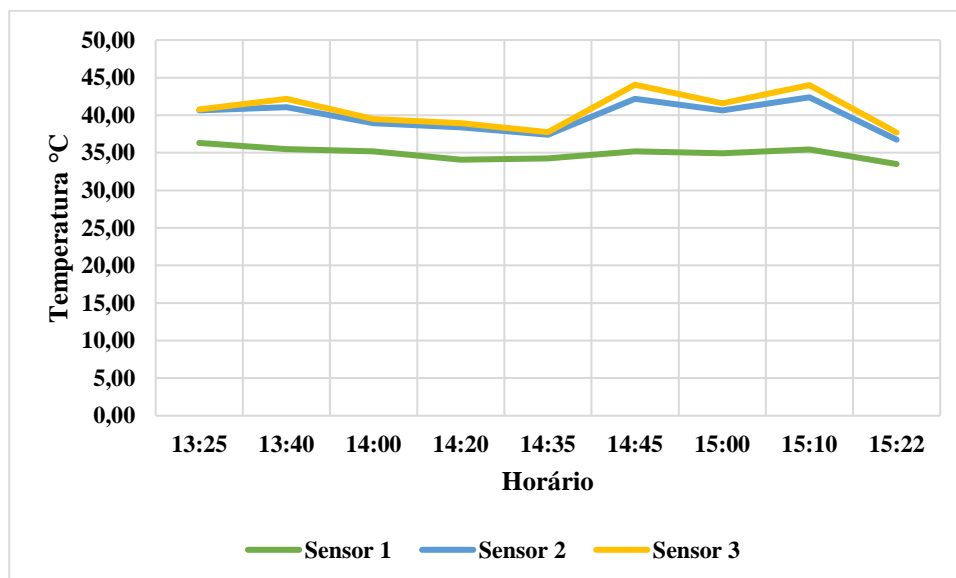
Fonte: Autor (2022)

- **Teste 03-** *coolers* de entrada e saída de fluxo de ar ligados:

Para essas condições percebe-se pelo gráfico (5) que houve uma menor variação de temperatura do que nos casos anteriores. Nota-se que o acréscimo de temperatura foi constante e não muito alto, de modo que a diferença de temperatura entre a entrada (Sensor1) e a saída (Sensor3) de fluxo de ar do coletor fosse relativamente baixa, de 6°C em média. Apesar disso, ao comparar os gráficos (5) e (6) observa-se que o melhor ganho de temperatura do coletor nessas condições e nesse período de tempo foi por volta de 14h45min, de acordo com os dados registrados no ensaio, essa maior temperatura alcançada de ar aquecido foi de 44,06°C, e com base nos dados do INMET o valor médio da temperatura mínima do ar nesse ponto é de 29,5 °C, totalizando um ganho máximo de 49,35%, aproximadamente.

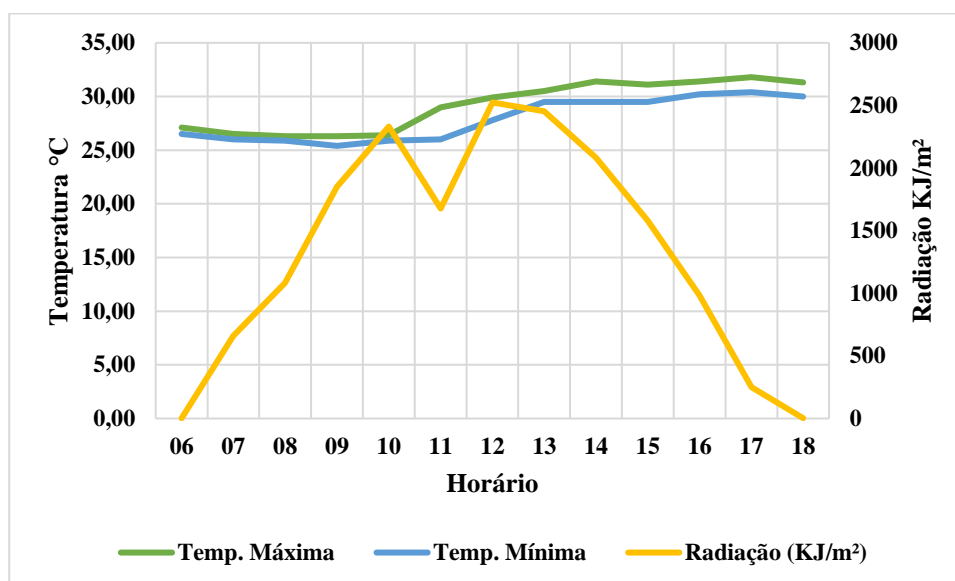
Observando o gráfico (6) da radiação incidente no dia, percebe-se que esta teve o comportamento normal em função do horário, o que influencia positivamente para o aumento do ganho de temperatura. No entanto, o baixo ganho de temperatura, comparados com os casos anteriores, pode ser explicado pela velocidade que o ar passa pelo coletor. Com os *coolers* de entradas e saída ligados, a velocidade do ar dentro do coletor é maior, obtendo assim menos tempo de aquecimento. Os gráficos (5) e (6) podem ser observados a seguir.

