

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MARIA CECÍLIA SOARES CORREIA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM COLETOR ARMAZENADOR
SOLAR PLANO HORIZONTAL**

João Pessoa-PB
2020

MARIA CECÍLIA SOARES CORREIA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM COLETOR ARMAZENADOR
SOLAR PLANO HORIZONTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos
do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da
Paraíba no período de 2019.2, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro de
Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Anoar Abbas El-Aouar

João Pessoa-PB
2020

MARIA CECÍLIA SOARES CORREIA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM COLETOR ARMAZENADOR
SOLAR PLANO HORIZONTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba no período de 2019.2, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Data:

Resultado:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ânoar Abbas El-Aouar
DEA/CT/UFPB - Orientador

Prof^a. Dr^a. Joselma Araújo de Amorim
DEA/CT/UFPB - Examinador

Prof. Dr. Pierre Corrêa Martins
DEA/CT/UFPB - Examinador

João Pessoa - PB
2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por ter sido minha força diante dos desafios que surgiram durante meu processo de formação.

Aos meus pais, Almir e Regina, por todo incentivo e confiança depositados em mim desde a infância até aqui, não medindo esforços para que a realização desse sonho fosse possível.

Ao professor Dr. Anoar Abbas El-Aouar por sua orientação ao longo deste trabalho, por compartilhar o seu conhecimento e experiência com dedicação, paciência e perseverança.

Agradeço ao meu namorado Manoel, por seu amor, compreensão e suporte durante esta fase da minha vida.

A todos os meus amigos do curso e da igreja, como também meus familiares que contribuíram direta ou indiretamente nessa caminhada árdua, estando ao meu lado nos momentos de agonia e rezando por mim.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), Thayze e Josevan, por todo apoio na realização dos experimentos.

RESUMO

A energia solar é uma modalidade de energia limpa que pode ser utilizada como fonte de energia térmica para aquecimento do ar em secadores convectivos. Como a radiação solar no Brasil é abundante, em quase todo o ano, a secagem solar se torna uma alternativa adequada, reduzindo custos de processamento e possíveis impactos ambientais. Seu aproveitamento pode ser realizado através do uso de coletores solares, responsáveis por transformar a energia da radiação solar em energia térmica, visando o aquecimento do ar ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho térmico de um coletor armazenador solar do tipo plano horizontal. O coletor solar construído foi do tipo placa plana horizontal e para maximizar a absorção da radiação solar foram utilizados separadamente uma chapa metálica de zinco (CM) e uma palha de aço comercial (PA). Os ensaios 1, 2 e 3 foram realizados utilizando a configuração CM, e para o ensaio 4 foi usada a configuração PA. Medidas das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido e das velocidades do ar na entrada e saída do coletor, em intervalos de uma hora no período de 9 a 17 horas, foram utilizadas para monitorar os resultados desses ensaios experimentais. Para a avaliação da eficiência instantânea do equipamento foram determinados inicialmente o ganho de energia útil, a área útil do coletor e a irradiação global. Os resultados demonstraram que a maior temperatura obtida na saída do coletor foi 48 °C, utilizando a configuração com a palha de aço (PA). A irradiação global média obtida foi na faixa de 124 a 636 W/m². Foi observado que não houve uma grande variação entre as velocidades do ar na entrada e saída do coletor, como também entre as vazões mássicas. A configuração com a chapa metálica de zinco apresentou uma eficiência média de 52 %, pouco menor que a com palha de aço que foi 53 %, e não houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre elas. Assim, a utilização da palha de aço como material absorvente se demonstrou ser mais aplicável do que a chapa metálica de zinco, pois apresentou maiores resultados de eficiência e é mais acessível e com menor custo de aquisição.

Palavras-chave: Radiação solar; Coletores solares; Desempenho de coletores solares.

ABSTRACT

Solar energy is a type of clean energy that can be used as a source of thermal energy for heating air in convective dryers. As solar radiation in Brazil is abundant, almost all year round, solar drying becomes an adequate alternative, reducing processing costs and possible environmental impacts. Its use can be accomplished through the use of solar collectors, responsible for transforming the energy of solar radiation into thermal energy, aiming at the heating of the ambient air. The objective of this work was to evaluate the thermal performance of a horizontal flat solar collector. The solar collector built was of the horizontal flat plate type and to maximize the absorption of solar radiation, a zinc metal plate (CM) and a commercial steel wool (PA) were used separately. Tests 1, 2 and 3 were performed using the CM configuration, and for test 4 the PA configuration was used. Measurements of dry bulb and wet bulb temperatures and air velocities at the entrance and exit of the collector, at hourly intervals between 9 and 17 hours, were used to monitor the results of these experimental tests. To assess the equipment's instant efficiency, the useful energy gain, the useful area of the collector and the global irradiation were initially determined. The results showed that the highest temperature obtained at the collector outlet was 48 ° C, using the steel wool (PA) configuration. The average global irradiation obtained was in the range of 124 to 636 W / m². It was observed that there was not a great variation between the air velocities at the entrance and exit of the collector, as well as between the mass flow rates. The configuration with the zinc metal plate showed an average efficiency of 52%, slightly lower than that with steel wool, which was 53%, and there were no significant differences ($p \leq 0.05$) between them. Thus, the use of steel wool as an absorbent material has been shown to be more applicable than zinc metal sheet, as it has shown greater efficiency results and is more accessible and at a lower cost of acquisition.

Key-words: Solar radiation. Solar collectors. Performance of solar collectors

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Insolação diária no território brasileiro	15
Figura 2 – Radiação solar global diária - média anual típica ($\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$)	16
Figura 3 – Coletor solar de placa plana	19
Figura 4 – Vista superior do coletor solar com chapa metálica de zinco e com palha de aço comercial	24
Figura 5 – Vista lateral do coletor	24
Figura 6 – Anemômetro utilizado nas medições	25
Figura 7 – Coletor solar com a primeira configuração (CM)	28
Figura 8 – Coletor solar com a segunda configuração (PA)	29
Figura 9 – Irradiação global média das duas configurações por hora do dia	32
Figura 10 – Temperatura de bulbo seco de saída ($^{\circ}\text{C}$) para cada configuração por irradiação global média (W/m^2)	33
Figura 11 – Eficiência instantânea de cada configuração por hora do dia	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Horário das medições, grandezas determinadas e configurações utilizadas	25
Tabela 2 – Condições meteorológicas e a cronologia dos ensaios com o coletor solar	29
Tabela 3 – Análise térmica do coletor solar, comparando as duas configurações utilizadas (CM e PA) com relação às temperaturas de bulbo seco de entrada e saída e irradiação global.....	31
Tabela 4 – Médias das velocidades do ar, das massas específicas do ar e das vazões mássicas do ar nos quatros ensaio	34
Tabela 5 – Análise de Variância para fator único (ANOVA) para as duas configurações ($p \leq 0,05$).....	36

LISTA DE SÍMBOLOS

E_u	Energia útil fornecida pelo coletor solar	W/m^2
E_i	Energia solar incidente no coletor solar	W/m^2
\dot{Q}_u	Ganho de energia útil do coletor	W/s
\dot{m}	Vazão mássica do ar	kg/s
c_p	Calor específico do ar	$J/kg \cdot ^\circ C$
A_S	Área da seção transversal do coletor	m^2
ρ_a	Massa específica do ar úmido	kg/m^3
A_C	Área útil do coletor	m^2
v_e	Velocidade de entrada do coletor	m/s
v_s	Velocidade de saída do coletor	m/s
v_a	Velocidade média do ar	m/s
T_{BSe}	Temperatura de bulbo seco na entrada do coletor	$^\circ C$
T_{BSs}	Temperatura de bulbo seco na saída do coletor	$^\circ C$
T_{BUe}	Temperatura de bulbo úmido na entrada do coletor	$^\circ C$
T_{BU_s}	Temperatura de bulbo úmido na saída do coletor	$^\circ C$
T_{amb}	Temperatura ambiente	$^\circ C$
IG	Irradiação solar global	W/m^2
η_i	Eficiência instantânea do coletor	%
CM	Chapa metálica de zinco	-
PA	Palha de aço comercial	-

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISÃO DE LITURATURA	14
3.1 SECAGEM DE ALIMENTOS.....	14
3.2 RADIAÇÃO SOLAR.....	15
3.3 COLETORES SOLARES	18
3.4 DESEMPENHO DE COLETORES TÉRMICOS	20
4. METODOLOGIA	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
6. CONCLUSÕES.....	38
REFERÊNCIAS.....	39
ANEXOS	43

1. INTRODUÇÃO

A secagem é uma alternativa amplamente utilizada para a redução de perdas e preservação da qualidade de produtos agrícolas, pois remove a sua umidade através da transferência de calor e massa (OLIVEIRA, 2018). Na operação de secagem, utilizam-se, normalmente, secadores convencionais (convectivos), tendo como fonte de aquecimento do ar o uso de resistências elétricas e de outros dispositivos resultantes da queima de diversos tipos de combustíveis, tais como: lenha, resíduos agrícolas e combustíveis fósseis (gás) (PRECCI et al., 2001). Esses dispositivos exigem elevado investimento e altos custos de funcionamento e manutenção, além de trazerem problemas ao meio ambiente. Como a radiação solar no Brasil é abundante, em quase todo o ano, a secagem solar se torna uma alternativa adequada, reduzindo custos de processamento e possíveis impactos ambientais (SILVEIRA, 2016).

