



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
CURSO DE ENGENHARIA BIOSISTEMAS**

EDSON FERNANDO DE VASCONCELOS

DESENVOLVIMENTO DE UM SECADOR SOLAR INDIRETO ATIVO

**SUMÉ - PB
2022**

EDSON FERNANDO DE VASCONCELOS

DESENVOLVIMENTO DE UM SECADOR SOLAR INDIRETO ATIVO

Monografia apresentada ao Curso Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

Orientadora: Professora Dra. Fabiana Pimentel Macêdo Farias.

**SUMÉ - PB
2022**



V331d Vasconcelos, Edson Fernando de.
Desenvolvimento de um secador solar indireto ativo.
/ Edson Fernando de Vasconcelos. - 2022.

57 f.

Orientadora: Professora Dra. Fabiana Pimentel Macêdo Farias.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande;
Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso
de Engenharia de Biosistemas.

1. Secador solar. 2. Radiação solar. 3. Material reaproveitado. 4. Secagem de produtos agrícolas. 5. Arduino. 6. Energia solar. 7. Sistema de automação - Arduino. I. Farias, Fabiana Pimentel Macêdo. II. Título.

CDU: 631.365(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

EDSON FERNANDO DE VASCONCELOS

DESENVOLVIMENTO DE UM SECADOR SOLAR INDIRETO ATIVO

Monografia apresentada ao Curso Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.

BANCA EXAMINADORA:

**Professora Dra. Fabiana Pimentel Macêdo Farias.
Orientadora - UATEC/CDSA/UFCG**

**Pesquisadora Dra. Débora Rafaelly Soares Silva.
Examinadora Externa - Eng^a Agrícola**

**Professor Dr. Rômulo Augusto Ventura Silva.
Examinador Interno - UATEC/CDSA/UFCG**

Trabalho Aprovado em: 05 de setembro de 2022.

SUMÉ - PB

A minha neta Aurora, pela íntegra inocência.
As minhas filhas, pelo incentivo e distinção.
A minha esposa, por todo suporte e motivação.
Por Elas, que sempre confiam em mim.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar, por me dar força, perseverança e foco, para lutar pela realização dos meus sonhos.

À minha família, que esteve continuamente ao meu lado, incentivando-me a acreditar progressivamente no meu potencial.

À minha prezada orientadora, Prof.^a Dra. Fabiana Pimentel, pela paciência nos ensinamentos e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

À Prof.^a Dra. Aldinete Barreto, que esteve sempre presente no apoio e compreensão em meus momentos de ansiedade, que se mostrou mais que um mestre durante a minha graduação, mas uma amiga em que pude contar.

Ao meu professor Rômulo Ventura, que sempre com sua grandiosa paciência esteve presente nos momentos em que mais precisei do seu apoio através dos seus ensinamentos.

À minha supervisora de estágio, Prof.^a Dra. Morgana Fabiola, pela paciência e disposição.

A todos os professores do curso, que foram imensamente importantes na minha vida acadêmica.

Aos amigos, que acreditaram e me apoiaram nessa trajetória.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela importância em meu processo de formação acadêmica, pela dedicação, e por tudo o que aprendi no decorrer do curso.

A todos os que, direta ou indiretamente, cooperaram na execução deste trabalho.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original”.

(Albert Einstein).

RESUMO

O Brasil possui uma faixa diagonal onde ocorrem os maiores valores de irradiação, chamado cinturão solar e estendendo-se do Nordeste ao Centro-Oeste. Porém, é na região Nordeste que os melhores resultados se destacam, apresentando uma radiação solar global média de 5,9 Kwh/m², destacando-se em especial o Cariri Paraibano, que tem irradiação de mais de 2.800 horas por ano. Com isso, o aproveitamento desta fonte de energia limpa e renovável tem sido usada no desenvolvimento tecnológico de modo sustentável, em especial, na secagem de produtos agrícolas. Uma das tecnologias alternativas, de baixo custo e fácil manutenção, para secagem de produtos agrícolas é a utilização de secador solar. Por outro lado, técnicas de conservação inadequadas e condições precárias de armazenamento levam à deterioração da qualidade dos produtos agrícolas. Diante do exposto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um secador solar indireto ativo para a secagem de produtos agrícolas, utilizando alguns materiais reaproveitados. Um sistema de automação com Arduino e sensores foi utilizado para leitura de temperatura e umidade relativa do ar no interior do secador. Os resultados experimentais mostraram que o coletor solar proposto foi capaz de elevar a temperatura no interior do secador em cerca de 34,4 °C, indicando que o secador solar construído pode ser utilizado na secagem de produtos agrícolas, agregando valor aos produtos e, conseqüentemente, melhorando a qualidade de vida das famílias dos agricultores envolvidos na atividade.

Palavras-chave: radiação; secador solar; material reaproveitado.

ABSTRACT

VASCONCELOS, E. F. **Development of an active indirect solar dryer.** 2022. 60 f. Monograph (Biosystems Engineering Course) Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Universidade Federal de Campina Grande - Sumé - Paraíba - Brazil, 2022.

Brazil has a diagonal strip where the highest irradiation values occur, called the solar belt and extending from the Northeast to the Center-West.. However, it is in the region Northeast that if the best results, with average global radiation of 5.9 Kwh/m², especially the cariri paraibano, which has irradiation of more than 2.800 hours for year. Thus, the use of this clean and renewable energy source has been used in sustainable technological development, especially in the drying of agricultural products. One of the low-cost and easy-to-maintain alternative technologies for drying agricultural products is the use of a solar dryer. On the other hand, inadequate conservation techniques and poor storing conditions lead to deterioration in the quality of agricultural products. This work proposes the development of an active indirect solar dryer for drying agricultural products, using some reused materials. An automation system with Arduino and sensors was used to read the temperature and relative humidity of the air inside the dryer. The experimental results showed that the proposed solar collector was able to increase the temperature inside the dryer about of 34 °C, indicating that the solar dryer built can be used in the drying of agricultural products, adding value to the products and, consequently, improve quality of life of the families of farmers involved in the activity.

Keywords: radiation; solar dryer; reused material.

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 -	Coletor Solar.....	29
Fotografia 2 -	(a) Placa de zinco antes da galvanização e (b) Peso da placa antes da galvanização (m=2,172 kg).....	30
Fotografia 3 -	(a) Processo de galvanização e (b) Peso da placa de zinco após a galvanização (m=2,266 kg).....	30
Fotografia 4 -	(a) Lâmina de vidro de 4 mm e (b) Vidro na parte superior do coletor solar.....	31
Fotografia 5 -	(a) Tela utilizada na pesquisa e (b) Tela na entrada do coletor solar	31
Fotografia 6 -	Câmara de Secagem.....	32
Fotografia 7 -	Câmara de Secagem.....	32
Fotografia 8 -	Exaustor Axial.....	33
Fotografia 9 -	(a) Frente do painel solar e (b) Atrás do painel solar.....	34
Fotografia 10 -	(a) Vista frontal da Placa Fotovoltaica e (b) Vista lateral da Placa Fotovoltaica.....	35
Fotografia 11 -	Sensores DHT22.....	36
Fotografia 12 -	Arduino UNO.....	36
Fotografia 13 -	(a) Exemplo de programação no Arduino IDE e (b) Resultados de temperatura e umidade.....	37
Fotografia 14 -	Módulo WiFi ESP8266.....	38
Fotografia 15 -	(a) Resultados no canal <i>ThingSpeak</i> e (b) Tipo de gráfico disponibilizado.....	38
Fotografia 16 -	(a) Suportes de metal e (b) Suporte no secador solar.....	40
Fotografia 17 -	(a) Secador Solar AuroraSolar1.....	41
Fotografia 18 -	(a) Vista de cima do Secador Solar Aurora1 e(b) Detalhe do painel solar e exaustor.....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVOS.....	12
1.2	OBJETIVO GERAL.....	12
1.2.1	Objetivos específicos.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	SECADORES.....	13
2.2.1	Classificação de Secadores.....	13
2.2.2	Secador Solar.....	15
2.1.2.1	<i>Quanto a exposição do produto no secador solar.....</i>	<i>17</i>
2.2	ENERGIA SOLAR.....	19
2.3	GRAU DE OBLIQUIDADE DO COLETOR SOLAR.....	21
2.3.1	Movimento aparente do sol.....	21
2.3.2	Obliquidade Coletor solar.....	22
2.3.3	Superfície do Coletor Solar.....	23
2.3.4	Vidro do Coletor Solar.....	24
2.4	AUTOMAÇÃO.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1	DESENVOLVIMENTO DO SECADOR SOLAR INDIRETO.....	27
3.1.1	Croqui e Geometria do Secador Solar Indireto.....	27
3.1.2	Materiais Utilizados na Construção do Secador Solar.....	28
3.1.2.1	<i>Coletor Solar.....</i>	<i>28</i>
3.1.2.2	<i>Placa de Zinco.....</i>	<i>29</i>
3.1.2.3	<i>Vidro.....</i>	<i>30</i>
3.1.2.4	<i>Tela Antiafídeo.....</i>	<i>31</i>
3.1.2.5	<i>Câmara de Secagem.....</i>	<i>31</i>
3.1.2.6	<i>Exaustor.....</i>	<i>33</i>
3.1.2.7	<i>Painel Fotovoltaico.....</i>	<i>34</i>
3.1.3	Equipamentos de automação.....	35
3.1.3.1	<i>Sensores.....</i>	<i>35</i>
3.1.3.2	<i>Plataforma Arduino.....</i>	<i>36</i>
3.1.4	Suporte para o secador solar.....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1	SECADOR SOLAR.....	41
4.2	OBLIQUIDADE DO COLETOR SOLAR.....	43
4.3	TEMPERATURA DO AR NO INTERIOR DO SECADOR SOLAR.....	43
4.4	UMIDADE DO AR NO INTERIOR DO SECADOR SOLAR.....	50
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	52
5.1	CONCLUSÕES.....	52
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

Integrar o conhecimento dos sistemas biológicos em aplicações de engenharia para o desenvolvimento de soluções eficientes, bem como criar tecnologias para o bem-estar de humanos e animais com a preservação e valorização dos recursos naturais e do meio ambiente com foco na eficiência energética, são aspectos de alta relevância para o momento atual, sobretudo pelo aumento, no decorrer das últimas décadas, da propagação do conceito de desenvolvimento sustentável, sendo acompanhado nos mais diversos setores da sociedade.

O uso das energias limpas e renováveis, ganham cada vez mais notoriedade na sociedade pós-moderna colonizada a partir de um universo mercantil (econômico, político, cultural e social), em função do surgimento das políticas de remodelamento das fontes energéticas de origem fóssil por fontes limpas e renováveis, principalmente no que diz respeito as energias eólica e solar (SILVA *et al.* 2013). De acordo com Akinola, *et al.* (2006), as fontes solares de energia estão cada vez mais tendo aceitação como forma econômica aplicada de energia no meio agrícola, sendo estas as mais preferíveis em relação à outras fontes alternativas de energia devido elas serem mais abundantes, acessíveis, inesgotáveis e menos poluentes.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial, o país ocupa uma área de 8.547.403 km² e em razão disto é considerado um país de dimensões continentais, com área que se equivale a um continente e geograficamente está posicionado numa zona de extrema disponibilidade de radiação solar. Com isso, o aproveitamento desta fonte de energia limpa e renovável no Brasil, em especial a região Nordeste, é de suma importância para um país que almeja atingir o posto de potência mundial em produção energética através de fontes renováveis de energia limpa, coadjuvando com o incentivo e o desenvolvimento tecnológico de modo sustentável.

A energia solar tem sido utilizada como fonte energética em diversos processos, e um exemplo dessa aplicabilidade é na secagem de produtos agrícolas. A secagem, tem como objetivo a remoção de umidade do material, é um processo de beneficiamento e de conservação de alimentos dos mais antigos existente no passado da humanidade, ocorrendo, principalmente, por exposição do alimento ao ar livre. Com o decorrer dos anos, as técnicas desses processos têm sido repassadas de geração a geração, através dos conhecimentos adquiridos de seus antepassados, e sucessivamente tem sido melhorado de modo empírico. (FIOREZE, 2004).

A disseminação e favorecimento das novas tecnologias em processos de secagem de alimentos permite o consumo e a comercialização de produtos desidratados com todas as

propriedades organolépticas do alimento mantidas, além de conservar o alimento por muito mais tempo, uma vez que as condições operacionais, como temperatura e velocidade do ar de secagem, são controladas em secadores industriais, utilizando energia não-renováveis.

Uma das tecnologias alternativas, de baixo custo e fácil manutenção, para secagem de produtos agrícolas é o secador solar. O princípio da técnica de secagem neste tipo de equipamento é coletar energia solar para aquecer o volume de ar em coletores solares e conduzir o ar quente para uma câmara de secagem acoplada ao coletor, isto para o caso do secador solar indireto, que difere dos outros modelos, pois o alimento não entra em contato direto com a radiação solar.

Portanto, esta tecnologia oferece vários benefícios socioeconômicos aos agricultores, entre eles, o secador solar de frutas pode melhorar a segurança alimentar sendo capaz de evitar as perdas financeiras que os agricultores enfrentam nessas situações. A secagem, por meio do secador solar, permite que frutas desidratadas possam ser armazenadas por longos períodos, em comparação com aquelas que não passaram pelo mesmo processo, mantendo suas propriedades organolépticas por muito mais tempo, além do aumento da rentabilidade na cadeia produtiva desses alimentos podem ser vendidos como produtos diferenciados, com maior valor agregado.

Nos dias atuais um dos grandes desafios na busca pela sustentabilidade ambiental é o reaproveitamento de resíduos que são produzidos e descartados diariamente. Isso porque a maioria das pessoas já está acostumada a simplesmente descartar aquilo que acreditam ser lixo, sem considerar se o material pode ter uma utilidade diferente ou até mesmo ser usado para a produção de um item totalmente novo. Buscando dar alternativas na construção de novo equipamentos, como um secador solar, por exemplo, materiais usados foram coletados para que fosse dada uma nova utilidade a esse material, gerando uma ação que ajuda a minimizar a exploração dos recursos naturais e a reduzir a quantidade de lixo no meio ambiente.

Diante do que foi exposto, a motivação deste trabalho foi de desenvolver um secador solar aproveitando materiais que seriam descartados no meio ambiente, a fim de que se torne uma excelente alternativa para a produção de produtos agrícolas desidratados, principalmente, em comunidades que dependem da agricultura familiar, sendo também, uma possibilidade de geração de emprego e renda para essas comunidades, doravante a comercialização desses produtos com maior valor agregado. Um diferencial deste secador solar, foi a adição de tecnologia (sensores, placa solar, Arduino etc.) para medições em tempo real de variáveis, como temperatura e umidade do ar, com a finalidade de verificar o desempenho do secador em seu interior.