Gráfico 5 - Dados da temperatura do teste 03, realizado no dia 09/02/2022



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 6 - Dados de radiação e temperaturas ambiente, INMET 09/02/2022



Fonte: Autor (2022)

6 CONCLUSÃO

Com o estudo realizado neste trabalho foi possível avaliar, de forma satisfatória, o protótipo de coletor solar plano além de encontrar as melhores configurações para o seu uso voltado para aquecimento de ar, através da sua construção, instrumentação do sistema, monitoramento e análise de suas condições de funcionamento.

O desempenho do coletor solar foi comparado em relação à variação da forma de aquecimento deste, utilizando variação do sistema de ar forçado. Com relação ao alcance de temperaturas no coletor a configuração que alcançou as maiores temperaturas de saída do coletor foi com os *coolers* de entrada de fluxo de ar desligados e saída de fluxo de ar ligados, atingindo um valor máximo de 52,44 °C, e alcançando um rendimento de 95,6%.

A radiação solar incidente varia durante o dia, obtendo um grande aumento entre o período de 10h até por volta das 15h, o que pode influenciar diretamente nas temperaturas do ambiente, e conseqüentemente nas temperaturas alcançadas pelo aquecimento do coletor. Sendo assim, teria maior vantagem a exposição do coletor ao sol ser dentre esse período, para obter assim maiores ganhos de temperatura.

O estudo do coletor solar, antes de tudo, traz uma percepção do potencial energético que temos em mãos, principalmente no Brasil. Podendo ser usado por pequenos produtores rurais, no auxílio para secagem de produtos, visto que possui um baixo custo de construção e um grande ganho de temperatura, ou seja, um bom custo-benefício. Seu estudo torna-se de grande valia. Sua teoria é bem fundamentada. Com técnicas de construção e análise há muito tempo bem definidas, fica claro que existem meios para se instrumentar este sistema e que é possível atingir resultados satisfatórios.

As ferramentas utilizadas para instrumentação do coletor solar térmico (sensor DS18B20 + Arduino + Microsoft Excel+ computador portátil) obtiveram resultados satisfatórios. Por serem ferramentas de bom desempenho e acessíveis a qualquer estudante, se demonstraram ótimas para a instrumentação de um coletor solar térmico.

O dimensionamento do coletor, a comparação entre energia cedida aos instrumentos e aos *coolers* e a energia gerada pelo coletor, estudo do volume de controle, as entradas e saídas de energias, estudo de um projeto maior em complemento com secador solar, são sugestões para pesquisas futuras, assim como o estudo de caso em outras culturas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEEL, 2005. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)> Acesso: 05 de junho 2021.

Ambiente Brasil, **Energia Solar**. Disponível em: <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/energia_solar/energia_solar.html>.

Acesso em: 08 de junho de 2021

ARDUINO, 2021. Disponível em: <<https://www.arduino.cc>> Acesso: 10 novembro 2021.

CABIROL, T.; ROUX D. **O aquecimento das habitações e a energia solar Vol. 2**. Lisboa: Edições Cetop, n.º06 16 011/068, 1984b, 317p.

DUTRA, Marcio Freitas. **Utilização da Plataforma Arduino para Instrumentação de um Coletor Solar Aquecedor de Ar**. 2014. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energias Renováveis e Ambiente, Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2014.

Esper, A.; Mühlbauer, W. Solar drying - an effective means of food preservation. Renewable Energy, Renewable Energy Energy Efficiency, Policy and the Environment. v.15, n. 1, p. 95–100, 1 set. 1998.

GOSWAMI. Y.D.,KREITH. F. J., **Principles of Solar Engineering**, Second Edition, Taylor and Francis, 2000.

KALOUGIROU, S. A. **Solar Thermal Collectors and Applications**, Progress in Energy and Combustion Science, v.30, n.3, p.231-295, 2004.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

NAVARRO, M.A.G., **Arduino Based Acquisition System for Control Applications**, Universitat Politècnica de Catalunya, 2012.

OLIVEIRA, Alan Martins de; ROCHA, Amanda Suianny Fernandes; MARTINS, Jacqueline Cunha de Vasconcelos. **VIABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DE POÇOS ARTESIANOS MOVIDOS À ENERGIA SOLAR EM COMUNIDADE RURAL DO RIO GRANDE DO NORTE**. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Porto Alegre/RS, v. 1, n. 1, p.1-7, nov. 2015.

Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L. D., Rütther, R., Abreu, S. L. D., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., Souza, J. G. D., 2017: **Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª ed.**: Inpe. São José dos Campos - SP.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L., RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. v. 1.

ROMANI, Sonia Cristina. **ESTUDO DE UM SISTEMA TOTAL, COLETOR SOLAR - SECADOR DE GRÃOS, UTILIZANDO TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO MATEMÁTICA**. 1985. 134 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1985.

REIS, Valdinei Rodrigues dos. **Como medir temperatura com um DS18B20**. 2014. Disponível em: <<http://www.arduino.br/arduino/arduino-sensor/como-medir-temperatura-com-um-ds18b20/>>. Acesso em: 10 de junho 2021.

SCHUCK, Martha Lisa Rodrigo. **COLETOR SOLAR PARA PRÉ-AQUECIMENTO DO AR EM SISTEMAS DE SECAGEM ESTUDO DE CASO: CURA DO TABACO**. 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

TABORDA, Diego de Mendonça. **USO DE ENERGIA SOLAR PARA O AQUECIMENTO DO AR EM SECADORES DE GRÃOS**. 2017. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Departamento de Engenharia Mecânica, Associação Ampla Entre O Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e A Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2017.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. 2003.