A energia solar é uma modalidade de energia limpa que pode ser utilizada como fonte de energia térmica, para aquecimento de ambientes e de fluidos (SILVA, 2015). No Brasil, esta possui alto potencial de exploração, pois a irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro varia de 4.200 a 6.700 kWh/m²/ano, superior às verificadas em outros países que utilizam bastante a energia solar (PEREIRA et al., 2006).

A Região Nordeste possui o maior potencial de energia solar disponível no Brasil, com uma radiação global média estimada em 5,9 kWh/m², de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (SILVA, 2015). Essa região também apresenta elevados valores anuais de temperatura do ar (20 a 28 °C), decorrentes, exatamente, da sua alta incidência de radiação solar (PEREIRA et al., 2006).

Na região semiárida do estado da Paraíba, os pequenos produtores rurais sofrem com a escassez dos recursos, e por esse motivo se afiliam às cooperativas, que compram antecipadamente a sua produção para posterior distribuição nos mercados da circunvizinhança (SCHMIDT, 2008). Para que a agricultura familiar não seja prejudicada pelas altas temperaturas da região, seus produtores devem encontrar novos meios para comercializar seus produtos e de melhorar sua renda. Uma possível alternativa é a secagem de uma parte da produção, através da radiação solar, pois o semiárido paraibano possui elevada incidência solar, quando comparada a outros estados.

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica para aquecimento de fluidos. Seu aproveitamento pode ser realizado através do uso de coletores ou concentradores solares (COSTA, 2010; FALCÃO FILHO, 2011). O coletor solar pode ser

definido como um tipo de trocador de calor, responsável por transformar a energia da radiação solar em energia térmica, visando o aquecimento do ar ambiente (CARVALHO & SIONEK, 2015). Um modelo simples de coletor é aquele constituído por uma câmara plana ou suporte (geralmente de madeira), um tampo de vidro, intercalados por uma chapa metálica (coletora). A radiação atravessa o vidro, incide na placa coletora e passa a aquecer o ar que atravessa o sistema, no qual ocorre uma diferença de temperatura e de taxa mássica entre as suas correntes de entrada e saída do coletor, resultando em uma descarga de ar aquecido desse equipamento (BECKER, 2014). O presente trabalho tem como objetivo principal a construção de um coletor armazenador solar plano horizontal de custo mais acessível a pequenos produtores rurais das áreas mais secas do Brasil, que poderão realizar a secagem de sua produção agrícola facilitando a comercialização de seus produtos e aumentando sua renda financeira.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho térmico de um coletor armazenador solar plano horizontal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver o projeto do coletor armazenador solar plano horizontal;
- Analisar termicamente o coletor, assumindo duas configurações distintas;
- Calcular a eficiência térmica instantânea do coletor (η_i), a partir dos dados do item anterior, para as duas configurações utilizadas;
- Analisar estatisticamente os resultados obtidos.

3. REVISÃO DE LITURATURA

3.1 SECAGEM DE ALIMENTOS

Uma das mais importantes e frequentes operações unitárias aplicadas em todos os setores de produção de produtos sólidos é a secagem (VERGARA et al., 1997; FILHO et al., 2012). Esse processo é realizado a partir da retirada parcial de água, tendo como objetivos: o controle de microrganismos e de alterações físico-químicas, a redução dos custos relativos à manipulação e a embalagem, o transporte e o armazenamento da produção, pela redução de seu volume e de seu peso (FILHO, et al., 2012).

Independente do método utilizado, a secagem artificial compreende o fornecimento de ar aquecido forçado, transferência de água da superfície do alimento para o ar e do interior do alimento para a superfície dele, graças às diferenças de pressão de vapor e a retirada da água do sistema pelo fluxo de ar. De acordo com Peske e Villela (2006), a forma mais utilizada para aumentar o diferencial entre as pressões de vapor da superfície do alimento e do ar de secagem é o aquecimento desse ar, para que este adquira maior capacidade de absorção de água e diminua assim sua umidade relativa, sem alterar a razão de mistura do ar (AVELAR et al., 2011).

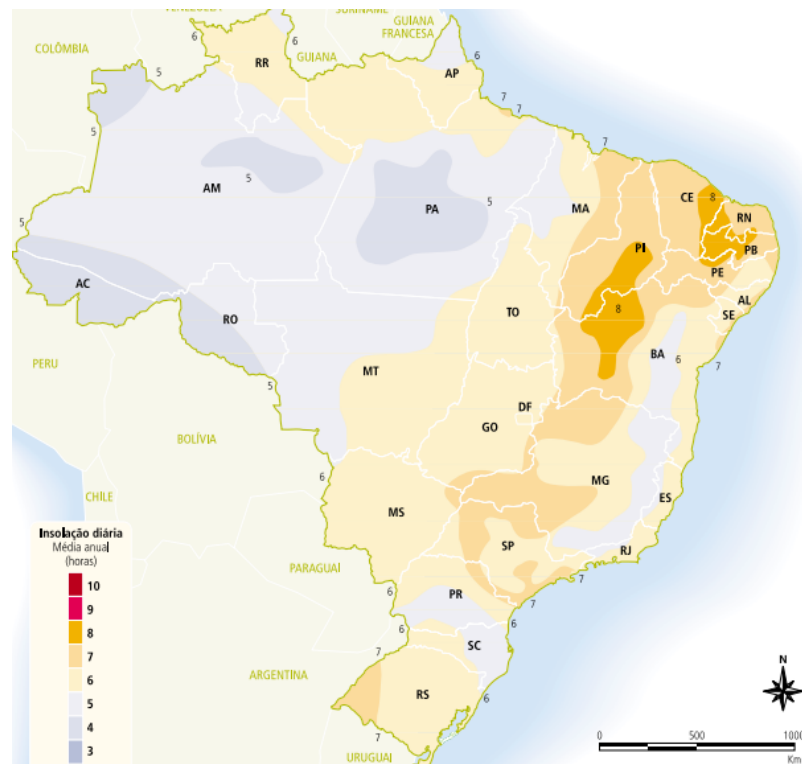
Na secagem são usados, na maioria das vezes, secadores convencionais, que tem por fonte de aquecimento do ar resistências elétricas, como também o vapor saturado resultante da queima de combustíveis diversos, como lenha, resíduos agrícolas ou ainda combustíveis fósseis (gás) (PRECCI et al., 2001). Para o funcionamento e manutenção desses equipamentos, é exigido um elevado investimento, pois além dos altos custos, eles ainda causam impactos ambientais. Por isso a secagem solar vem se tornando uma alternativa adequada. Além de ser abundante no país, ela reduz os custos de processamento e alguns desses impactos ao meio ambiente (SILVEIRA, 2016).

3.2 RADIAÇÃO SOLAR

O sol é a maior fonte de energia no nosso planeta, que se apresenta como renovável e inesgotável, considerando a escala temporal da nossa existência (SILVA, 2013). Segundo a ANEEL (2005), quase todas as fontes de energia, incluindo a hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos, são formas indiretas de energia solar.

No Brasil, a energia solar possui um grande potencial para aproveitamento graças a sua posição geográfica (ANEEL, 2005). De acordo com a Figura (1), os estados da Paraíba, Piauí, Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará, possuem, em parte de seu território, o maior de índice de insolação do Brasil (8 horas ao dia), o que os torna potenciais aproveitadores dessa forma de energia. Esse tipo de energia pode ajudar no desenvolvimento das regiões remotas do país onde o custo de eletricidade é elevado. Entretanto, essa energia não é muito utilizada para geração de eletricidade no Brasil, atualmente, mas sim para o aquecimento de água; principalmente em residências, hotelaria e indústrias (CARVALHO & SIONEK, 2015).

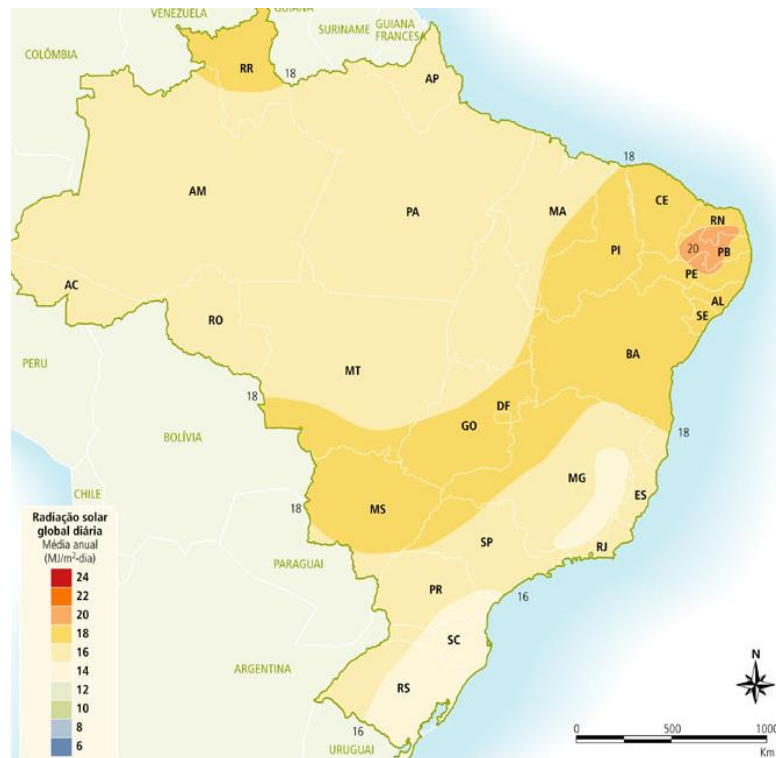
Figura 1– Insolação diária no território brasileiro



Fonte: ANEEL, 2005

A radiação solar é a primeira fonte de energia disponível ao planeta para sobrevivência na Terra, governando inúmeros processos tais como a evaporação, os ciclos diurno e sazonal de temperatura e fotossíntese, além de ser importante para as diversas atividades humanas, como a agropecuária, a engenharia, a arquitetura, a hidrologia e diversos outros setores do conhecimento (LIMA, 2015). Por esse motivo, a quantidade de energia solar disponível em superfície tem passado por mudanças que trazem consequências ambientais e socioeconômicas profundas (WILD, 2015). A Figura 2 mostra a radiação solar global diária do Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A partir da imagem da Figura 2, nota-se que a região semiárida paraibana é a área com maior radiação global diária ($20 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$) no país.