1.1 OBJETIVOS

1.2 OBJETIVO GERAL

Construir um secador solar indireto ativo com materiais reaproveitados para a desidratação produtos agrícolas.

1.2.1 Objetivos específicos

- Utilizar materiais reaproveitados para construir as principais partes do secador: câmara de secagem, coletor solar, suportes, exaustor, etc.;
- Desenvolver um sistema automatizado para controle, medição e aquisição de dados de temperatura e umidade relativa do ar em tempo real, de forma a quantificar o desempenho do secador solar;
- Analisar os dados de temperatura e umidade do ar coletados em tempo real durante o funcionamento do secador solar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SECADORES

Os secadores apresentam variações de acordo com fatores diversos no que tange ao tipo de produto a ser seco, capacidade de secagem, tipo de energia utilizada etc. (FIOREZE, 2004).

Considerando o crescimento populacional, passou a existir a necessidade de aumentar a produção agrícola. O que antes era produzido exclusivamente com foco à agricultura familiar, deslocou-se para a comercialização de um mercado bem mais irrestrito e exigente, quanto à qualidade dos alimentos. Isto desencadeou uma incessante busca por tecnologias inovadoras para se alcançar a produção em larga escala. Assim, em decorrência do uso de tecnologias inovadoras e consequente a isso, uma maior atenção com o armazenamento e conservação dos produtos, constatou-se que a secagem natural não mais atenderia a tal necessidade, sendo cada vez mais exigida a utilização da secagem artificial. À vista disso, surgiram variados tipos de secadores artificiais (contínuos ou bateladas), como os secadores de fluxo cruzado, co-corrente ou contra-correntes conforme o produto a ser seco, capacidade de secagem, finalidade quanto ao produto final etc. (Fioreze, 2004; Silva, 2005).

A imensa variedade de equipamentos e processos de secagem atualmente existentes representa um enorme obstáculo na escolha certa de secadores para obtenção de produtos com qualidade. Diversos métodos são apresentados na literatura para escolha do tipo de secador mais conveniente a cada necessidade, como aqueles que são embasados em custos e conceitos fenomenológicos (MACHADO, 2009). Desde então, a secagem tem sido alvo de diversas pesquisas proporcionando o surgimento de novas tecnologias visando à otimização dos processos que envolvem a mesma, no que diz respeito a qualidade final do produto e o custo operacional.

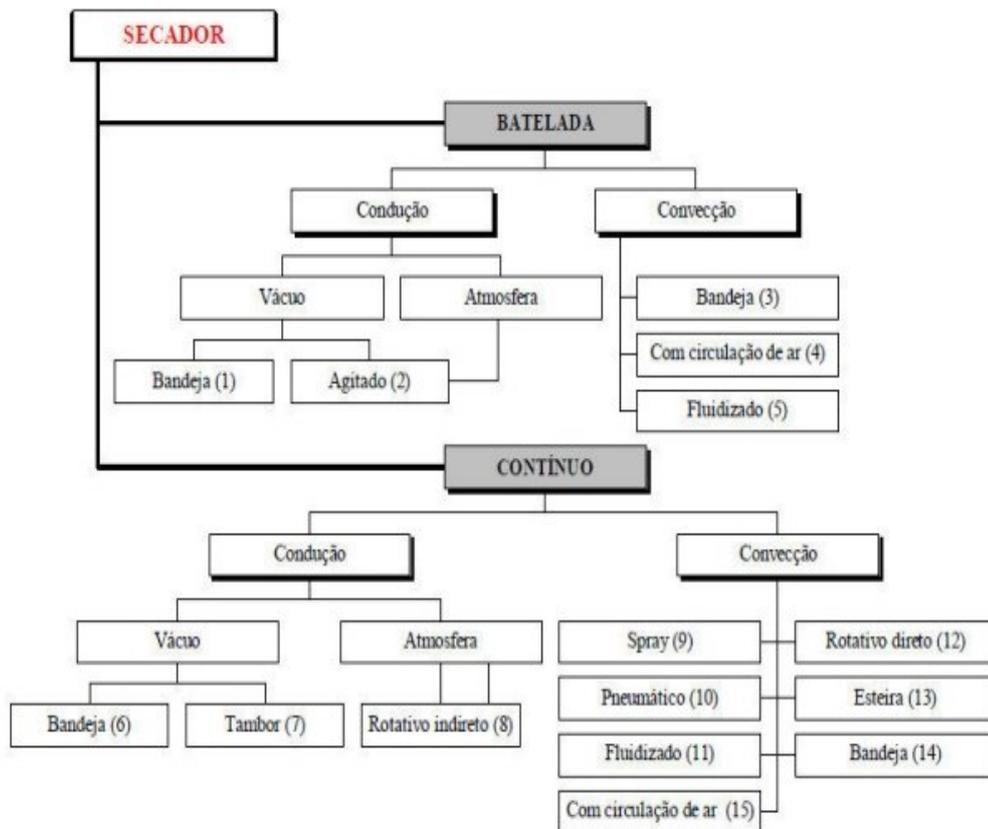
2.1.1 Classificação de Secadores

Dentre os mais variados equipamentos de secagem, destacam-se: secadores de bandeja, secador de coluna, leito fluidizado, secador de correia, secador pneumático e atomizado (Spray-Drier) etc. Todavia, dentre os variados tipos de secadores existentes no mercado, basicamente, tais equipamentos distingue-se pelo método de operação (contínuo ou batelada). Nesse contexto, é imprescindível o conhecimento da atuação do equipamento e sua influência sob o

produto. Para eficácia do processo de secagem referente a um estabelecido material, o secador precisa ser dimensionado segundo as exigências de custo, material e produtividade. Trata-se de mais uma razão para reforçar os estudos experimentais nessa área de secagem, pois o dimensionamento pode ser um processo longo e dispendioso (ALONSO, 2001).

Segundo Park *et al.* (2007), os secadores são classificados através de embasamento em método de operação com destaque as suas subclassificações, conforme mostra o Fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Classificação e Subclassificação dos Secadores



Fonte: Park et al, (2007)

As definições de sacadores de batelada e contínuo são:

- **Secadores de Batelada:** em sistemas de secagem por batelada o produto é colocado no secador até que o processo seja concluído, após isso, o produto desidratado é removido e outra sessão é iniciada para um novo processo.
- **Secadores Contínuos:** compreendem os equipamentos de secagem nos quais os produtos a serem secos são inseridos no equipamento e durante a realização do processo

outros produtos são depositados sequencialmente no sistema, enquanto aqueles que atingem o teor de umidade pretendido são retirados do equipamento.

Um problema característico dos secadores de grande porte e industriais está no uso de energias não renováveis, que são esgotáveis e poluem o meio ambiente. Estudos que viabilizem a utilização de outras fontes energéticas são recomendados quando se apresenta o esgotamento ou a inconveniência de um recurso energético, de modo que, as novas fontes possam compensar e/ou garantir a direção da eficiência energética. Isso significa buscar fontes alternativas que visem à inovação com eficiência, de maneira limpa, sem agredir o meio ambiente e de baixo custo.

Neste contexto, o uso de secadores que utilizam a energia solar tem sido objeto de diversas pesquisas, em especial na região Nordeste do Brasil, devido à alta incidência solar durante maior parte do ano. A secagem utilizando a energia solar apresenta-se como alternativa de grande interesse pelas suas qualidades e características de ser limpa e gratuita.

2.1.2 Secador Solar

Para Souza *et al.*, (2012), o secador solar é um equipamento no qual o ar é aquecido pela irradiação solar e transpassa de forma natural ou forçada pelo seu interior, retirando a água do produto ao qual se pretende secar. O material a ser seco pode ser depositado diretamente no coletor (secagem direta) ou em uma câmara de secagem (secagem indireta).

Segundo Park *et al.*, (2007), há uma enorme variedade de produtos a serem secos usando diferentes métodos de secagem, assim também como existem diversos tipos de secadores projetados para poder atender a demanda existente. As especificações quanto a classificação dos secadores é bastante variada e atende as diferentes exigências do processo de secagem. Com tudo, conhecer o material a ser seco é primordial para se obter o dimensionamento de um bom secador.

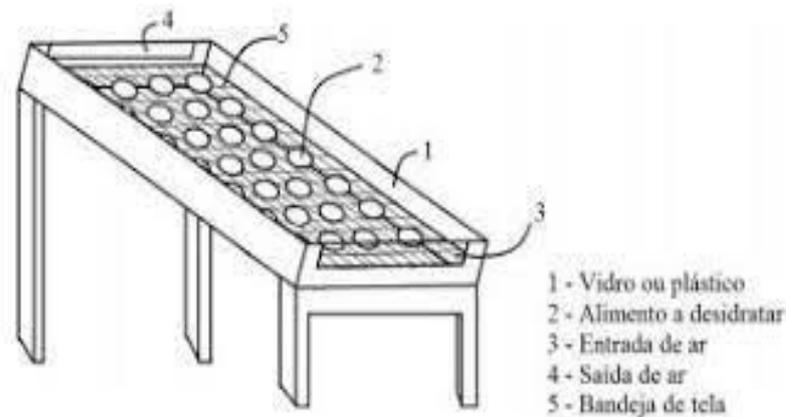
Diversos pesquisadores estão em busca constante de alternativas para contribuir principalmente com os pequenos agricultores, pois são eles que fazem parte da agricultura familiar e é nesse meio que há grande desperdício de alimentos principalmente os produtos agrícolas como as frutas. O foco primordial é o desenvolvimento de secador solar provenientes de materiais de baixo custo e boa eficiência (SOUZA et al., 2012), fazendo uso da energia solar que é limpa e sem custo.

Os secadores solares dividem-se em dois grupos: secador solar passivo e secador solar ativo. E subdividem-se em três categorias: secador direto, secador indireto e secador misto (THOMAZINI, 2015).

I) Secador Solar Passivo

O secador solar passivo é um equipamento onde o produto é exposto à radiação solar através de uma cobertura transparente. O ar quente circula no interior do secador por meio de convecção natural. Esse tipo de equipamento é de construção bastante simples, com baixo custo operacional. Ademais, utiliza fontes renováveis de energia e pode ser instalado em local onde não existe rede elétrica (SOTERIS, 2016). Secador solar passivo conforme Figura 1.

Figura 1 - Secador Solar Passivo

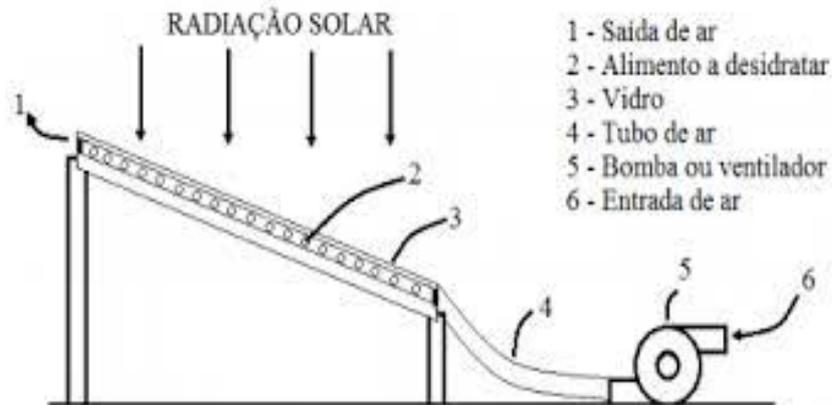


Fonte: Soteris (2016)

II) Secador Solar Ativo

No secador solar ativo ou de circulação forçada, é usado ventilador para fazer o ar circular no interior do secador. O secador solar ativo é um equipamento mais complexo se comparado ao sistema passivo (SOTERIS, 2016). A Figura 2 mostra um secador solar ativo.

Figura 2 - Secador Solar Ativo



Fonte: Soteris (2016)

2.1.2.1 Quanto a exposição do produto no secador solar

O secador também pode ser classificado quanto a exposição do material a ser seco em relação a incidência da irradiação solar. Os três tipos de secadores solares (Figura 04) são descritos como segue:

- **Secador Solar Direto**

O produto a ser seco é colocado diretamente no coletor de radiação solar que funciona como a câmara de secagem (SOTERIS, 2016), Figura 4 (a).

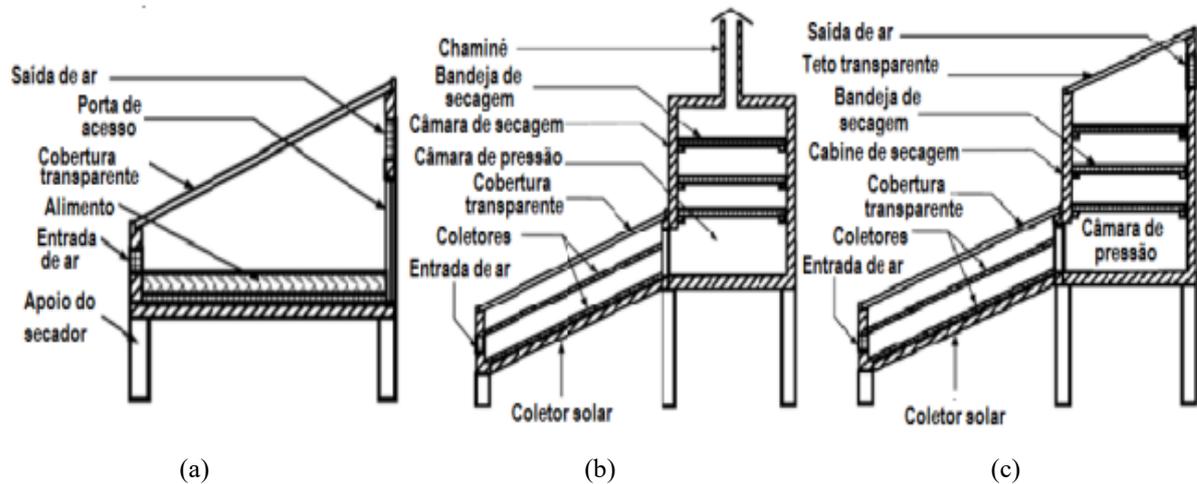
- **Secador Solar Indireto**

Na secagem indireta o coletor solar e a câmara de secagem são separados. O produto é colocado em bandejas perfuradas na câmara de secagem para passagem do fluxo de ar quente proveniente do coletor solar, o ar aquecido circula entre os alimentos expostos nas bandejas (THOMAZINI, 2015), Figura 5 (b).