Figura 2 – Radiação solar global diária no Brasil - média anual típica ($\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$)



Fonte: ANEEL, 2005

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o Brasil está entre os países com os maiores índices de irradiação solar global do mundo, com médias anuais relativamente altas em todo seu território e com boa uniformidade durante o ano. Entre as regiões do Brasil, a que possui maior média de irradiação solar global horizontal ($5,9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$) é a região Nordeste (PEREIRA et al., 2017). Essa disponibilidade é um dos fatores que comprova o potencial para instalações de sistemas de captação de radiação solar nessa região.

Um estado que possui condições muito favoráveis para exploração do potencial de geração de energia solar é a Paraíba, visto que parte de seu território está incluso na faixa com os maiores níveis de irradiação solar (Figura 2) que se estende do Nordeste ao Pantanal (PIERRO, 2017). Dessa forma, realizar análises de sistemas de energia solar fotovoltaica pode impulsionar a diversificação da matriz energética da região. Estes sistemas poderão ser uma das alternativas de suprimento das necessidades futuras na demanda de consumo de energia elétrica. Da mesma forma, essa energia abundante também poderá ser usada para aquecimento de fluidos através de coletores solares, com o objetivo de fornecer fluidos com altas temperaturas para processos industriais e outros (SANTOS, 1980). Um exemplo de processo é a secagem de alimentos, que necessita de elevadas temperaturas do ar para retirar a água do alimento. Um coletor solar para secagem de materiais pode ser uma saída para muitos produtores rurais, principalmente aqueles da região semiárida da Paraíba, que acabam perdendo suas colheitas devido as altas temperaturas locais (CORNEJO et al., 2003).

No que diz respeito à quantificação da radiação solar incidente, temos a radiância, que mede o quanto há de energia radiante em um único comprimento de onda, que atravessa uma área, perpendicularmente à direção considerada, por unidade de tempo. A partir desta, pode-se determinar a densidade de fluxo de radiação, muito importante para o estudo da radiação atmosférica. Essa grandeza representa a quantidade de energia radiante que passa através de um plano por unidade de tempo e área. A densidade de fluxo de radiação incidente sobre uma superfície é chamada de irradiância e a densidade de fluxo de radiação emitido por uma superfície é chamada de emitância radiante (MARTINS, 2004).

A irradiância solar que atinge o topo da atmosfera terrestre varia ao longo do ano, graças aos efeitos astronômicos, principalmente aqueles ligados à órbita da Terra ao redor do Sol. Essa grandeza dependerá de vários fatores, como a interação da radiação eletromagnética com os constituintes da atmosfera da Terra. A transmissão da radiação solar na atmosfera é um processo difícil de descrever em virtude do grande número de propriedades físicas da atmosfera que a influenciam (MARTINS, 2004).

O sol é tratado como um corpo negro (emissor e absorvedor ideal) para a análise de um coletor solar. A emissão das superfícies reais é caracterizada pela emissividade do material que é a propriedade que define a razão entre a radiação emitida pela superfície e a radiação emitida por um corpo negro a mesma temperatura (INCROPERA et al., 2012).

A propriedade que determina a fração da irradiação que é absorvida por uma superfície é a absortividade. A transmissividade é a fração da radiação incidente transmitida e a refletividade é a fração da radiação incidente refletida (INCROPERA et al., 2008). A energia

total se subdivide em três componentes ao nível do solo. Existe a radiação direta, que provem diretamente do disco solar, a radiação difusa, aquela desviada pelas nuvens e poeiras, e a radiação refletida, a qual é a refletida pelo solo e por superfícies envolventes (SILVA, 2013).

3.3 COLETORES SOLARES

O principal componente de um secador é o coletor solar, pois desempenha o papel de fonte de energia primária. Os coletores de energia solar são tipos de trocadores de calor, que transformam a energia da radiação solar em energia interna do meio de transporte. Quando entra no coletor, a radiação é absorvida e convertida em energia térmica, para posteriormente ser transferida para um fluido. A partir daí, ela é levada do fluido para o espaço condicionado do equipamento ou a um tanque de armazenagem de energia térmica, conforme o estado físico do fluido: líquido ou gás (KALOGIROU, 2014).

Os mecanismos que aproveitam a energia do sol e a utilizam sob outras formas de energia útil revestem-se de interesse particular em diversas áreas. A classificação dos coletores solares baseada no tipo utilizado desses mecanismos de conversão de energia solar em outra de interesse comercial e de uso, cujas categorias são:

- Coletores fotovoltaicos – Esse tipo de coletor converte diretamente a energia solar em energia elétrica. Capta-se a energia por meio de painéis constituídos por uma rede de células fotoelétricas, feitos geralmente de silicone monocristalino. A corrente gerada é conduzida a um inversor, nas instalações de maior porte, onde passa de contínua a alternada, podendo ser distribuída posteriormente para a rede elétrica (BALFOUR et al., 2013).
- Coletores solares térmicos – Transformam a energia solar em energia térmica. Funcionam como permutadores de calor, absorvendo a radiação solar e convertendo-a em calor, transferindo-o posteriormente para o fluido, sendo ele ar, água ou óleo, consoante o fim desejado. O calor transferido pode ser aproveitado diretamente ou armazenado em local específico (KALOGIROU, 2004).
- Coletores solares fotovoltaicos/térmicos – São resultado da junção dos dois tipos anteriores em um só. Neste sistema, o painel fotovoltaico pode funcionar como elemento absorvedor no sistema térmico, gerando energia elétrica simultaneamente, como se encontra exemplificado nos trabalhos desenvolvidos por Solanki et al. (2009) e Sopian et al. (2000). Os coletores solares fotovoltaicos/térmicos têm gerado grande interesse por parte da comunidade científica e técnica, pois tem apresentando um bom

rendimento combinado (térmico e elétrico). Eles são usados em diversas configurações habituais em coletores solares térmicos (KUMAR e ROSEN, 2011; TYAGI et al., 2012).

A classificação de coletores solares térmicos é geralmente feita através de dois critérios: se o coletor é fixo ou móvel; se a área de captação é igual à área de absorção, ou se, por sua vez, a radiação é focada para um ponto ou área de menor dimensão (SILVA, 2013). Segundo Tian e Zhao (2013), os coletores se dividem em não concentradores (coletores de placa plana e coletores híbridos fotovoltaicos-térmicos) e concentradores (coletores parabólicos em disco, coletores parabólicos tubulares e coletores de campo heliostático).

Os coletores térmicos de placa plana, demonstrados na Figura 3, apresentam-se sob a forma de uma caixa. Normalmente eles são posicionados na horizontal ou com uma inclinação de 10 a 15°. De acordo com Silva (2013), esses sistemas são usados comumente para o aquecimento de ar e água, e são, de forma geral, constituídos por:

- Uma cobertura de um ou mais vidros transparentes, que liberem a passagem da radiação para o coletor;
- Um tubo ou canal que direcione o fluido promotor de transferência de calor, ao longo do coletor;
- O elemento absorvedor que pode ser plano, conter elementos de rugosidade ou preencher totalmente ou parcialmente o canal que conduz o fluido. Esse elemento deve ser coberto por um material ou por tinta de cor preta, de forma que se promova uma maior absorção de radiação possível;
- Um sistema de aberturas ou válvulas que permita a entrada e a saída do fluido;
- Um isolante que evite as perdas de calor pela estrutura do coletor;
- Uma caixa que confira estrutura e dê proteção ao coletor
-

Figura 3 – Coletor solar de placa plana



Fonte: SILVA, 2013

Em um coletor solar de placa plana comum, a radiação atravessa uma superfície transparente e colide com a superfície escura de um absorvedor de elevada absorvidade. Grande parcela dessa energia é absorvida pela placa e levada para o meio de transporte, para ser armazenada ou utilizada imediatamente. O lado de baixo da placa e as laterais são bem isoladas para que haja uma redução nas perdas por condução. A cobertura transparente tem como função reduzir perdas convectivas do absorvedor pela contenção da camada de ar entre a placa e a cobertura, além de fornecer um efeito estufa (KALOGIROU, 2014; SILVEIRA, 2016).