- **Secador Solar Misto**

Na categoria secadora solar misto, os dois sistemas interagem, ou seja, o secador absorve calor diretamente, mas o processo é otimizado com o uso de um coletor solar (SOTERIS, 2016), Figura 5 (c).

Figura 5 - (a) Secador Solar Direto, (b) Secador Solar Indireto e (c) Secador Solar Misto



Fonte: Thomazini (2015)

ALMEIDA *et al.* (2016) desenvolveram um secador solar de exposição direta para a secagem de alimentos utilizando uma calha da luminária de lâmpada fluorescente, que trabalha em regime de circulação natural de ar. Realizaram testes fazendo secagem de uva, no qual seus resultados confirmaram a viabilidade térmica e econômica do sistema, podendo ser utilizado em zona rural e urbana para o combate aos desperdícios e perecibilidade, com custo de fabricação muito baixo, permitindo assim sua construção por comunidades de baixa renda.

Um secador solar de exposição direta, com uma unidade dessecante contendo sílica gel foi acoplada, foi desenvolvido por Fernandes (2021) para a desidratação de banana prata na cidade de Campina Grande (PB). Os resultados obtidos mostraram uma melhor performance no secador que utilizou a sílica gel, onde o rendimento termodinâmico do secador solar com sílica gel e sem sílica gel foi, em média, de 36,3% e 32,6% respectivamente.

Souza *et al.* (2016) estudaram um secador solar misto sob convecção forçada para obtenção da cinética de secagem da maçã. O secador solar misto mostrou-se viável e eficiente para a secagem de fatias de maçã, sendo um equipamento de baixo custo de fabricação, além de utilizar uma fonte de energia abundante e renovável, o que assegura a viabilidade econômica do secador.

Dias (2017) estudou a viabilidade, a partir da concepção e construção, de um modelo de secador solar indireto com convecção forçada recorrendo a materiais reutilizados: madeira e esferovite (Poliestireno). Os estudos experimentais mostraram que a eficácia do equipamento bem como a apreciação sensorial revelaram ser diferentes, dependendo dependia do fruto e da preparação aplicada na pré-secagem. O modelo de secador proposto, mostrou ser de fácil construção e, tendo em conta os materiais escolhidos, uma solução econômica e ecológica, apresentando boa eficiência.

Veloso (2020) avaliou o uso do secador solar indireto de bandejas como alternativa para a secagem do café arábica, variando a vazão volumétrica de ar e a carga mássica a ser seca. O secador solar atingiu temperaturas entre 49°C e 58°C, obtendo umidade do café de 34,71% para um valor médio de 15,50% em seis horas, até ser considerada suficiente para armazenagem, abaixo de 18% de umidade. Ele observou a degradação dos fenólicos e dos flavonoides em pequena quantidade, sendo importante o efeito negativo da temperatura do ar de secagem na redução destes compostos bioativos. Temperaturas mais altas também são mais desejadas para manutenção dos bioativos.

Utilizando um protótipo de um secador solar ativo do tipo indireto, Rola *et al.* (2022) avaliaram a eficiência da secagem da maçã através da cinética deste processo e da análise das variáveis como temperaturas, umidade e irradiação solar. O processo de secagem foi realizado com maçãs, que apresentou um percentual de umidade inicial de 87% (base úmida) e foi reduzido para aproximadamente 11% (base úmida) após 19 horas de testes. Com os dados da variação da umidade adimensional dos frutos com o tempo, determinou-se a cinética de secagem. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou a esse processo. Através do sistema de monitoramento e controle de dados, foram registrados valores máximos de temperatura ambiente de 30,5 e 30,8°C, na saída do coletor de 61,3 e 66,5°C e na câmara de secagem de 46 e 53°C, para uma irradiação solar global no plano do coletor de 938 e 1027 W/m².

2.2 ENERGIA SOLAR

A energia do Sol é uma fonte renovável e bastante abundante no decorrer do dia. A radiação solar que incide em um determinado ponto da Terra é função da estação do ano, da latitude do local e do tempo. É cientificamente comprovado que a energia solar recebida em apenas um dia pelo nosso planeta é de trinta vezes mais do que o consumo anual de energia a nível global (Dankassoua *et al.*, 2017).

O impacto antrópico que acontece devido ao uso indiscriminado de fontes não renováveis de energia traz como consequência mais imediata o agravamento das diferenças sociais, na medida em que os recursos naturais vão se reduzindo drasticamente. O valor que se paga pela obtenção de energia, por meio dos recursos energéticos disponíveis, torna-se cada vez mais proibitivo o acesso por parte dos menos favorecidos. Também pode-se prever que, em algum momento, vários países podem apresentar decadência financeira, provocada pela exaustão/escassez dos combustíveis fósseis, que dependem da produção e venda dessas commodities (OLIVEIRA, 2007).

A energia solar é uma fonte renovável e inesgotável e, devido a este motivo, seu uso tem sido utilizado e explorado como uma das melhores e mais viáveis alternativas de fonte energética para geração de calor. Segundo artigo publicado na Radioagência Nacional a energia solar se tornou a terceira fonte mais representativa da matriz elétrica do Brasil, pois as usinas de geração de energia solar já somam potência instalada operacional superior à das termelétricas movidas a gás natural e biomassa, segundo levantamento divulgado pela Absolar, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Atualmente, o país conta com 16,41 gigawatts (GW) de capacidade instalada em usinas solares fotovoltaicas, considerando a geração centralizada (projetos de grande porte) e a distribuída (instalações menores em telhados, fachadas e terrenos).

O perfil do consumo de energia global nos induz a fazer uma reflexão a respeito das decisões que devemos tomar frente aos nossos modos de consumo de produtos, com destaque especial aos alimentos. Uma taxa superior a 86% de toda energia consumida não é renovável (carvão mineral, petróleo e gás natural) e apenas 14% de fontes renováveis (solar, eólica, biomassa etc.), segundo dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2022).

Daí transcorre, nos tempos atuais, a busca incessante por mecanismos de geração de energia que seja direcionada às fontes alternativas a fim de contribuir com a diminuição dos impactos ambientais. Em diversas partes do mundo, há uma conscientização de que as energias renováveis desempenham um papel extremamente importante para a extensão de tecnologias nos países em desenvolvimento para os agricultores, melhorando significativamente a sua produtividade (Waewsak *et al.*, 2006).

Segundo Savicki (2007), diversos pesquisadores de várias universidades brasileiras fazem uso da energia solar em diferentes processos de secagem, tanto para frutas e grãos, quanto para o aquecimento de água, calefação de ambientes, refrigeração por ciclo de absorção e adsorção, destiladores solares por efeito térmico etc.

Entende-se que é possível dar incentivo ao desenvolvimento das chamadas “tecnologias verdes”, definidas como sendo aquelas que visam corresponder as demandas dos consumidores por produtos de qualidade diferenciada, devido a otimização do processo de produção a fim de se obter o menor impacto ao meio ambiente. A otimização incorpora a redução da utilização de matérias-primas, energia e água, enquanto contribui à redução da geração dos resíduos de processo e efluentes. E, em consonância a isso busca amenizar a quantidade de etapas de processamento para obtenção dos mesmos produtos ou serviços (MURPHY *et al.*, 2014).

Nesse contexto, se faz necessário aprender a utilizar com inteligência a energia na qual dispomos, buscando soluções eficientes que permitam o melhor aproveitamento da energia disponível e a sua reutilização, sempre que possível.

2.3 GRAU DE OBLIQUIDADE DO COLETOR SOLAR

Para se ter ideia do grau de obliquidade do coletor solar, deve-se ter em mente como acontece o movimento do sol.

2.3.1 Movimento aparente do sol

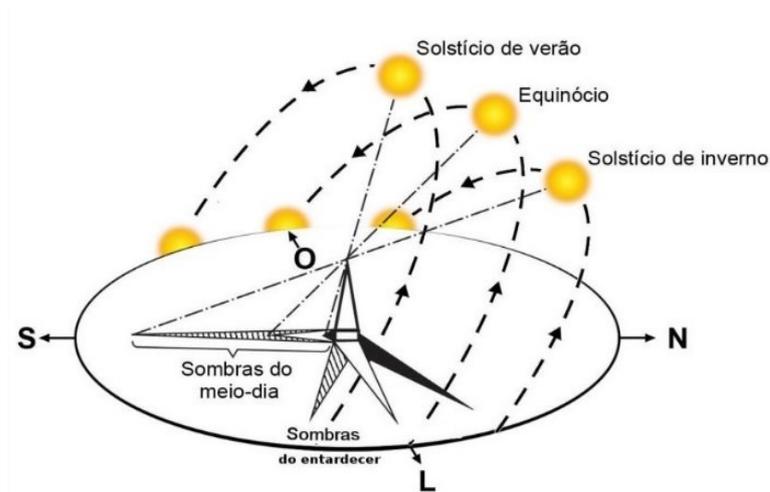
Segundo Dankassoua *et al.*, (2017), de acordo com a Ciência, dois movimentos da Terra são essencialmente importantes por estarem relacionados com o dia de 24 horas, correspondente a um dia solar com base no movimento aparente do Sol no céu, e, um ano solar, que corresponde a 365,25 dias, ou seja, 365 dias e 6 horas. Como a orbita da terra não tem essa duração, é preciso que haja uma compensação nos calendários, por se tornar acumulativo nos passar dos anos. É aí que entra o ano bissexto.

O movimento de translação da Terra em torno do Sol é que define o ano e se relaciona com a sequência das estações anuais (outono, inverno, primavera e verão). Já o movimento de rotação da Terra em torno de seu próprio eixo gera o dia solar de 24 horas. Contudo, todos os dias, a Terra gira uma vez em seu próprio eixo. Mas o seu movimento de rotação não apresenta um eixo perfeitamente vertical quando gira. Conforme a (astronoo.com), a Terra é inclinada axialmente em um ângulo de ($\approx 23^{\circ}26'$). Essa inclinação também afeta a quantidade diária de radiação solar incidente no planeta, ou seja, sem ela, todo o planeta teria dias e noites de 12 horas todos os dias do ano. Portanto, as estações do ano podem ser baseadas em padrões astronômicos, como solstícios e equinócios ou devido ao ângulo de inclinação axial ou

obliquidade da Terra e ao movimento de translação do planeta em torno do Sol (DANKASSOUA *et al.*, 2017).

A Figura 6 mostra a evolução do movimento aparente do Sol ao longo de um dia solar. Observa-se que o plano definido pelo arco de trajetória do Sol não é perpendicular ao chão. Logo, o ângulo entre o plano do arco e a direção vertical é igual ao valor da latitude do local.

Figura 6 - Movimento Aparente do Sol



Fonte: Dankassoua et al., (2017)

2.3.2 Obliquidade Coletor solar

Um coletor solar é um dispositivo que absorve a energia do sol e a usa para aquecer o ar contido no interior de uma caixa metálica ou de madeira, esta contém um topo envidraçado sob um revestimento absorvedor seguido de um substrato metálico que geralmente é zinco (Zn) onde haverá a absorvência da radiação solar que a converte em energia térmica. Esse arranjo forma uma superfície seletiva do tipo absorvedor-refletor acoplados.

Segundo o método de Liu e Jordan (1962), em geral para uma dada latitude L , o melhor ângulo de inclinação é igual à latitude local. O posicionamento estrategicamente bem adequado do coletor solar é um fator relevante que justifica a maximização da potência e eficiência de um sistema fototérmico, mas que depende especialmente da irradiância coletada no interior do sistema. Por esse motivo é importante compreender o deslocamento aparente do Sol para um determinado ponto na superfície terrestre em relação ao longo do dia e ao decorrer do ano (DANKASSOUA *et al.*, 2017).

Para obtenção da máxima eficiência de um coletor solar, este deve ser posicionado para o norte completo para localidades posicionadas no hemisfério sul, de forma que a incidência da radiação solar ocorra perpendicularmente ao coletor proporcionando com isso o máximo de luz solar na sua superfície coletora.

Um dispositivo heliostático instalado no coletor solar contribuiria para movimentação contínua do painel receptor de luz solar, contribuindo assim à obtenção máxima de incidência da radiação solar perpendicular à sua superfície. Contudo, isto acarretaria elevados custos. O que normalmente se faz é posicionar a face envidraçada do coletor solar voltada para o norte geográfico, posição esta capaz de receber a máxima radiação solar quando posicionada no melhor plano inclinado entre três diferentes ângulos de inclinação em relação ao plano horizontal, ou seja: ângulo igual à latitude local, ângulo do maior valor médio de irradiação solar fornecido no período diário e anual e o ângulo do maior valor mínimo de irradiação solar fornecido no período diário e anual (CRESESB, 2018).

O CRESESB (2018) tem sido uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de Sistemas Termossolares. É importante destacar que, os valores obtidos nas simulações de irradiação solar dependem da localização geográfica onde se deseja implantar o sistema. Os três agrupamentos de valores apontam os resultados das irradiações diárias médias mensais para as três declividades: Latitude, Média Máxima e Mínimo Máximo. Em geral, o valor da latitude local é usado como ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico, que pode ser aplicado, no presente trabalho, tanto para o coletor como para o painel solar.

2.3.3 Superfície do Coletor Solar

Sendo o coletor solar uma das partes mais importantes do secador, deve-se dar uma atenção especial ao material da sua superfície, com o intuito de melhorar algumas propriedades termo físicas do material, quais sejam absorvância e emitância, a fim, de aumentar a eficiência do coletor solar (RODRIGUES, 2014). Embora alguns materiais possuam essa característica naturalmente, os materiais obtidos em laboratório possuem uma seletividade muito mais significativa.

Existem diversas maneiras de fazer com que um material obtenha características seletivas e diferentes custos. tais como: aumentar a aderência do material base, usar técnicas de deposição, usar materiais compósitos a base de ferro, titânio, alumínio, molibdênio e cromo, que apresentam bons resultados em superfícies seletivas, dentre outros (VIEIRA, 2011). Um dos processos pelos quais é possível realizar um processo de eletrodeposição é a Galvanoplastia,

que é uma reação eletroquímica que consiste na modificação das características da superfície de determinados materiais por meio do acúmulo de metais sobre eles depositados. Esse fenômeno ocorre quando dois metais com potenciais galvânicos muito diferentes estão em contato

Um dos trabalhos pioneiros a utilizar esta dinâmica foi desenvolvido por Harding (1976), quando fizeram uma camada de óxido de cromo (Cr_2O_3) ser depositada por evaporação em substratos de cobre. Outros autores também obtiveram conclusões de resultados interessantes a partir da formação superficial dos demais óxidos metálicos sob a superfície do metal de base, óxido de ferro (Fe_2O_3) e óxido cuproso (Cu_2O) (HORNSTROM *et al.*, 1984; UMA *et al.*, 1987).