O principal objetivo deste tipo de coletores é o aproveitamento máximo da energia solar ao mais baixo custo, possuindo uma estrutura simples quando comparada a maior parte dos sistemas já existentes (SILVA, 2013).

3.4 DESEMPENHO DE COLETORES TÉRMICOS

Para determinar a eficiência térmica de um coletor solar plano sobre condições externas em um estado de regime permanente foi desenvolvido um teste por Hill e Streed (1976). Eles fizeram medições do fluido de trabalho entrando e saindo do coletor e compararam com a energia incidente no coletor para calcular a eficiência do coletor. Para determinar a eficiência média foram realizados uma série de testes de 15 minutos. Portanto, acabaram concluindo que há uma limitação na determinação da eficiência térmica, pois os piranômetros comercializados não possuem uma boa precisão para medir a energia solar incidente.

Abdel-Khalik (1976) avaliou o desempenho de um coletor solar plano que possui a configuração de casco tubo e o tubo é soldado à placa absorvedora no formato de serpentina. Esse pesquisador apresentou equações para determinar o fator de remoção de calor (FR) e demonstrou que ele depende de um problema tridimensional contendo as diferenças operacionais e as variáveis de projeto do coletor, para um caso geral de n-serpentina.

Sieberst e Viskanta (1977) realizaram uma análise da transferência de calor bidimensional em regime permanente para um coletor solar plano, visando estudar o desempenho do coletor através de dados meteorológicos. Os autores analisaram diversos parâmetros operacionais do equipamento, tais como: os gradientes de temperatura e as propriedades físicas e termodinâmicas dos materiais, a localização do coletor, a orientação e a direção do coletor, o número de coberturas e o tempo. Os seus resultados apontaram que os

dados fundamentados nas médias meteorológicas não corresponderam aos dados baseados nos experimentos realizados de hora em hora. Quando a variação climática é moderada esses dados de hora em hora podem ser usados.

Taherian et al. (2010) fizeram um estudo teórico, utilizando a técnica de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) e testes experimentais de um coletor solar com termossifão para o aquecimento de água. Utilizaram dois coletores solares planos, cada um com uma angulação de 40°. Os testes experimentais foram comparados com os resultados teóricos e o modelo matemático foi capaz de prever a eficiência do coletor em dias ensolarados, entretanto para dias nublados o modelo não se mostrou eficaz.

Redpath (2011) realizou um estudo de redução de custos e manutenção do desempenho de coletores solares com termossifões em um clima marítimo. Para o teste foram usados três coletores. Dois deles possuem a mesma área, entretanto o tubo interno de um condensa e o do outro não. O terceiro termossifão possui uma área maior em relação aos demais. Os seus resultados demonstraram que quando são utilizados os mesmos parâmetros no terceiro termossifão, os outros dois apresentam pequena variação no seu desempenho.

Segundo Silveira (2016), o desempenho do coletor pode ser determinado pela eficiência, definida pela Equação 1 (DUFFIE & BECKMAN, 2013).

$$\eta = \frac{E_u}{E_i} \times 100 \quad (1)$$

onde η é a eficiência (%), E_u a energia útil fornecida pelo coletor solar ao longo do período de secagem (W.m^{-2}) e E_i a energia solar incidente no coletor solar ao longo do tempo de secagem (W.m^{-2}).

A demanda energética do secador pode ser definida como a necessidade de aumento da entalpia do ar de secagem (SILVEIRA, 2016) pelo ganho de energia útil, que pode ser obtida pela Equação 2 (KALOGIROU, 2014).

$$\dot{Q}_u = \dot{m} \times c_p \times (T_{BS_s} - T_{BS_e}) \quad (2)$$

onde \dot{Q}_u é o ganho de energia útil do coletor (W), \dot{m} é a vazão mássica do ar (kg.s^{-1}), c_p é o calor específico do ar ($\text{J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$), T_{BS_s} a temperatura de saída do coletor (°C) e T_{BS_e} a temperatura de entrada do coletor (°C).

O cálculo da vazão mássica do ar pode ser realizado a partir da Equação 3 (MONTEIRO et al., 2010).

$$\dot{m} = A_S \times \rho_a \times v_a \quad (3)$$

onde A_S é a área da seção transversal do coletor (m^2), ρ_a a massa específica do ar úmido ($kg.m^{-3}$) e v_a a velocidade do ar ($m.s^{-1}$).

A massa específica do ar úmido pode ser determinada em função da temperatura média entre a entrada e saída do coletor solar, conforme a Equação 4 (MONTEIRO et al., 2010).

$$\rho_a = \frac{353,44}{T_m + 273,15} \quad (4)$$

Em determinado instante t , a eficiência instantânea do coletor solar poderá ser descrita pela Equação 5 (DUFFIE & BECKMAN, 2013).

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_C \times G_T} \quad (5)$$

onde η_i é a eficiência instantânea do coletor (%), A_C é a área útil do coletor e G_T a irradiação global na superfície inclinada ($W.m^{-2}$)

4. METODOLOGIA

Realização dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) do Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA/CT/UFPB), João Pessoa - PB. O clima da região onde foram realizados os ensaios apresenta temperatura média anual de 25 °C e precipitação média anual de 1.900 mm (INMET, 2018). O período experimental foi de 03 de fevereiro a 16 de março de 2020.

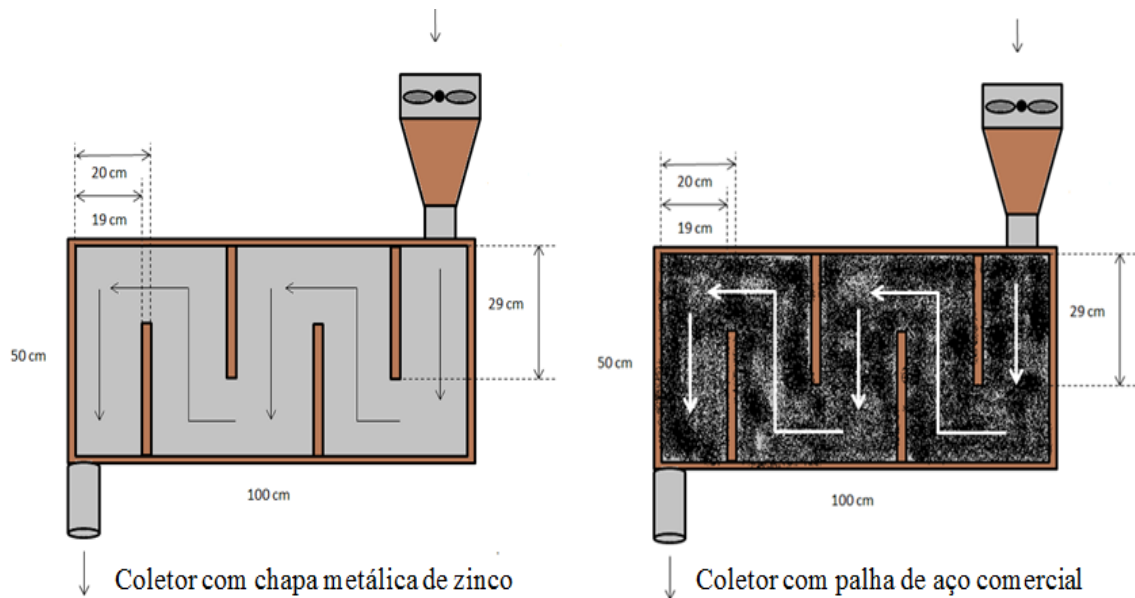
Desenvolvimento do projeto do coletor armazenador solar

O coletor solar construído foi do tipo placa plana horizontal, semelhante ao apresentado na Figura 3. Esta escolha se deve ao fato de se optar por uma convecção forçada do ar. Estudos comprovam que a velocidade do ar possui uma maior influência no início do processo de secagem sobre a menor temperatura, não exercendo influência significativa na maior temperatura de secagem (ARAÚJO, 2005; EL AOUAR, 2002; AZOUBEL, et al., 2009), o que justifica a utilização de uma convecção forçada do ar. O referido coletor foi constituído de uma caixa em aglomerado de madeira, com dimensões de 1,00 x 0,50 x 0,15 m; 4 separadores internos (290,0 x 10,0 x 150,0 mm), também em aglomerado de madeira com a finalidade de aumentar o percurso do ar para aproveitar melhor a área de transferência de calor; um soprador para a movimentação forçada do ar; e um tampo de vidro.

Toda a estrutura foi fixada por meio de parafusos e devidamente vedada com silicone. Este dimensionamento foi determinado de acordo com recomendações de Bezerra (2001), onde para cada metro cúbico da câmara de secagem é necessária uma área de 8 m² de coletor solar, formando uma proporção de 1 m³:8 m².

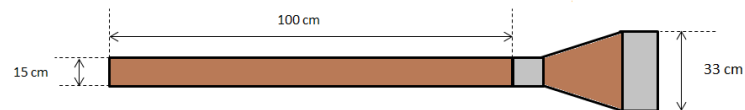
O desenho esquemático do coletor solar esta apresentado nas Figuras 4 e 5 a seguir.

Figura 4 – Vista superior do coletor solar com chapa metálica de zinco e com palha de aço comercial



Fonte: Autor (2020).

Figura 5 – Vista lateral do coletor



Fonte: Autor (2020).

Para maximizar a absorção da radiação solar foram utilizados separadamente dois elementos absorvedores distintos: uma chapa metálica de zinco (CM) e uma palha de aço comercial (PA). Esses elementos foram cobertos por tinta de cor preta, para promover uma maior absorção. As dimensões dessas duas últimas partes constituintes do coletor foram acertadas no momento de sua construção. Durante os três primeiros dias de experimento foi utilizada a chapa metálica de zinco.

De acordo com o planejamento realizado antes do início dos ensaios, haveria mais três dias de experimento utilizando a palha de aço como material absorvente, entretanto, com a disseminação do vírus Covid-19 no estado, a Universidade Federal da Paraíba (UFPB) decidiu suspender as aulas presenciais para evitar o contágio, o que impossibilitou a realização dos dois últimos experimentos. Com isso, foi feito apenas um ensaio com a configuração PA. Para a realização desse experimento, a base do coletor foi coberta com aproximadamente 2,5 cm de palha de aço comercial.

Análise térmica do coletor

Foram realizados testes na área externa do Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), com o intuito de obter dados suficientes para o cálculo da eficiência instantânea, bem como caracterizar as condições psicrométricas do ar ambiente e do ar que percorreu o coletor. Foi utilizado um termômetro de mercúrio, para obter temperaturas de bulbo seco e úmido, e um anemômetro de fio quente da marca AKSO modelo AK833 (Figura 8) para verificar as velocidades na entrada e saída do coletor.

Figura 6 – Anemômetro utilizado nas medições



Fonte: Autor (2020).

Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros operacionais monitorados em todos ensaios experimentais realizados com o coletor solar.

Tabela 1 - Horário das medições, parâmetros operacionais adotados e configurações utilizadas no coletor solar.

Hora de início	09:00	
Hora de fim	17:00	
Grandezas determinadas em medições	T_{BSe}	Temperatura de bulbo seco na entrada do coletor (°C)
	T_{BSs}	Temperatura de bulbo seco na saída do coletor (°C)
	T_{BUe}	Temperatura de bulbo úmido na entrada do coletor (°C)
	T_{BU_s}	Temperatura de bulbo úmido na saída do coletor (°C)
	T_{amb}	Temperatura ambiente (°C)
	v_e	Velocidade de entrada do coletor (m/s)

	v_s	Velocidade de saída do coletor (m/s)
	IG	Irradiação solar global (W/m^2)
Ensaios realizados	E ₁	Coletor com a chapa metálica de zinco (11/03/2020)
	E ₂	Coletor com a chapa metálica de zinco (12/03/2020)
	E ₃	Coletor com a chapa metálica de zinco (13/03/2020)
	E ₄	Coletor com a palha de aço comercial (16/03/2020)

Fonte: Autor (2020).

Em todos os testes, o coletor ficou na posição horizontal e os dados de temperatura e da radiação solar foram registrados com intervalos de uma hora. Os ensaios 1, 2 e 3 foram realizados utilizando a configuração CM, e para o ensaio 4 foi usada a configuração PA. Os valores de temperaturas de bulbo seco e úmido coletadas na entrada e saída do coletor foram suficientes para obter as propriedades termodinâmicas do ar, com o auxílio do Software Grapsi[®] desenvolvido por Melo et al. (2004), que é capaz de calcular as propriedades psicrométricas do ar.

Desempenho do coletor solar

Após a coleta dos dados experimentais, foi realizada a avaliação do desempenho do coletor solar, seguindo a metodologia proposta por Silveira (2016). O desempenho do coletor foi determinado pela eficiência (η), obtida pela Equação 5 (DUFFIE & BECKMAN, 2013). O cálculo da eficiência foi realizado para ambas as configurações, contudo para melhor comparação entre elas optou-se por usar uma média das eficiências obtidas nos ensaios com a chapa metálica de zinco para comparar com as eficiências adquiridas no ensaio com a palha de aço. Para poder calcular a eficiência, precisou-se saber inicialmente o ganho de energia útil (\dot{Q}_u) (ver Equação 2) (KALOGIROU, 2014), a área útil do coletor (A_c), encontrada a partir da medição do comprimento e largura úteis do coletor, por onde o ar circula, e também o valor da irradiação global (IG).

Para a obtenção dos dados da irradiação global nos horários da medição (de hora em hora), foi necessário um levantamento no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O site disponibiliza dados de temperatura máxima e mínima, ponto de orvalho, umidade relativa, como também a radiação e a quantidade de chuva em um determinado local a cada hora. Como o valor disponível era de radiação (R) em unidade de energia (kJ/m^2), e

para o cálculo da eficiência instantânea é necessária a irradiação (IG) em unidade de potência (W/m^2), foi feita a conversão utilizando a relação a seguir.

$$IG = \frac{R \times 1000}{3600} \quad (6)$$

Multiplicou-se por mil para transformar de kJ para J, e dividiu-se por 3600 para converter horas em segundos, e passar a ser J/s que é o mesmo que W. Foi feita essa conversão para cada valor coletado. No site o horário era dado em UTC, por isso foi preciso fazer um ajuste para o estado da Paraíba, adicionando três horas ao horário informado no site.

O ganho de energia útil foi determinado a partir da Equação 2, que relaciona as temperaturas de entrada (T_{BSe}) e saída (T_{BSS}) do coletor, o calor específico do ar (c_p), obtido segundo Singh (2009), e a vazão mássica de ar (\dot{m}), calculada pela Equação 3. Essa última grandeza, relaciona a média entre as velocidades de saída e entrada (v_a), a área da seção transversal (A_s), obtida a partir do diâmetro da tubulação onde é coletada a velocidade de saída, e a massa específica do ar (ρ_a), encontrada pela Equação 4, desenvolvida por Monteiro et al. (2010), e que depende da temperatura média da entrada e saída do coletor.

Com a configuração CM foram realizados três experimentos, e para seus valores serem comparados aos da configuração PA, foi feita uma média dos valores de temperatura de bulbo seco na entrada e saída, de irradiação global e de eficiência instantânea dos três ensaios.

Tratamento estatístico dos dados experimentais

Os dados obtidos experimentalmente serão analisados por meio do pacote estatístico STATISTICA 7.0, mediante Análise de Variância (ANOVA) sobre a eficiência instantânea do coletor, para ambas as configurações mencionadas anteriormente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desenvolvimento do projeto do coletor

O coletor construído foi baseado na metodologia desenvolvida por Silva (2013), que tinha como intuito construir um coletor solar de baixo custo, para aplica-lo na secagem de produtos alimentícios. Outra metodologia que inspirou esse trabalho foi a de Oliveira (2018), que desenvolveu um coletor solar acoplado a um secador híbrido.

Pelo fato de optar-se por uma convecção forçada do ar, conforme descrito na metodologia, o ventilador utilizado para tal foi do tipo axial, pois não encontrou-se um ventilador centrífugo com um preço acessível, que seria o ideal para esse tipo de projeto.

O ventilador axial causou algumas perdas no sistema, pois direcionava apenas uma parte do ar para dentro do coletor, a maior parte era impulsionada para fora. A estrutura na qual o ventilador foi acoplado também dificultou a entrada do ar no coletor, pois atuou como um defletor de ar, facilitando a expulsão do ar do equipamento. Essa estrutura pode ser observada nas Figuras 7 e 8, que mostram como ficou o coletor depois da construção. Na Figura 7 é possível ver a chapa metálica de zinco, que foi utilizada como material absorvente, sendo a primeira configuração testada.

Figura 7– Coletor solar com a primeira configuração (CM)



Fonte: Autor

A Figura 8 apresenta o coletor solar utilizando a palha de aço como material absorvente, utilizada segundo a metodologia de Silva (2013). É uma matriz porosa metálica constituída por filamentos de aço longos e de pequeno diâmetro, agrupados em forma de

camadas, que teria por finalidade aumentar a absorção da radiação solar, bem como seu armazenamento no coletor.

Figura 8 – Coletor solar com a segunda configuração (PA)



Fonte: Autor

Análise térmica do coletor

A análise térmica do coletor foi realizada, inicialmente, a partir da caracterização das condições meteorológicas dos dias correspondentes aos ensaios com o coletor e, posteriormente, a partir das medidas de temperatura na entrada e saída do mesmo, assumindo duas configurações distintas: o coletor com a chapa metálica de zinco (CM) e com a palha de aço comercial (PA).

Os ensaios, por sua vez, foram conduzidos em dias parcialmente nublados, com algumas quedas de chuva. As condições meteorológicas referentes aos ensaios realizados no presente trabalho encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições meteorológicas e a cronologia dos ensaios com o coletor solar

Ensaio	Condições meteorológicas	Hora de início	Hora de fim	Umidade relativa do ar (%)			
				T_{amb} (°C)		min	máx
				min	Máx		
E ₁	Parcialmente nublado	09:15	17:00	30	34	90	58
E ₂	Nublado	09:00	17:00	27	33	90	67
E ₃	Nublado	09:00	17:00	27	31	93	66
E ₄	Parcialmente nublado	09:00	17:00	29	33	59	85

Para E₁, E₂ e E₃ foi utilizada a chapa metálica. Já para E₄ foi utilizada a palha de aço.