2.3.4 Vidro do Coletor Solar

O desempenho térmico estimula diretamente os níveis da temperatura de um determinado ambiente de forma a produzir perdas e ganhos de energia térmica (LAMBERTS *et al.*, 2014). Dentre os elementos de cobertura térmica dos coletores solares, os vidros são os mais utilizados, por apresentarem maiores índices de transmissividade e absorvidade que devido a sua atuação no desempenho térmico são os principais parâmetros utilizados na avaliação do vidro.

É importante ressaltar que na escolha do vidro, deve-se compreender como decorre a transferência de radiação solar para o interior do coletor. Segundo Givoni (1998), a propagação da irradiação solar ao longo da superfície do vidro necessita essencialmente de aspectos fundamentais como: o ângulo de incidência da radiação solar, a composição química do vidro e sua espessura, e a característica superficial do vidro. De acordo com Markowski *et al.* (2017) quanto maior for a espessura do vidro menor será a transmissão da radiação devido a melhor capacidade de absorção do material, bem como maior será o seu isolamento térmico.

2.4 AUTOMAÇÃO

Automação se utiliza de diversas tecnologias para executar tarefas com o mínimo de intervenção humana possível. (PEREIRA, 2015; ARAÚJO JÚNIOR *et al.*, 2003).

A evolução da automação remete sempre a palavra revolução. Dado que, muitos anos atrás, o homem tem buscado facilitar certas atividades do cotidiano. Com o advento da

automação, foi possível desenvolver técnicas e diversos equipamentos no intuito de aumentar a produção com mais qualidade e em menor tempo.

Vale salientar, que o processo de automação não se resume ao âmbito industrial, tem desempenhado um papel fundamental no avanço da engenharia e ciência, extremamente importante na corrida espacial, aviação comercial, indústria de guerra, na agricultura, entre outras aplicações do cotidiano, como residências, equipamentos de pequeno porte, entre outros (ALVES e MOTA, 2003; ARAÚJO JÚNIOR *et al.*, 2003)

Para aplicação da automação em sistemas de industriais, comerciais, domésticos etc., é necessário determinar as condições do sistema e obter os valores das variáveis físicas do ambiente a ser monitorado. Dentro do universo da instrumentação, quem faz essa função são os sensores.

De acordo com a natureza do sinal de saída, os sensores podem ser classificados em sensores digitais (discretos) e sensores analógicos (contínuos). Os tipos de sensores mais comuns são os sensores de temperatura, sensores de umidade, sensores de pressão e sensores de luminosidade, sensores de presença, entre outros.

O DHT22 é um sensor de temperatura e umidade digital. É muito utilizado em estações meteorológicas, controle de irrigação, secadores, controle de temperatura e umidade em ambientes controlados etc. O DHT22 possui um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir o ar circundante, além de um conversor analógico/digital para comunicação com o microcontrolador.

No uso de microcontroladores, uma opção acessível é o Arduino, que é uma plataforma completa, baseada em hardware e software, fácil de usar. Há inúmeras placas Arduino (R3, Leonardo, Mega, Uno, Romeo V2.0, entre outros) disponíveis no mercado, cada qual com suas características (Santos, 2018). É importante destacar que é uma plataforma de código aberto, o que significa acesso a documentação detalhada e gratuita, bem como a diagramas e fontes de programas. Esta plataforma Arduino, também pode ter suas aplicações estendidas utilizando placas que contêm outros dispositivos, as quais são facilmente conectadas a ele. Estas placas são chamadas de módulos ou *Shields*. Tais placas podem funcionar como receptores GPS, módulos de rede ethernet ou wireless, dentre outros, (MCROBERTS, 2010; Ferroni *et al.*, 2015). Assim, o Arduino destaca-se por sua compatibilidade e suporte a inúmeras plataformas e seu baixo custo, com ele pode-se programar leds, displays, sensores e motores, tornando ilimitado as possibilidades de criar soluções para diversos fins.

O Arduino Uno utiliza linguagem de programação padrão em C++ para às suas configurações e as placas possuem algo em comum: são programadas através do software

ArduínoIDE (Arduíno Integrated Development Environment). Este software permite que seja possível a criação e gravação do programa em uma placa Arduino. Sua principal finalidade na implantação é facilitar a implementação do controle dos sistemas interativos que fazem parte do equipamento como os sensores e módulos. Pode ainda analisar o estado do ambiente que o cerca por meio da recepção de sinais de sensores, por exemplo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio dos laboratórios LAFHID (Engenharia de Biosistemas) e de AUTOMAÇÃO (Engenharia de Biosistemas) e o setor de marcenaria do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido CDSA/UFCG, Campus Sumé. A cidade de Sumé, com altitude em torno de 540 m em relação ao nível do mar, devido à sua posição geográfica apresenta significantes valores de irradiação solar média anual de 6,78 kWh e com temperatura média anual de cerca de 25,17 °C (Weather Spark, 2022). Dados obtidos no Google Earth mostram ainda que a cidade tem Latitude de 7.701° S e Longitude de 36.849° O.

O secador solar desenvolvido nesta pesquisa é composto de três subsistemas intercalados, quais sejam, um coletor solar, uma câmara de secagem e um duto com exaustor para otimizar a convecção forçada do ar que circula no interior do equipamento. Além disso, foi adicionado equipamentos de automação para medição, em tempo real, de temperatura e umidade relativa do ar de secagem, uma vez que são variáveis importantes para o acompanhamento da eficiência do secador solar.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO SECADOR SOLAR INDIRETO

Um enorme desafio para utilização da fonte solar é a sua intermitência ao longo do ano. Com isso, a grande preocupação deste trabalho foi projetar um equipamento com aspectos geométricos que auxiliem na mínima perda de calor através de suas paredes, objetivando com isso obter máxima eficiência do secador mesmo com grandes variações nas condições climáticas ao longo do dia, incluindo a noite, mantendo o sistema ativo.

No secador solar indireto, o coletor solar transforma a radiação solar em energia térmica, ou seja, é nesta parte do secador que o ar é aquecido e flui para a câmara de secagem onde os produtos biológicos são colocados sem que haja exposição direta à radiação solar.

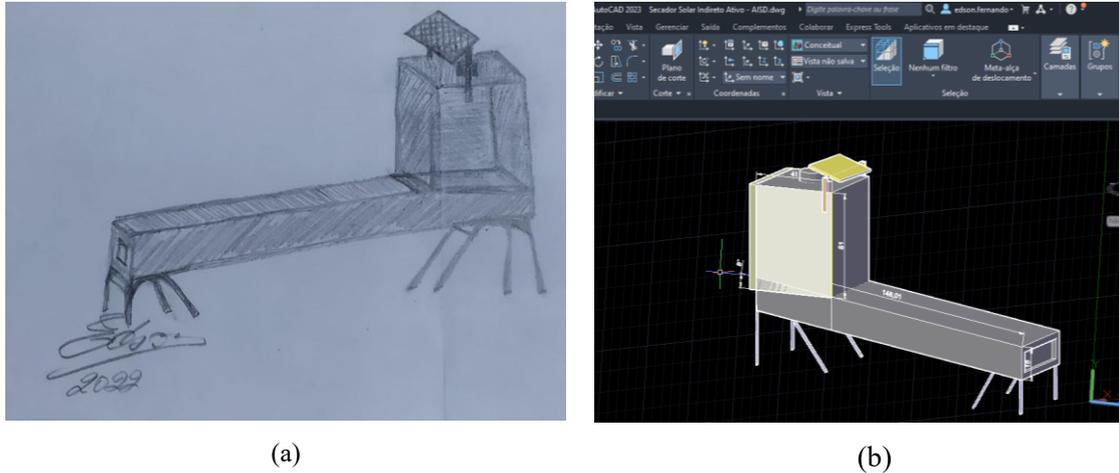
O secador solar indireto desenvolvido neste trabalho, foi cuidadosamente projetado de acordo com estudos realizados com o propósito de desenvolver um equipamento utilizando materiais de reuso que apresentam baixo custo e de fácil aquisição.

3.1.1 Croqui e Geometria do Secador Solar Indireto

A ideia do projeto do secador solar indireto, se iniciou a partir de um croqui, desenho feito à mão. A partir da utilização do software AutoCAD, foi possível desenvolver a geometria

do secador solar, conforme a Figura 7. Após conceber a ideia e determinar a geometria a ser construída, o secador solar recebeu o nome de AuroraSolar1

Figura 7 – (a) Croqui e (b) Desenho 3D no AutoCAD



Fonte: Próprio Autor

3.1.2 Materiais Utilizados na Construção do Secador Solar

Os materiais utilizados para construção do secador solar indireto foram cuidadosamente selecionados de forma a atender todos os requisitos básicos com fácil aquisição desses materiais provenientes de móveis e eletrodomésticos em desuso.

3.1.2.1 Coletor Solar

No projeto deste secador foi desenvolvido uma estrutura para o coletor solar, Fotografia 1 feita do reaproveitamento da madeira MDF de móveis descartados. No Quadro 1 estão as dimensões do coletor solar.

Fotografia 1 – Coletor Solar

Fonte: Próprio Autor

Quadro 1 – Dimensões do coletor solar

Altura (cm)	16
Largura (cm)	41
Comprimento (cm)	190

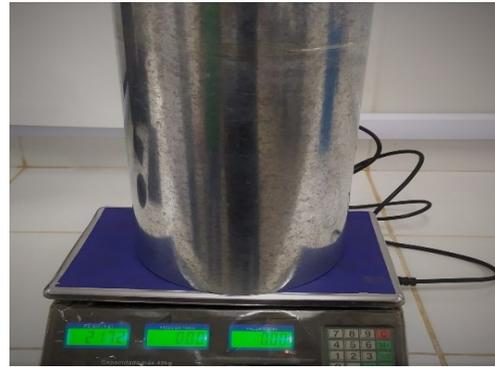
3.1.2.2 Placa de Zinco

Neste trabalho foi realizado um revestimento seletivo a partir da dissociação iônica de sulfato de cobre (CuSO_4) através do processo da eletrólise para a eletrodeposição do cobre metálico sobre uma placa de zinco, com comprimento de 190 cm e largura 40 cm, (a). Inicialmente a placa de zinco pesou 2,172 kg, (b). Durante o processo, (a), foram controlados o tempo (s) e a corrente elétrica (A) pela Lei de Faraday. Com isso, resultou um acréscimo de massa na placa de zinco devido ao cobre eletrodepositado, (b). Posteriormente a esse tratamento, a placa de zinco foi pintada com tinta acrílica preto fosco e, na sequência, foi instalada na base do coletor solar, com a intenção de favorecer a potencialização da captação de elétrons oriundas da radiação solar.

Fotografia 2 – (a) Placa de zinco antes da galvanização e (b) Peso da placa antes da galvanização ($m=2,172$ kg)



(a)



(b)

Fonte: Próprio Autor

Fotografia 3 – (a) Processo de galvanização e (b) Peso da placa de zinco após a galvanização ($m=2,266$ kg)



(a)



(b)

Fonte: Próprio Autor

3.1.2.3 Vidro

A propagação da irradiação solar ao longo da superfície do vidro necessita essencialmente de aspectos fundamentais como o ângulo de incidência da radiação solar, a composição química do vidro e sua espessura, haja vista que quanto maior for a espessura em milímetros do vidro menor será a transmissão da radiação devido a melhor capacidade de absorção do material, ou seja, quanto mais espesso for o vidro maior será o seu isolamento térmico. Nesse contexto, para se obter uma melhor eficiência térmica para o secador solar em questão, utilizou-se uma lâmina de vidro incolor com espessura de 4 mm, para ser colocado na parte superior do coletor solar

Fotografia 4 – (a) Lâmina de vidro de 4 mm e (b) Vidro na parte superior do coletor solar



(a)



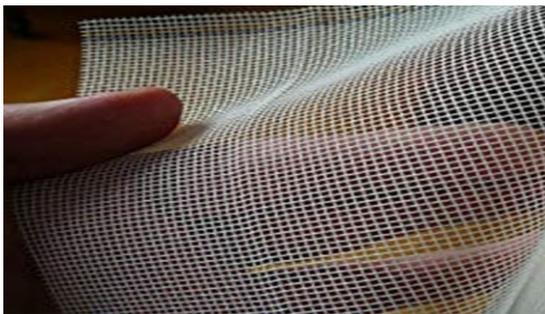
(b)

Fonte: Próprio Autor

3.1.2.4 Tela Antiafídeo

Com o intuito de reduzir significativamente a entrada de insetos que possam causar a contaminação dos produtos agrícolas expostos na câmara de secagem, foi colocada na entrada (Figura 11b) e na saída do secador solar uma malha confeccionada em fibra de vidro que suporta temperaturas até 120°C.

Fotografia 5 – (a) Tela utilizada na pesquisa e (b) Tela na entrada do coletor solar



(a)



(b)

Fonte: Próprio Autor

3.1.2.5 Câmara de Secagem

Um frigobar, linha branca, foi reaproveitado para ser usado como a câmara de secagem, onde o processo de secagem dos produtos acontece de fato. A câmara de secagem tem 34 cm

de largura, 34 cm de profundidade e altura de 45 cm.. As telas foram confeccionadas a partir de material de antena parabólica

Fotografia 6 – Câmara de Secagem



(a)



(b)

Fonte: Próprio Autor

Para acoplar o frigobar, denominado agora de câmara de secagem, no coletor solar foi feito um corte em sua base, para possibilitar que o ar fluísse em seu interior.

Fotografia 7 – Câmara de Secagem



(a)



(b)

Fonte: Próprio Autor

3.1.2.6 Exaustor

Um microventilador usado (cooler fan), proveniente de computadores inutilizados, foi adaptado como exaustor na parte superior da câmara de secagem, de modo a auxiliar a circulação de ar quente em maior velocidade devido ao fluxo de ar sugado pelo exaustor.

Fotografia 8 – Exaustor Axial



(a)



(b)

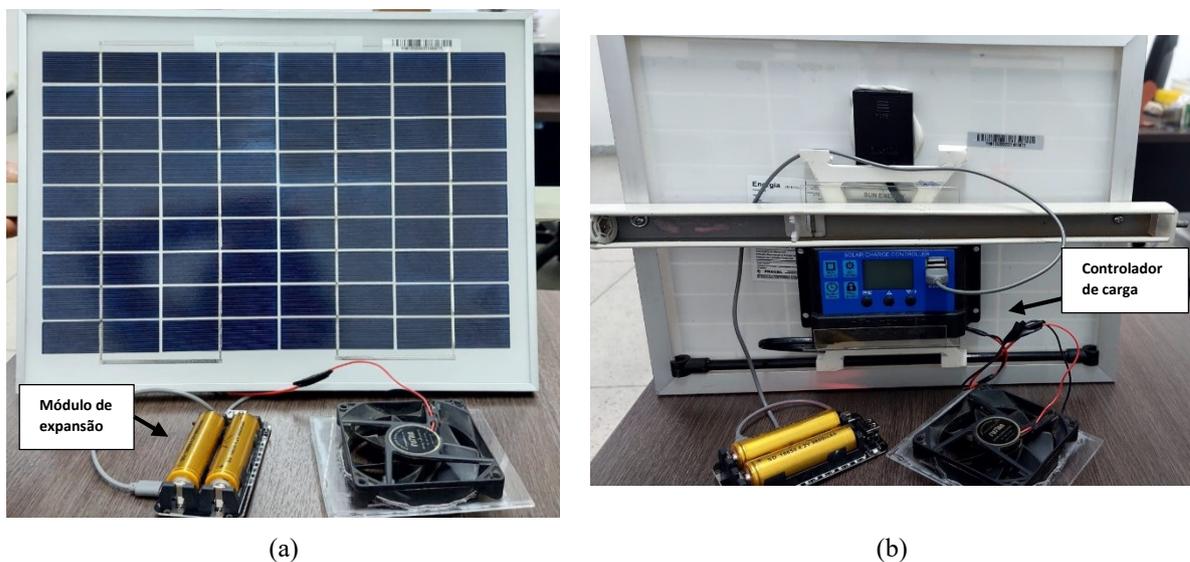
Fonte: Próprio Autor

3.1.2.7 Painel Fotovoltaico

Para o funcionamento do exaustor (cooler fan) e demais dispositivos um painel solar, módulo fotovoltaico de 10W foi utilizado para geração de energia elétrica a partir da radiação solar. Dessa forma, foi possível alimentar um módulo de expansão (Dual Esp32 V8 USB-c) com quatro baterias recarregáveis modelo (18650 4.2V). As baterias fornecem energia (DC) para o funcionamento dos equipamentos eletrônicos que fazem parte da automação do secador solar (Arduino Uno, Módulo Wifi ESP-8266, Exaustor, Sensores DHT22 de Temperatura e Umidade).

O painel foi acoplado por meio de um suporte de alumínio regulável, acima da câmara de secagem, como pode ser observado. Ao usar o painel solar é necessário um controlador de carga, que tem como função proteger as baterias de serem sobrecarregadas, ou descarregadas profundamente, e assim garantir, que toda a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, seja armazenada com maior eficácia nas baterias.

Fotografia 9 – (a) Frente do painel solar e (b) Atrás do painel solar



Fonte: Próprio Autor

Fotografia 10 – (a) Vista frontal da Placa Fotovoltaica e (b) Vista lateral da Placa Fotovoltaica



(a)

(b)

Fonte: Próprio Autor

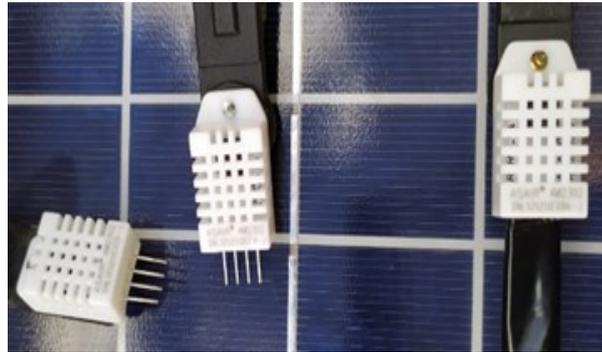
3.1.3 Equipamentos de automação

3.1.3.1 Sensores

Foram utilizados neste projeto três sensores de temperatura e umidade, modelo DHT22 com comunicação digital. Este tipo de sensor permite realizar leituras de temperaturas entre -40 a +80 °C e umidade relativa entre 0 a 100%, com dados confiáveis e estáveis, apresentando precisão de umidade de medição: $\pm 2,0\%$ UR e precisão de medição de temperatura: $\pm 0,5$ °C.

A disposição desses sensores se deu da seguinte forma:

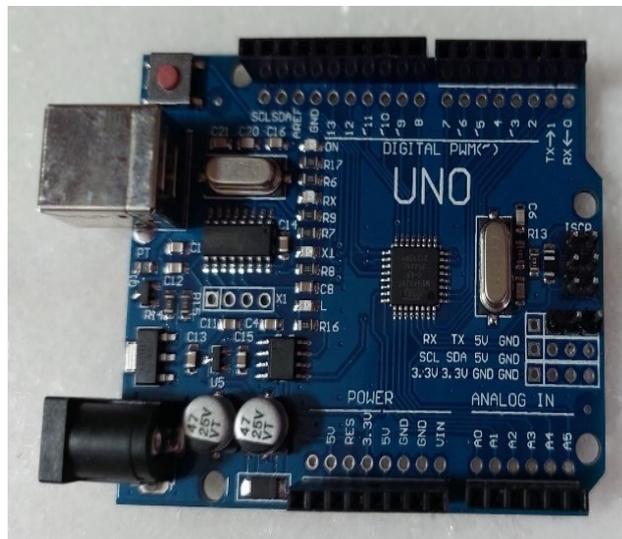
- (a) Foi instalado um sensor na entrada do secador solar (parte interior do coletor solar), chamado de R1, para obter os resultados de umidade e Temperatura 1;
- (b) Outro sensor foi instalado na junção do coletor com a câmara de secagem, denominado de R2 para obtenção dos resultados de umidade e Temperatura 2, para resultados de temperatura;
- (c) e o último sensor situa-se na saída do exaustor na parte superior da câmara de secagem, denominado de R3 para obtenção dos resultados de umidade e Temperatura 3.

Fotografia 11 – Sensores DHT22

Fonte: Próprio Autor

3.1.3.2 Plataforma Arduino

Para o presente projeto foi escolhido o modelo Arduino Uno R3.

Fotografia 12 – Arduino UNO

Fonte: Próprio Autor

Inicialmente, foram programados os sensores de temperatura e umidade. A Figura 20 (a) mostra uma tela da IDE de programação do Arduino. Após programação ajustada foi realizado um teste em que foi possível observar a leitura dos dados, como mostrado na Figura 19b.

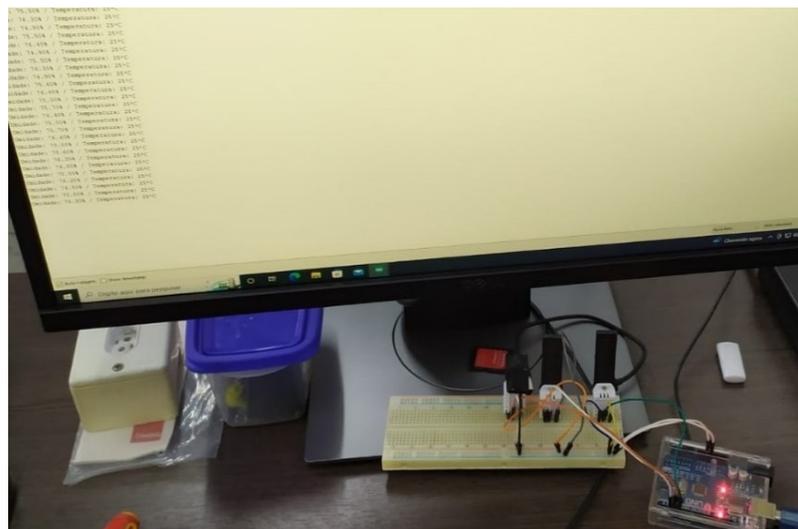
Fotografia 13 – (a) Exemplo de programação no Arduino IDE e (b) Resultados de temperatura e umidade

```

GetChipID | Arduino 1.8.15
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
GetChipID
16 Serial.begin(115200);
17 }
18
19 void loop() {
20   for(int i=0; i<17; i=i+8) {
21     chipId |= ((ESP.getEfuseMac() >> (40
22   }
23
24   Serial.printf("ESP32 Chip model = %s Re
25   Serial.printf("This chip has %d cores\n
26   Serial.print("Chip ID: "); Serial.print
27
28   delay(3000);
Compilando sketch...

```

(a)



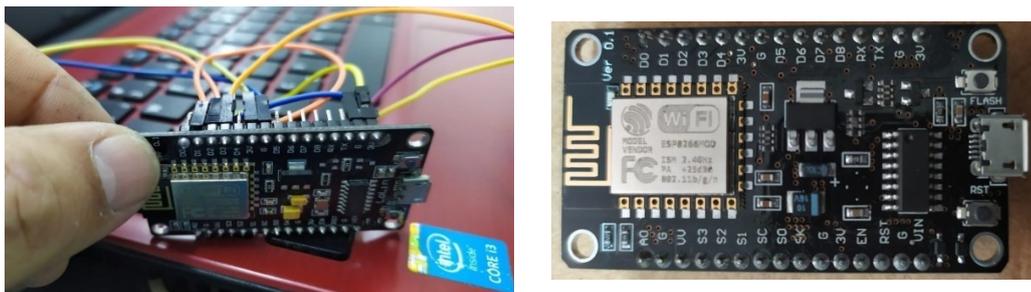
Fonte: Próprio Autor

(b)

Para armazenamento dos dados obtidos de temperatura e umidade do ar, foi necessário o uso de um módulo WiFi ESP8266, utilizando duas portas digitais do Arduino, cuja função é conectar projetos e sistemas na internet através da rede Wireless, para que o projeto possa ser acessado, controlado e, também, adquirir informações de forma remota, em tempo real, podendo armazenar dados na *cloud computing*, ou seja, nas nuvens.

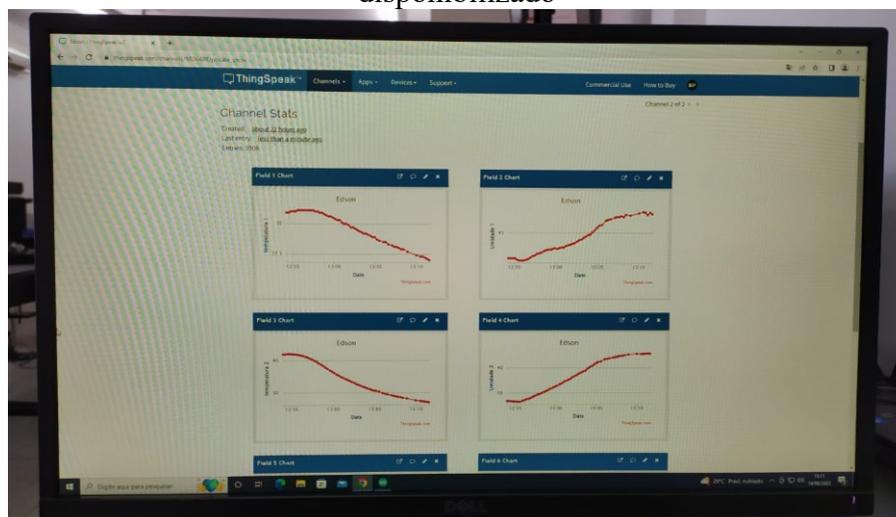
Os dados obtidos durante o experimento foram enviados para a plataforma *ThingSpeak*, que permite, sem custo algum, o upload de dados numéricos, os quais foram representados em função do tempo, conforme descrito. Assim, para monitorar qualquer grandeza numérica (umidade, temperatura, pressão, luminosidade etc.) à distância via Internet, o *ThingSpeak* é uma das plataformas mais indicadas (BERTOLETI, 2020). No canal *ThingSpeak*, foi selecionada a opção para dados públicos.

Fotografia 14 – Módulo WiFi ESP8266

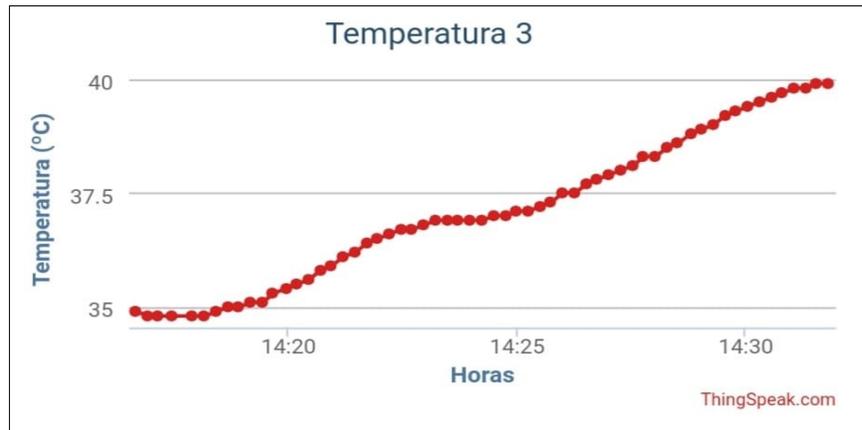


Fonte: Próprio Autor

Fotografia 15 – (a) Resultados no canal *ThingSpeak* e (b) Tipo de gráfico disponibilizado



(a)



(b)

Fonte: Próprio Autor

Figura 8 – Canal *ThingSpeak*

Fonte: Próprio Autor

3.1.4 Suporte para o secador solar

Para a sustentação do secador solar foi utilizado como suporte, material de sucata descartado de carteiras escolares da UFCG.

Fotografia 16 – (a) Suportes de metal e (b) Suporte no secador solar



(a)



(b)

Fonte: Próprio Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 SECADOR SOLAR

Após todos os estudos, definição da geometria e escolhas dos materiais, bem como as definições de equipamentos para automação, chegou-se ao secador solar, em sua versão final, sendo chamado de AuroraSolar1. Alguns detalhes do AuroraSolar1. Para proteger os dispositivos foi usado um material de plástico retirado do próprio frigobar que seria descartado.