Os valores de umidade relativa do ar foram obtidos pelo site do INMET.

Fonte: Autor (2020).

De acordo com a Tabela 2, no ensaio E₁, o céu se apresentou parcialmente nublado durante quase todo o dia, com uma temperatura ambiente mínima de 30 °C e máxima de 34 °C, pois estava bastante abafado. Nas mesmas condições, Silva (2013) obteve temperaturas ambiente de 15,4 °C (mínima) e 25,7 °C (máxima) em Portugal, país bem mais frio que o Brasil. Por se tratar de um dia nublado, a umidade relativa do ar estava bem elevada, 90 % (máxima) e 58 % (mínima), segundo o site do INMET.

O segundo dia de ensaio (E₂) começou chuvoso, o que explica a umidade relativa do ar ter ficado tão elevada (90 % máxima e 67 % mínima). Na maior parte do dia, o céu permaneceu nublado mas, no horário de 12 horas houve quedas de chuva. Durante esse período foi colocada uma espécie de lona para proteger o coletor da chuva. As temperaturas ambiente coletadas durante o dia foram menores que as do dia anterior, a máxima foi 33 °C e a mínima 27 °C, enquanto Silva (2013) obteve, em um país frio da europa, temperaturas ambientes de 27 °C (máxima) e 20 °C (mínima), em um dia nublado.

De todos os dias de experimento, o terceiro dia (E₃) foi o mais nublado e chuvoso de todos. Isso é comprovado com a elevada umidade relativa do ar, que chegou a 93 % em um momento do dia. As temperaturas ambientes obtidas nesse dia foram as mais baixas, mínima de 27 °C e máxima de 31 °C.

No quarto dia de ensaio (E₄), o céu começou o dia parcialmente nublado, e foi ficando mais limpo. Nesse experimento, as temperaturas ambientes foram um pouco mais elevadas que nos dois últimos dias, com exceção do primeiro dia, onde o céu também estava

parcialmente nublado. A umidade relativa mínima e máxima desse dia foram, respectivamente, 85 % e 59 %, demonstrando que não foi um dia tão chuvoso quanto os outros.

A Tabela 3 apresenta os dados de temperaturas na entrada e saída do coletor e irradiação global, para ambas as condições mencionadas anteriormente, ao longo do dia.

Tabela 3 – Análise térmica do coletor solar, comparando as duas configurações utilizadas (CM e PA) com relação às temperaturas de bulbo seco de entrada e saída e irradiação global

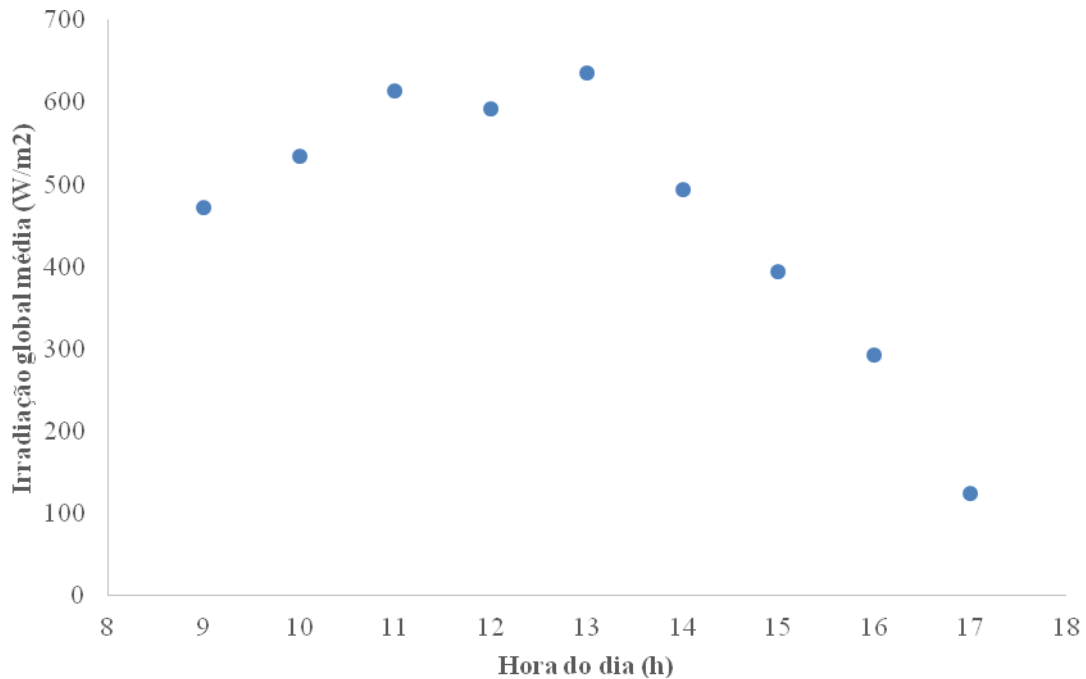
Horário (h)	CM			PA		
	T _{Bse} (°C)	T _{Bss} (°C)	IG (W/m ²)	T _{Bse} (°C)	T _{Bss} (°C)	IG (W/m ²)
9	33	37	458	30	33	487
10	34	39	606	33	36	463
11	34	39	639	34	39	589
12	33	38	591	38	48	595
13	35	39	434	35	41	838
14	35	40	555	32	35	432
15	34	36	455	33	35	335
16	30	31	301	32	35	284
17	30	30	98	31	31	150

Fonte: Autor (2020).

Observando os dados da Tabela 3, percebe-se que na primeira hora do experimento, é possível notar que já houve uma variação de 4°C na temperatura da configuração CM, enquanto na PA aumentou 3 °C na temperatura de entrada do coletor. No horário de 12 horas, a temperatura de bulbo seco na saída da configuração CM teve uma queda com relação a medição anterior, ficando 38 °C, diferente da configuração PA, que já iniciou a medição com essa temperatura na entrada, chegando a alcançar, na saída, a maior temperatura de todas as medições (48 °C). No fim da tarde, as temperaturas das duas configurações foram iguais na entrada e na saída, pois a posição do coletor nesse momento era na sombra. Além disso, foi observado que coletor apresentou características de armazenador para a configuração PA, quando às 16 horas, mantendo praticamente a mesma variação de temperatura em relação às 15h.

A irradiação global média, correspondente aos dias de realização dos ensaios, variou de 124 a 636 W/m², aproximadamente, em uma medição que se iniciou de 9 horas e foi até às 17 horas, conforme ilustradona Figura (9).

Figura 9 – Irradiação global média das duas configurações por hora do dia



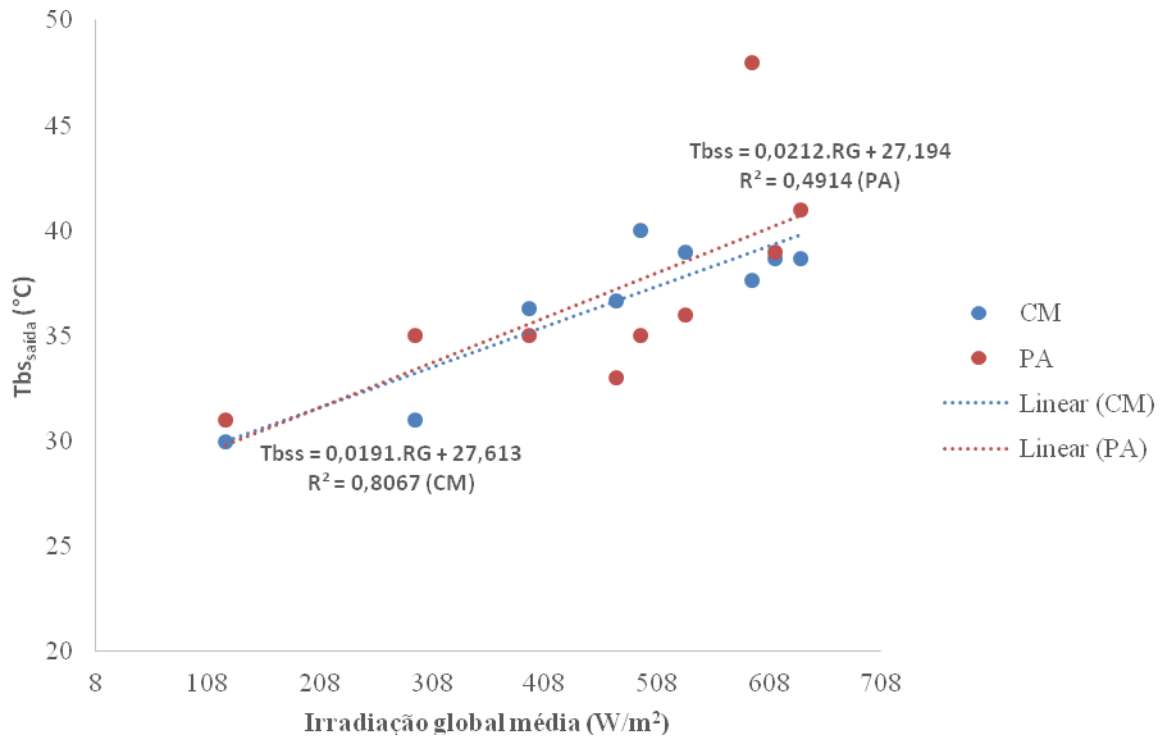
Fonte: Autor (2020).