Fotografia 17 – (a) Secador Solar AuroraSolar1



Fonte: Próprio Autor

Fotografia 18 – (a) Vista de cima do Secador Solar Aurora1 e(b) Detalhe do painel solar e exaustor



(a)



(b)

Fonte: Próprio Autor

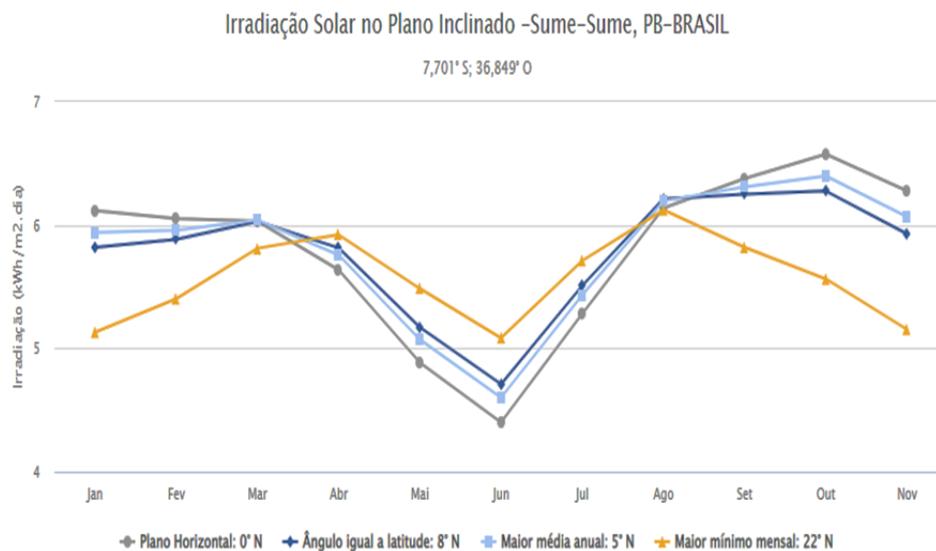
4.2 OBLIQUIDADE DO COLETOR SOLAR

Com a ferramenta disponibilizada pelo CRESESB (2018) foram gerados dados capazes de determinar uma aproximação para o ângulo de inclinação para ser aplicado no coletor solar do secador AuroraSolar1, a fim de receber a maior radiação solar possível, neste caso no Município de Sumé. No Gráfico 1, observa-se que o melhor ângulo foi de 8°, visto que o valor apresentado corresponde a Latitude. Assim, o coletor solar ficou com inclinação de 8°.

Gráfico 1 – Irradiação solar no plano inclinado, Sumé/PB

Estação: Sume
Município: Sume, PB - BRASIL
Latitude: 7,701° S
Longitude: 36,849° O
Distância do ponto de ref. (7,701° S; 36,849° O): 0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	6,12	6,05	6,03	5,64	4,89	4,40	4,57	5,28	6,14	6,38	6,57	6,28	5,70	2,17
✓	Ângulo igual a latitude	8° N	5,82	5,89	6,03	5,81	5,17	4,71	4,87	5,51	6,21	6,25	6,28	5,93	5,71	1,57
✓	Maior média anual	5° N	5,94	5,96	6,04	5,76	5,07	4,60	4,77	5,43	6,20	6,31	6,40	6,07	5,71	1,80
✓	Maior mínimo mensal	22° N	5,13	5,40	5,81	5,92	5,48	5,08	5,21	5,71	6,12	5,82	5,56	5,15	5,53	1,04



Fonte: CRESESB (2018)

4.3 TEMPERATURA DO AR NO INTERIOR DO SECADOR SOLAR

Com o intuito observar o comportamento do secador solar AuroraSolar1, isto é, acompanhar a evolução da temperatura e umidade relativa do ar no interior do equipamento,

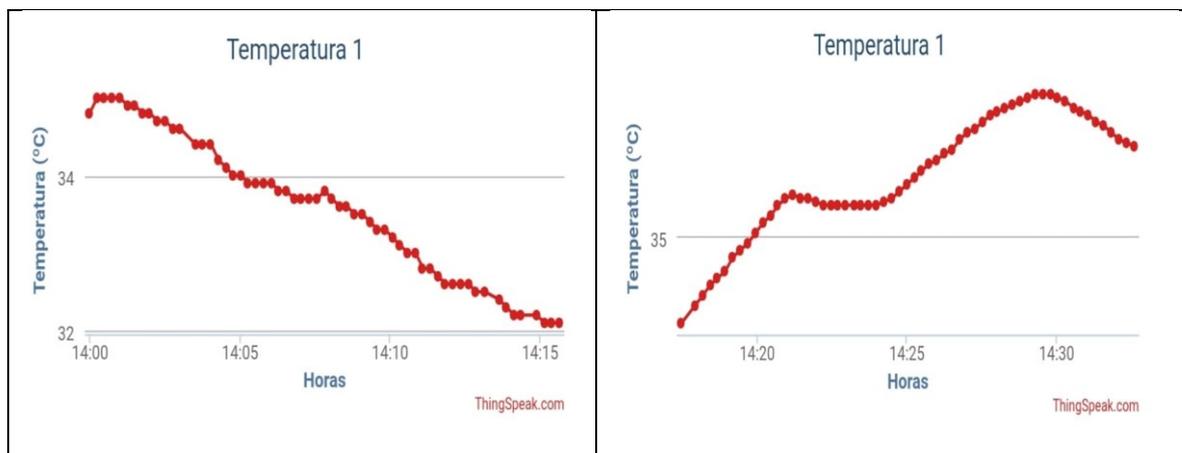
este foi submetido as condições climáticas do município de Sumé, posicionado em uma área livre e adequada, direcionada ao norte.

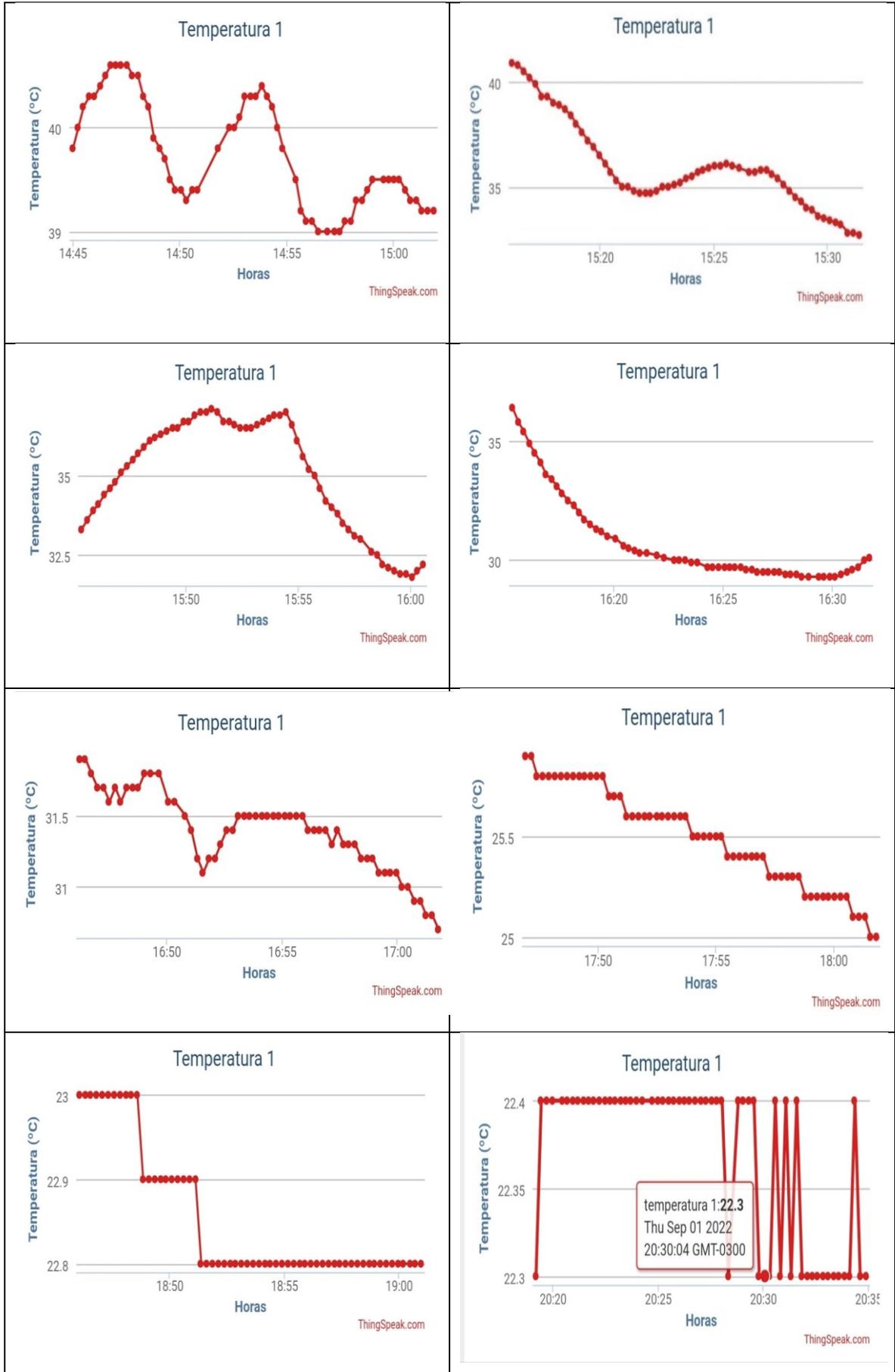
Os resultados obtidos da temperatura e umidade relativa do ar, tomadas pelos sensores, foram enviados para a plataforma *ThingSpeak* por meio do módulo Wi-ESP8266, gerando gráficos da variável lida em função do tempo que serão apresentados a seguir.

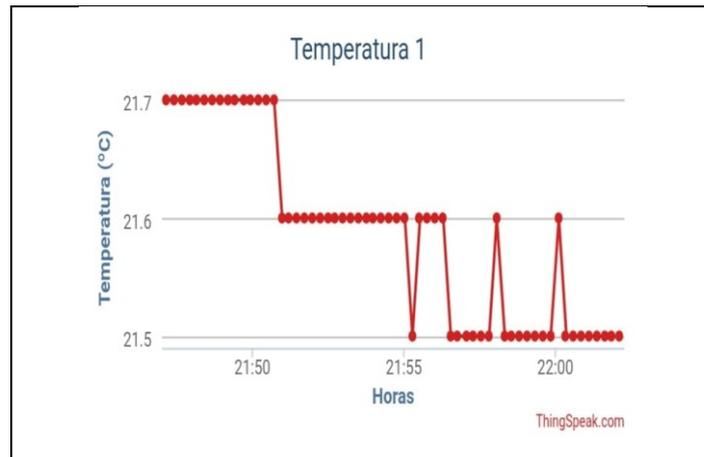
Vale salientar que para pôr o secador AuroraSolar1 em operação, foi preciso realizar diversos ajustes o que prejudicou a maioria das análises quantitativas. O experimento iniciou-se a partir das 14:00h onde a temperatura ambiente no município de Sumé se encontrava a 30 °C. O secador foi fechado, entrada e saída, as 17:00h. Os dados coletados foram de 30 em 30 min até as 17:00h, e posteriormente de 60 em 60 min, até as 22:00h.

O Gráfico 2 mostra os gráficos obtidos da plataforma *ThingSpeak*, onde estão plotados os resultados da evolução da temperatura do ar de secagem na entrada do secador, medida pelo sensor R1, a partir das 14:00h. Pode-se perceber que estes resultados estão dentro do esperado para a temperatura na entrada do secador. Ao longo do tempo a temperatura tende a subir, embora algumas variações podem ser causadas pelo aparecimento de nuvens. No período noturno, entre 19:00 h e 22:00h a temperatura oscila num pequeno intervalo de temperatura, ficando a temperatura do ar mais próxima da temperatura ambiente que era em média de 22 °C. Isto pode se dá porque o sensor que mede esta temperatura fica localizado na entrada do secados solar onde, mesmo fechando o secador, o ar ainda passa pelas frestas existentes. Outro fator para a diminuição da temperatura é a queda da radiação solar incidente.

Gráfico 2 – Evolução da temperatura no interior secador AuroraSolar1 a partir das 14:00h a uma temperatura ambiente de 30 °C



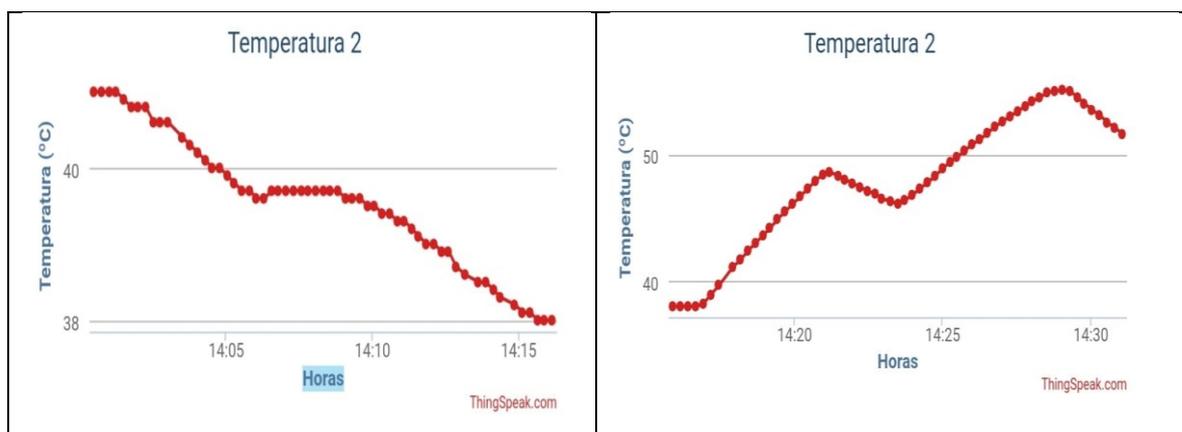


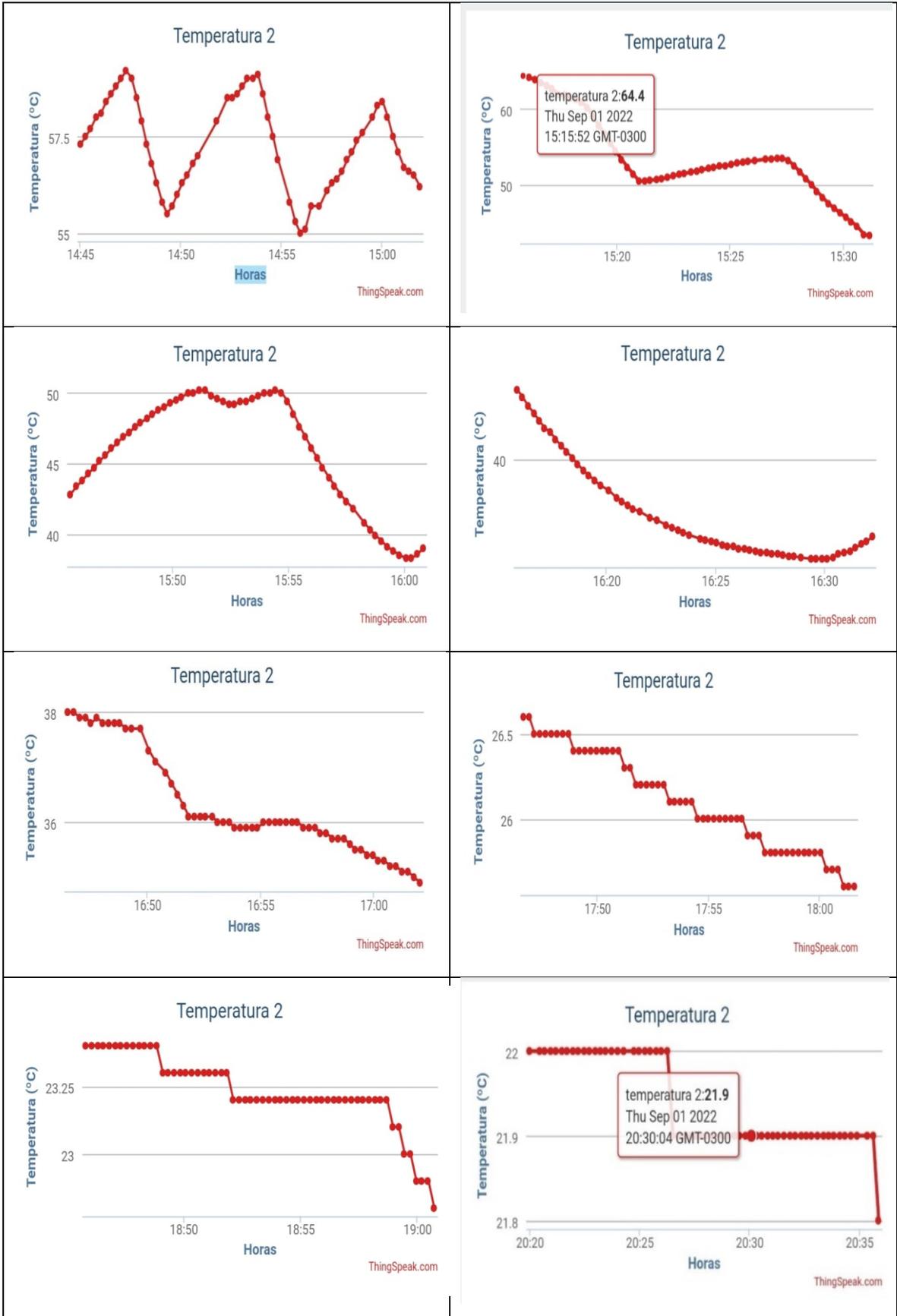


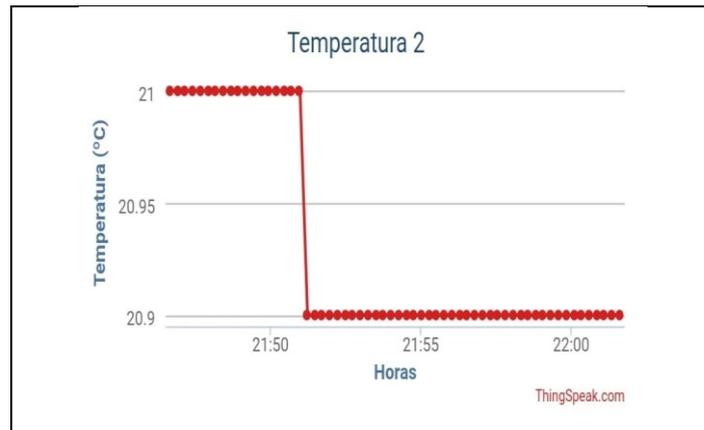
Fonte: Dados da pesquisa.

O Gráfico 3 mostra os gráficos da evolução da temperatura do ar de secagem na entrada da câmara de secagem do secador solar em função do tempo, medida pelo sensor denominado R2, a partir das 14:00h. Os resultados foram bastante satisfatórios para validação do equipamento, visto que por volta das 15:00h a temperatura na entrada da câmara de secagem chegou a atingir 64,4 °C, enquanto a temperatura ambiente estava em torno de 30 °C, conforme pode ser observado no Gráfico 3, que mostra a evolução da temperatura no município de Sumé. Portanto, a temperatura no interior do secador AuroraSolar1 mais que dobrou em relação a temperatura do meio ambiente, ou seja, atingiu 114,7% da temperatura ambiente.

Gráfico 3 - Evolução da temperatura no interior secador AuroraSolar1 a partir das 14:00h a uma temperatura ambiente de 30 °C

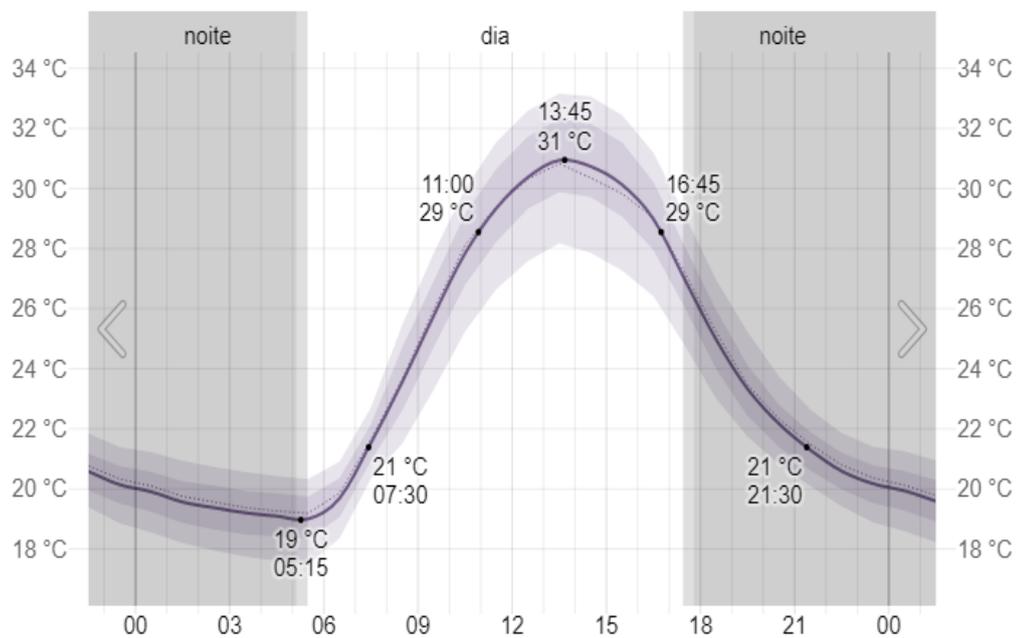






Fonte: Dados da pesquisa.

Gráfico 4 - Temperatura média em Sumé/PB em 01 de setembro de 2022

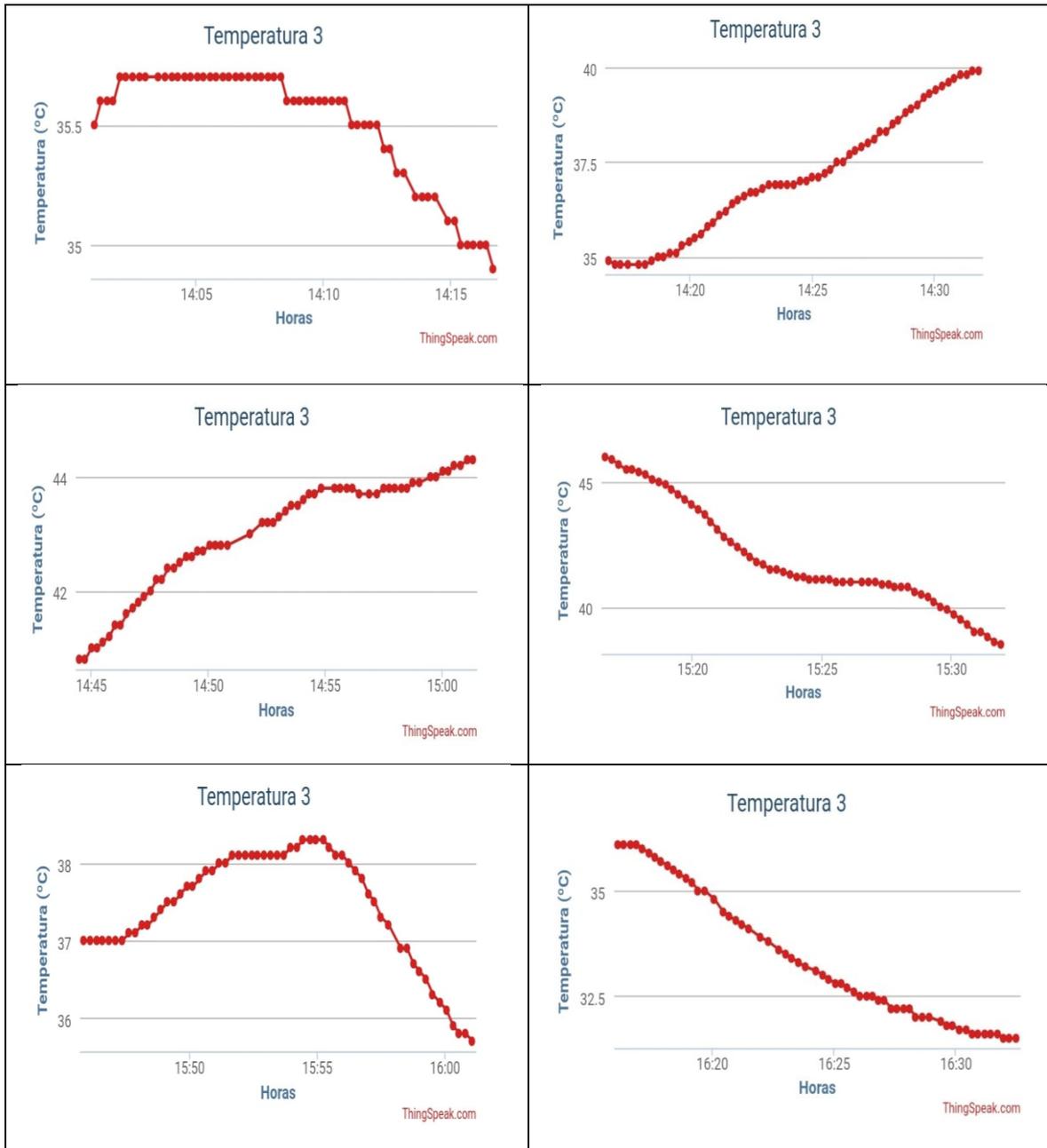


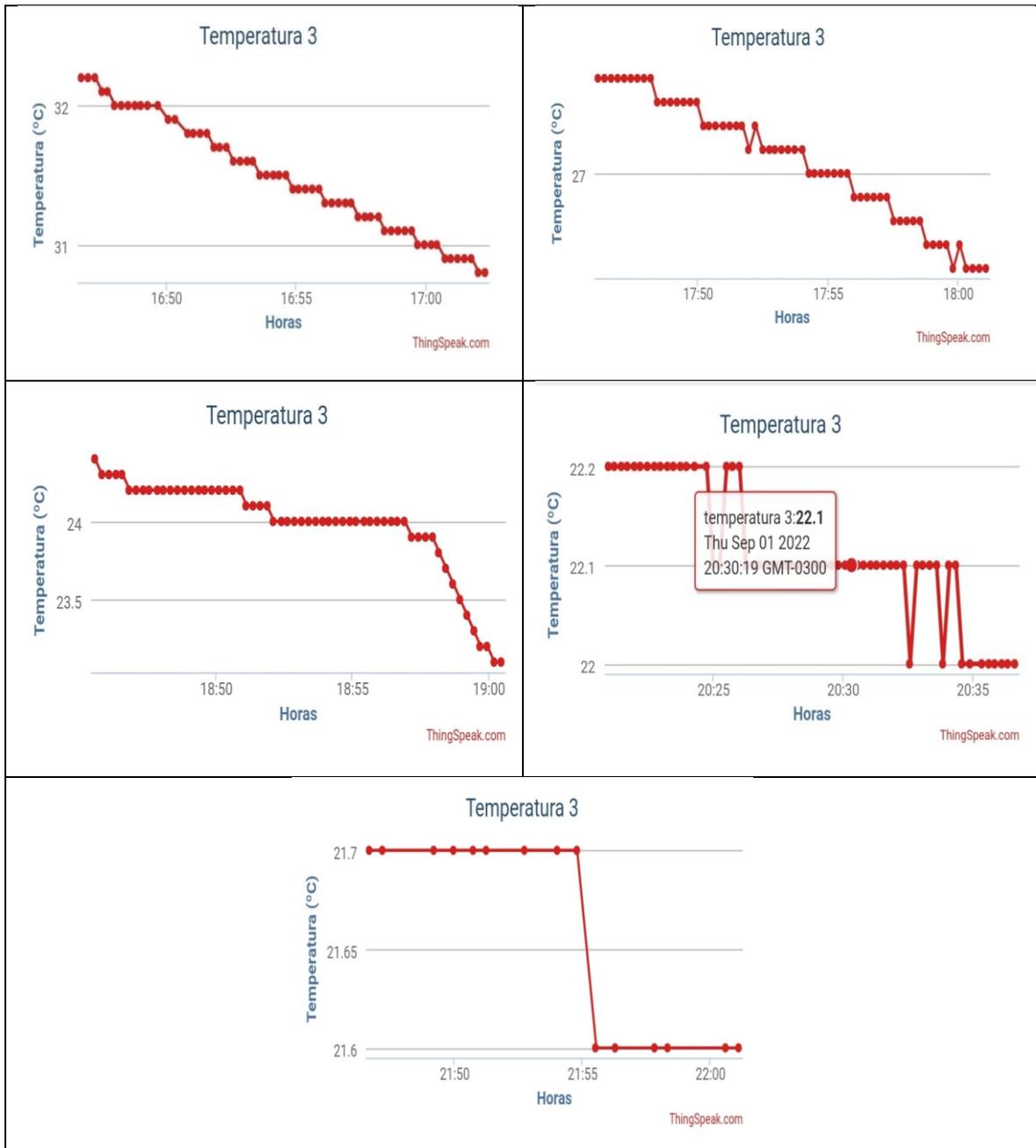
Fonte: (Weather Spark, 2022)

Os resultados mostrados no Gráfico 5 para o sensor R3, fixado na saída que fica na parte superior da câmara de secagem e antes do exaustor, mostraram boa concordância com o esperado para a evolução da temperatura, ao longo do tempo, no interior do secador solar. Neste ponto, o ar que vem do coletor solar em direção a câmara de secagem encontra um volume maior e se expande, diminuindo a energia cinética entre as moléculas do ar, diminuindo também a pressão, e conseqüentemente a temperatura também diminui. Observa-se que no período noturno, entre 19:00 e 22:00, os três sensores se comportam de forma similar, obtendo valores próximos a temperatura ambiente, devido a diminuição da radiação solar.