A curva apresentada na Figura 9 mostra que no período de 9 a 11 horas houve um crescimento no valor da irradiação, reduzindo um pouco ao meio dia. O período do dia com maior irradiação média global foi de 13 horas, com um valor de 636,22 W/m². Oliveira (2018) obteve, em junho na cidade de Seropédica-RJ, uma irradiação máxima de 593,67 W/m², no período de meio dia, valor bastante semelhante ao encontrado nesse trabalho (593,01 W/m²). Já Silva (2013), obteve um valor médio de 611,60 W/m², na cidade de Coimbra em Portugal, em um dia nublado do mês de setembro. Após alcançar o pico, o valor cai bruscamente, e mantém esse comportamento até o fim do dia.

Desempenho do coletor solar

A Figura 10 mostra a relação entre a temperatura de bulbo seco de saída e a irradiação solar global, comparando as duas configurações utilizadas.

Figura 10 – Temperatura de bulbo seco de saída (°C) para cada configuração por irradiação global média (W/m²)



Fonte: Autor (2020).

Observa-se na Figura 10 que a relação entre a variação da irradiação global e a variação de temperatura de bulbo seco de saída apresentou comportamento próximo à função linear.

O coeficiente de determinação R^2 indica o quão explicativo é o modelo linear; para a configuração CM, seu valor foi de 0,81 e para a configuração foi de 0,49. Portanto, o melhor modelo linear é o da configuração CM, que explica 81 % da variância dos dados. Valores condizentes com um comportamento linear da relação acima mostrada foram encontrados por Oliveira (2018) (0,82) e por Silveira (2016) (0,98). Comparado a esses valores com o obtido utilizando a configuração PA, tem-se um valor bem abaixo do esperado, provavelmente, em função das oscilações do tempo durante o dia e pelo fato de não termos replicatas para essa configuração.

Ainda de acordo com a Figura 10, observa-se que o coeficiente angular da reta é praticamente igual para ambas as configurações; aproximadamente, 0,02. Percebe-se também que as temperaturas de entrada, correspondente ao coeficiente linear, são bem próximas; 27 °C (PA) e 28 °C (CM).

Foi observado durante os experimentos que não houve uma grande variação entre as velocidades de entrada e saída do coletor, por esse motivo utilizou-se a média das velocidades (v_a) para o cálculo da vazão mássica do ar. Além das médias das velocidades, foi utilizado o valor da área da seção transversal (A_s), que corresponde a $0,00785 \text{ m}^2$ obtido a partir do diâmetro da tubulação de saída (0,1 m), e a massa específica do ar (ρ_a) através da temperatura média da entrada e saída do coletor pela Equação (4) (MONTEIRO et al., 2010). Os valores das médias das velocidades do ar, das massas específicas do ar e das vazões mássicas do ar estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Médias das velocidades do ar, das massas específicas do ar e das vazões mássicas do ar nos quatro ensaios

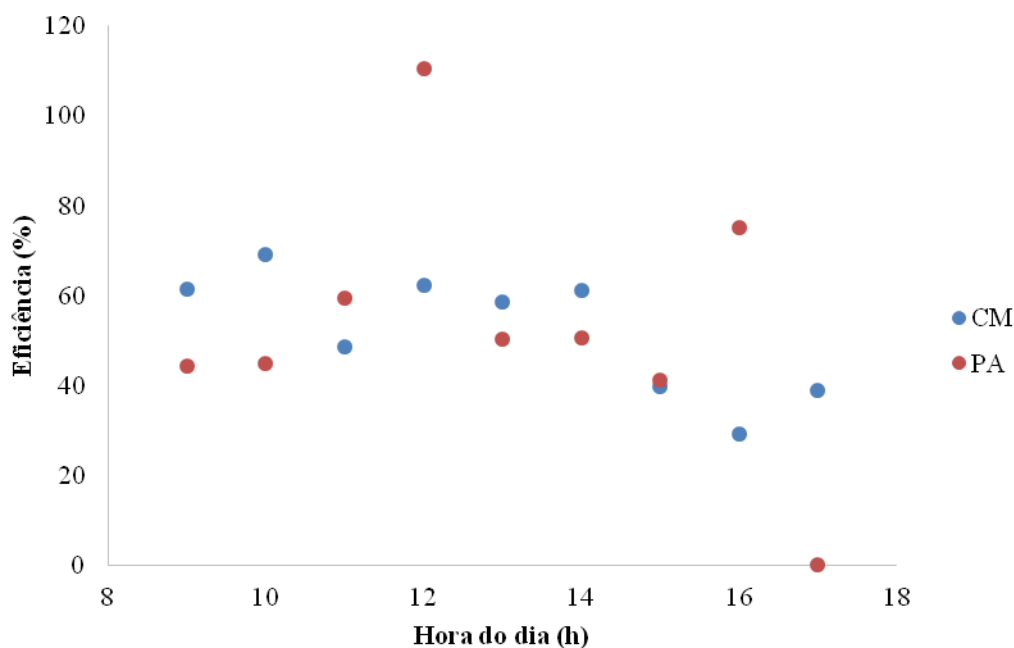
Ensaio	v_a (m/s)	ρ_a (kg/m ³)	\dot{m} (kg/s)
E1	3,67	1,13	0,0326
E2	3,82	1,16	0,0347
E3	3,62	1,15	0,0328
E4	3,58	1,15	0,0322

Legenda: v_a – Média das velocidades do ar ; ρ_a – massa específica do ar; \dot{m} - Vazão mássica do ar de saída
Fonte: Autor (2020).

A vazão mássica não apresentou muitas variações, comparando os quatro dias de experimento, e o E2 foi o ensaio que obteve maior vazão mássica (0,0347 kg/s). Silva (2013) obteve na saída de seu coletor uma vazão de 0,0170 kg/s, pois contava com uma área da seção transversal de $0,00422 \text{ m}^2$ e uma velocidade média de 3,6 m/s, valores inferiores aos encontrados neste trabalho.

Após a coleta dos dados experimentais, foi realizada a avaliação do desempenho do coletor solar, seguindo a metodologia proposta por Silveira (2016). Os valores de eficiência instantânea e as médias das duas configurações se encontram na Figura 11.

Figura 11 – Eficiência instantânea de cada configuração por hora do dia



Fonte: Autor (2020).

Verifica-se na Figura 11 que nos primeiros horários de medição, o coletor com a configuração CM se mostrou mais eficiente que o com a configuração PA. Das 11 até às 12 horas o mais eficiente foi o coletor com a PA. A maior eficiência foi 111 %, no horário do meio dia na configuração PA. Tal valor, acima de 100 %, pode ter ocorrido pelo fato de estarmos utilizando dados do INMET referentes à irradiação global e não a de superfície. Já a menor eficiência instantânea foi no fim da tarde, graças à sombra formada no local onde estava localizado o coletor.

Hedge et al. (2015) avaliaram a eficiência para um sistema de secagem solar de banana, comparando os resultados para passagem do fluxo de ar entre a placa absorvedora e a cobertura do coletor e para a passagem do fluxo entre a placa absorvedora e uma camada de isolamento. Esses autores iniciaram a medição também às 9 horas e atingiram a eficiência máxima de 50% às 16 horas.

Fudholi et al. (2015) obteve 28 % de eficiência do coletor solar para a secagem de pimenta vermelha com fluxo de massa de ar de 0,07 kg/s. Já Lingayat et al. (2017) ao avaliar um secador solar indireto para a secagem de banana estimaram a eficiência média do coletor em 31,50 %, em condições de irradiação solar média de 724 W/m².

Oliveira (2018) obteve um valor de 25,9 % de eficiência média global em um coletor solar plano acoplado em secador híbrido para secagem de produtos agrícolas. Enquanto isso Potdukhe e Thombre (2008) obtiveram 34 % de eficiência em um coletor na secagem solar de pimentões e folhas de feno-grego. Em todos esses estudos os autores encontraram valores de eficiência inferiores às duas configurações apresentadas nesse trabalho.

A configuração com a chapa metálica de zinco apresentou uma eficiência média de 52 %, pouco menor que a com palha de aço que foi 53 %. Com isso, a utilização da palha de aço como material absorvente mostrou-se, aparentemente, mais eficiente que a chapa metálica de zinco, além de ser mais vantajosa com relação aos custos, pois uma folha de zinco de dimensões 100 x 100 x 0,5 mm custa em média R\$ 10,18 no site do AliExpress, e para cobrir a área do coletor são necessários 10 folhas, totalizando um custo de R\$ 101,80. Já a palha de aço pode ser encontrada em qualquer supermercado com o preço variando de R\$1,50 a R\$3,00, sendo Bombril a marca mais conhecida. Para a utilização no coletor, seriam necessários 4 pacotes do produto, o que não ultrapassaria R\$12,00, tendo uma economia de aproximadamente 88 %.

Análise estatística

A Tabela 5 mostra a Análise de Variância para fator único, eficiência do coletor, para um nível de significância estatística de 5 % ($p \leq 0,05$), assumindo as duas configurações já mencionadas.