Nesta hipótese de estar sendo realizada a secagem de um produto, seria observado um aumento da umidade do ar devido a evaporação da água do produto no interior do equipamento. Este fato é desfavorável a secagem. Uma forma de aumentar a eficiência de secagem é remover, de maneira mais rápida, esse ar que ficaria mais úmido com a utilização de um exaustor.

Gráfico 5 - Evolução da temperatura no interior secador AuroraSolar1 a partir das 14:00 a uma temperatura ambiente de 30 °C





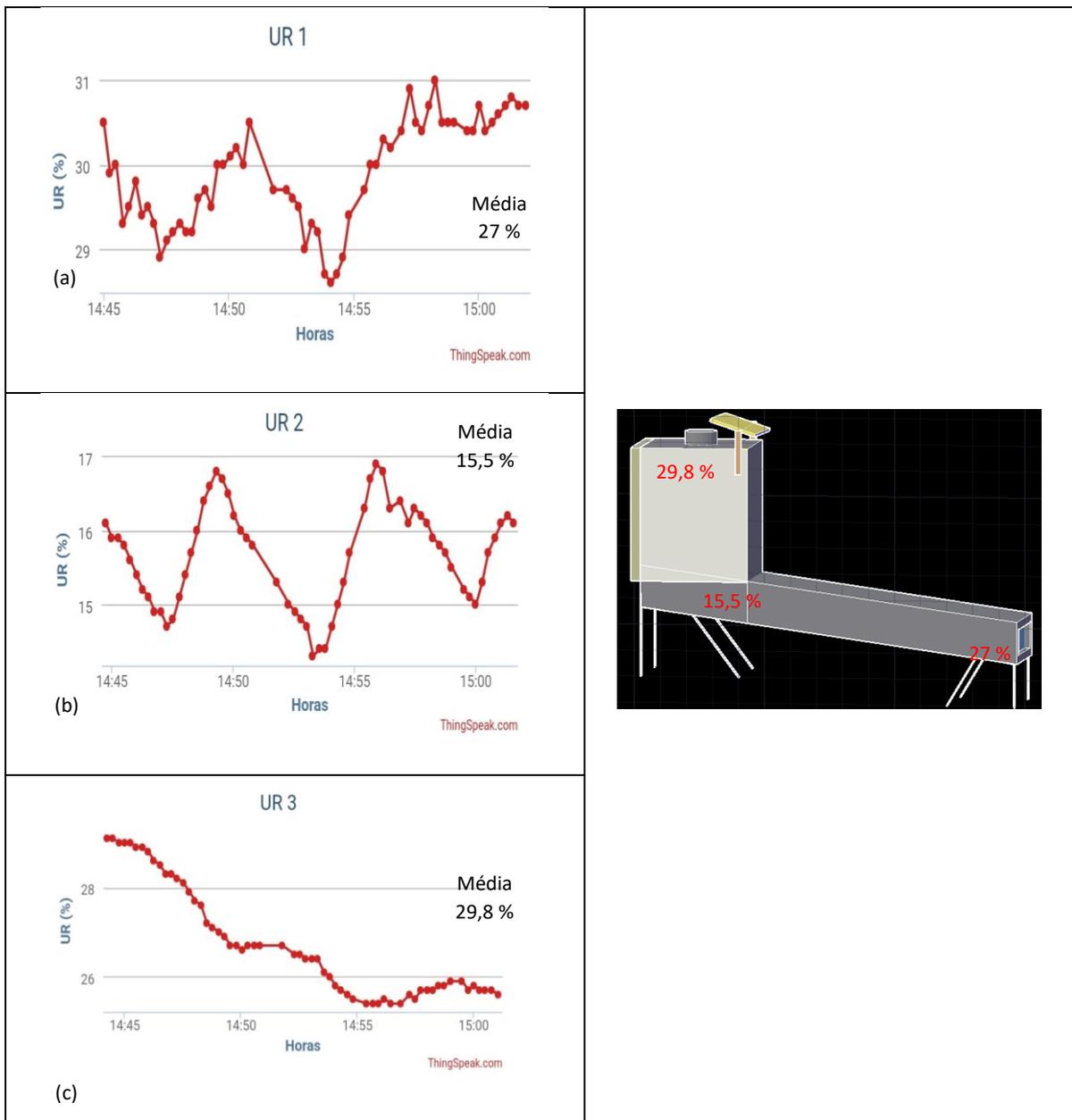
Fonte: Dados da pesquisa.

4.4 UMIDADE DO AR NO INTERIOR DO SECADOR SOLAR

O Gráfico 6 mostra a evolução da umidade relativa do ar de secagem em função do tempo para os três sensores em um mesmo período. Observa-se nestas figuras, de um modo geral, que a umidade relativa do ar sofre uma redução com o aumento da temperatura no interior do secador, uma vez que o secador está operando sem o produto não havendo aumento da quantidade de água por quilograma de ar seco (umidade absoluta).

Ainda no Gráfico 6, pode-se constatar que na entrada do coletor solar tem-se um valor médio aproximado da umidade relativa de 27%. No entanto, o ar ao fluir ao longo do coletor solar é aquecido de forma a provocar uma redução da umidade relativa para cerca de 15,5%, medida na entrada da câmara de secagem. Na saída da câmara de secagem a umidade relativa do ar aumenta em média para 29,8%. Este fato pode ser explicado devido a redução da seção transversal da saída da câmara de secagem, proporcionando uma compressão do ar (aumento da pressão).

Gráfico 6 - Evolução da umidade relativa do ar no interior secador AuroraSolar1



Fonte: Dados da pesquisa.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Ao final do trabalho desenvolvido pode-se chegar as seguintes conclusões:

- O uso de materiais reaproveitados para a construção do secador, além de serem alternativos e não prejudiciais, tornaram a construção mais fácil e diminuíram custos;
- Os resultados mostraram bom desempenho do protótipo e confirmaram a viabilidade do sistema confeccionado.
- Os estudos indicaram que a melhor inclinação para o coletor solar foi o de 8°;
- No secador solar foi possível atingir temperaturas em torno de 64,4 °C na condição ambiente da realização do experimento;
- Na entrada da câmara de secagem a umidade relativa do ar apresentou valor menor que na entrada do coletor solar, pelo aquecimento do ar ao longo do coletor;
- Obteve-se na saída da câmara de secagem uma umidade relativa do ar maior do que a da entrada;
- Os resultados experimentais indicam que o secador solar construído tem características promissoras na utilização de secagem de produtos agrícolas.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sob diferentes motivos, algumas lacunas importantes não foram preenchidas durante a realização deste trabalho e poderão ser desenvolvidas e estudadas em trabalhos futuros:

- Fazer a comparação entre o secador com e sem convecção forçada;
- Avaliar o efeito da deposição eletroquímica do cobre na placa de zinco sobre absorvidade e a emissividade;
- Avaliar a eficiência do secador solar sob diferentes condições operacionais na secagem de produtos orgânicos e inorgânicos;
- Testar um sistema de secagem híbrido com o uso de energia solar e de outra fonte energética complementar como o biogás, devido à energia solar uma fonte de energia intermitente.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. B.; LIMA, M. A. A.; SOUZA, L. G. M. **Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material Reciclável**, HOLOS, Ano 32, Vol. 4, 2016.
- ALONSO, L. F. T. **Algoritmos de seleção e dimensionamento de secadores**, Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, SP, Brasil, 2001.
- ALVES, J. A.; MOTA, J. **Casas inteligentes**. Centro Atlântico, 2003.
- ARAÚJO JÚNIOR, A. P., Chagas, C. V., Fernandes, R. G. **Uma rápida análise sobre automação industrial**, Redes para Automação Industrial, UFRN, Natal/RN, 2003.
- ASTRONOO - **Plano de inclinação axial ou obliquidade da Terra. Parâmetros ou ciclos Milankovic**. <http://www.astronoo.com/pt/artigos/obliquidade-da-terra.html>. Acesso em: 11/06/2022.
- BERTOLETI, P. **Envie dados de temperatura e umidade relativa do ar para o ThingSpeak com o ESP8266**, 2020 Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/esp8266-com-thingspeak>. Acesso em: 30 julho 2022.
- CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito). Rio de Janeiro, RJ. **Cálculo da Radiação no plano Inclinado**, 2018.
- DANKASSOUA, M.; MADOUGOU, S.; YAHAYA, S. **Avaliação do Potencial Solar na Niamey: Estudo Dados de Insolação**. Smart Grid e Energia Renovável, vol. 8, nº12. 394-411, 2017.
- DIAS, A.M.S.M.R. **Secagem solar como técnica para reduzir as perdas-pós-colheita dos pequenos produtores. Construção de um secador solar indireto a partir de materiais reutilizados**. Lisboa: ISA, 2017.
- FERRONI, E. H.; VIEIRA, H. R.; NOGUEIRA, J. H.; SANTOS, R. K. C.; LEMOS, R. M.; RODRIGUES, T. B. **A plataforma arduíno e suas aplicação**, Vol 3 n.º 2, Número Especial da Rede ACINET, 2015.
- FIGLIAREZZA, R., **Princípios de secagem de produtos biológicos**. Vol. 1, 229 p., 1ª Edição, Editora Universitária, João Pessoa, UFPb, 2004.
- GIVONI, B. **Climate consideration Building and Urban Design**. Toronto: John Wiley e Sons, p.484, 1998.
- HARDING, G.L **Evaporated chromium black selective solar absorbers**. Thin Solid Films, v. 38, p.109-115, 1976.
- HORNSTROM, S.E.; KARLSSON, S.E.; ROOS, A.; WESTERSTRANDH, B.; KAMF, A. **Optical properties and surface composition of oxidized copper for solarabsorbers**. Solar Energy Materials, v. 9, p. 367-389, 1984.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – 2022, **O Tamanho do Brasil** (ibge.gov.br) acessado em 01/06/2022.

IEA - Matriz Energética Mundial. – International Energy Agency acessado em 10/06/2022. Sustentabilidade e Questões Ambientais no Processamento de Alimentos.

LAMBERTS, R.; PEREIRA, F. O. R.; DUTRA, L. **Eficiência Energética na Arquitetura**, Rio de Janeiro, nº. 03, 2014.

LIU, B. Y. H., JORDAN, R. C., 1962. **Daily Insolation on Surfaces Tilted Toward the Equator**. ASHRAE J., 3 (10).

MACHADO, A. V. **Estudo da secagem do pedúnculo do caju em sistema convencional e solar. Modelagem e Simulação do Processo**. 126f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. 2009.

MARKOWSKI, R.J.L.; PIOVESAN, T.R.; JESUS, B.M.; WISNESKI, C.P.; JESUS, F.S. **Influência dos vidros no desempenho térmico**, XXV Seminário de Iniciação Científica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2017.

MCROBERTS, Michael. **Beggining Arduino**. Apress. Nova Iorque: 2010.

MURPHY, F.; MCDONNELL, K.; FAGAN, C. C. **Sustainability and environmental Issues in Food Processing: principles and applications**, second edition. Edited by Clark, S.; Jung, S.; Lamsal, B. (Ed.). John Wiley & Sons, Ltd. 2014.

OLIVEIRA, F. **Ecoeficiência: a gestão do valor ambiental**. Edit. (EPSE). ed. Kindle, 2007.

PARK, K. J. B.; ALONSO, L. F. T.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D.; PARK, K. J. **Seleção de secadores: fluxograma**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, PB. v. 9, n. 2, p. 179-202, 2007.

PEREIRA, D. A. R. **Projeto de um sistema de automação industrial para uma indústria de produtos saneantes**, Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB Faculdade UnB Gama - FGA , 2015

RODRIGUES, F. P. **Obtenção e estudo de uma superfície seletiva para coletores solares térmicos a partir de resíduos de granito**. 42f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014

ROLA, M. C.; FREITAS, V. O.; PORTA, A. **Desarrollo y evaluación de un secador solar activo indirecto aplicado a deshidratación de manzanas**. IX Congresso Brasileiro de Energia Solar, Florianópolis, 23 a 27 de maio de 2022.

SANTOS, R. V. **Uso do arduíno e shield ethernet para monitoriamento de luminosidade, controle de temperatura e dispositivos**, Especialização em automação e controle de processos industriais, diretoria de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

SAVICKI, D. L. **Análise numérica tridimensional e investigação experimental do comportamento térmico e hidrodinâmico de reservatórios térmicos cilíndricos**. 222f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica do Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS. 2007.

SILVA, L.C., **Secagem de grãos, Revista Grãos do Brasil: da Semente ao Consumo**, Ano III, Nº XIV, pp. 10-14, 2005.

SILVA, W. P.; S., C. M.D.P.S.; GAMA, F. J.A; GOMES, J. P. **Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas**. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, v. 13 p. 67-74, 2013.

SOTERIS, K. **Engenharia de Energia Solar: processos e Sistemas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SOUZA, L. G M.; COSTA, J. B. S.; BARBOSA, J. R. P.; BATISTA, S. S.; LIMA, F. A. S. **Construção do Secador Solar com Sucatas de Tambor Descartado**. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. São Luís - MA. 2012.

SOUZA, M. S.; CRUZ, V. M. V.; PENA, G. L.; CORREIA, L. K.; SANTANA, L. T.; REIS, C. M. Estudo da cinética de secagem da maçã (*malus domestica borkh*) em secador solar misto sob convecção forçada, In: ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2016. Anais eletrônicos... Galoá, 2016. Disponível em: <https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/estudo-da-cinetica-de-secagem-da-maca-malus-domestica-borkh-em-secador-solar-misto-sob-conveccao-forcada>. Acesso em: 01 julho 2022.

THOMAZINI, L. F. V. Estudo do comportamento da Temperatura e da Umidade do ar no Interior de um Secador Solar Misto de Ventilação Natural. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2015. VALE, C. P. L. et al. Composição E Propriedades Da Semente De Abóbora. **Fag Journal of Health**, vol. 1, nº. 4, p. 79– 90, 2015.

UMA, C.S.; MALHOTRA, L.K.; CHOPRA, K.L. **Spectrally selective surfaces on stainless produced by chemical conversion**. Thin solid Films, v.147, p.243-249, 1987.

VELOSO, C. R. R. **Secagem de café com polpa em secador solar de bandeja**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2020. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.3025>

VIEIRA, S. G. **Obtenção, Caracterização e Aplicação de uma nova Superfície Seletiva para Coletores Solares Térmicos**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)

– Departamento de Engenharia Mecânica e de Produção. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

WAEWSAK, J.; CHINDARUKSA, S.; PUNLEK C. **A mathematical modeling study of hot air drying for some agricultural products.** *Thammasat. Int. J. Sci. Technol.*, vol. 11, nº. 1, p. 14-20, 2006.