Tabela 5 – Análise de Variância para fator único (ANOVA) para as duas configurações ($p \leq 0,05$)

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3,218155	1	3,218155	0,006117	0,938632	4,493998
Dentro dos grupos	8418,144	16	526,134			
Total	8421,362	17				

Legenda: SQ - Soma dos quadrados; GL – Graus de liberdade; MQ - Quadrado médio; F – Distribuição de Fisher-Snedecor.

Fonte: Autor (2020).

De acordo com a Tabela 5, nota-se não haver diferença significativa, à 5 % de significância, entre as configurações estudadas, pois o $F_{\text{calculado}}$ (0,006117) foi menor que F_{tabelado} (4,493998), entre grupos, ou seja, entre as configurações estudadas. Tal fato é extremamente positivo, uma vez que mostra a possibilidade de utilização da palha de aço comercial como meio absorvedor ao invés da chapa metálica de zinco, sendo esta última bem menos acessível tanto do ponto de vista de disponibilidade quanto de preço.

6. CONCLUSÕES

O coletor construído apresentou algumas perdas resultantes do tipo de ventilador escolhido e da estrutura onde este se encontrava acoplado. A maior temperatura de bulbo seco na saída do coletor e a maior irradiação média global foram obtidas utilizando a configuração com a palha de aço, no período de 12 às 13 horas, mesmo em dias nublados.

Foi observado durante os experimentos que não houve uma grande variação tanto entre as velocidades de entrada e saída do coletor quanto entre as vazões mássicas do ar. A configuração com a chapa metálica de zinco apresentou uma eficiência média pouco menor que a com palha de aço. A análise estatística mostrou que não houve diferença significativa entre as duas configurações estudadas, à 5% de significância. Portanto a palha de aço comercial pode ser utilizada como meio absorvedor ao invés da chapa metálica de zinco, pois é bem mais acessível tanto do ponto de vista de disponibilidade quanto de preço.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-KHALIK, S. I. Heat removal factor for a flat-plate solar collector with a serpentine tube. **Solar Energy**, v. 18, p.59-64, 1976.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Atlas da Energia Elétrica do Brasil. Brasília – DF, 2005. 2ª Edição. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>. Acesso em 08 de dezembro de 2019.
- ALIEXPRESS. 1Pcs Prático 100x100x0.5 milímetros de Alta Pureza Folha de Zinco Zn Zinco Puro Placa de Folha De Folha De Metal Para A Ciência. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/32989069376.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.604dfbe90rOctE&algo_pvid=7a58a367-2095-4b94-bd22-7f0d0b2ba0b0&algo_expid=7a58a367-2095-4b94-bd22-7f0d0b2ba0b0-10&btsid=0be3746c15856624422073962e4a09&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603>. Acesso em: 31/03/2020.
- ARAUJO, Eder Augusto Furtado. **Estudo do processo combinado de desidratação osmótica e secagem de nectarina (*Prunus persica*)**. Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas-SP, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR15747/2009**. Sistemas solares térmicos e seus componentes - Coletores solares Parte1: Requisitos Gerais, p. 11, 2009.
- AVELAR, S.A.G.; LEVIEN, A.M.; PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; BAUDET, L. Secagem estacionária de sementes de soja com ar desumidificado por resfriamento. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 33, n.3, Londrina, 2011.
- AZOUBEL, P.M.; EL AOUAR, A.A; TONON, R.V.; KUROZAWA, L.E.; ANTONIO, G.C.; MURR, F.E.X.; PARK, K.J. Effect of osmotic dehydration on the drying kinetics and quality of cashew apple. **International Journal of Food Science and Technology**, v.44, p.980-986, 2009.
- BALFOUR J., SHAW M., NASH M.B. **Advanced Photovoltaic System Design**. p.7, Jones & Bartlett Learning, Burlington, USA, 2013.
- BECKER, M.I.W.; MACHADO, N. **Construção e ensaio de um coletor solar térmico para aquecimento do ar**. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS, Porto Alegre, 2014.
- BEZERRA, A. M. Aplicações térmicas da energia solar, Editora Universitária da UFPB, João Pessoa, 2001.
- CARVALHO, F.R.; SIONEK, M.C. **Análise da eficiência de um coletor solar plano**, Trabalho de Conclusão de Curso, DAMEC, UTFPR, Curitiba, 2015.
- CORNEJO, F.E.P.; NOGUEIRA, R.I.; WILBERG, V.C. Secagem como método de conservação de frutas. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. EMBRAPA. Documentos, n.54, dez, 2003.
- COSTA, J.B.S. **Obtenção e caracterização de farinha de caju através do uso de um sistema de secagem solar de baixo custo**, Tese de Mestrado, UFRN, Natal, 2010.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A. Solar engineering of thermal processes. 4 ed. New York etc.: JOHN WILEY & SONS, Inc., p. 936, 2013.

EL AOUAR, A.A.; AZOUBEL, P.M.; MURR, F.E.X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya* L.). **Journal of Food Engineering**, v.59, p.85-91, 2003.

FALCÃO FILHO, R.S. **Produção de passas de talo de abacaxi pérola por processo osmo-solar**, Tese de Mestrado, UFPB, João Pessoa, 2011.

FILHO, E.F.; ANTUNES, L.E.G.; DIONELLO, R.G. Custos da secagem estacionária de milho submetido a diferentes fontes de aquecimento do ar. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 55, n. 1, p.1-4, jan/mar. 2012.

FUDHOLI, A., SOPIAN, K., BAKHTYAR, B., GABBASA, M., OTHMAN, M. Y., RUSLAN, M. H. Review of solar drying systems with air based solar collectors in Malasia, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 51, pp. 1191-1204, 2015.

HEDGE, V. N., HOSUR, V. S., RATHOD, S. K., HARSOOR, P. A., NARAYANA, K. B. Design, fabrication and performance evaluation of solar dryer for banana, **Energy, Sustainability and Society**, pp. 5-23, 2015.

HILL, James E., STREED, Elmer R. A method of testing for rating solar collectors based on thermal performance. **Solar Energy**, v.18, p.421-429, 1976.

INCROPERA, F.P., **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, 6ª Edição, LTC, 2012.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 6 ed, Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia, 2018. Seção de Armazenamento de Dados Meteorológicos (SADMET), Estação Meteorológica Automática de João Pessoa-PB.

KALOGIROU S.A. Solar thermal collectors and applications. **Progress in Energy and Combustion Science** . 30, 231-295, 2004.

KALOGIROU, S.A. Solar energy engineering: process and systems. 2nd ed. **Oxford: Academic Press**, p. 819, 2014.

KUMAR R., ROSEN M.A. A critical review of photovoltaic-thermal solar collectors for air heating. **Applied Energy**. 88, 3603-3614, 2011.

LIMA, Francisco José Lopes de. **Previsão de irradiação solar no Nordeste do Brasil empregando o modelo WRF ajustado por redes neurais artificiais (RNAs)**. Tese de Doutorado em Meteorologia. São José dos Campos: INEP, 2015.

LINGAYAT, A., CHANDRAMOHAN V.P., RAJU, V.R.K. Design, Development and Performance of Indirect Type Solar Dryer for Banana Drying, **Energy Procedia**, v. 109, pp. 409-416, 2017.

MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B., ECHER, M.P.S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário – o Projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.26, n.2, p.145-159, 2004.

- MELO, C.E.; LOPES, D.C.; CORRÊA, P.C. *Grapsi* - Programa computacional para cálculo das propriedades psicrométricas do ar, 2004. Disponível em: <<http://www.centreinar.org.br/software.php>>. Acesso em: 11/03/2020.
- MONTEIRO, L.; BLANCO, J.; MIRANDA, T.; ROJAS, S.; CELMA, A. R. Design, construction and performance testing of a solar dryer for agroindustrial by-products. *Energy Conversion and Management*, v. 51, n.7, p. 1510-1521, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041000066X>>. Acesso em: 08 de dezembro de 2019.
- OLIVEIRA, L. C. T. G.; PAES, J. L.; GUIMARÃES, C.L. Avaliação da eficiência do coletor solar plano acoplado em secador híbrido. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar**; Gramado-RS; abr 2018.
- PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos (Brasil): INPE, p. 88, 2017.
- PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE. 2006. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf>. Acesso em 08 de dezembro de 2019.
- PESKE, S.T.; VILELLA, F.A. Secagem de sementes. In: PESKE, S.T.; LUCCA, O.F.; BARROS, A.C.S.A. Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos. 2.ed. Pelotas: UFPel, v.2, p.470-498, 2006.
- PIERRO, B. Para aproveitar o sol: Estudo indica áreas favoráveis para explorar a energia solar no Brasil. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 258, ago. 2017.
- POTDUKHE, P., THOMBRE, S. Development of a new type of solar dryer: its mathematical modelling and experimental evaluation, **International Journal of Energy Research**, v. 32, pp. 765–82, 2008.
- PRECCI, R. L.; SOBRINHO, J.C.; SILVA, J. de Sousa e; SILVA, J.N. da. Fontes de energia para secagem. In: SILVA, J. de Sousa e (Ed.). **Secagem e armazenagem de café: tecnologias e custos**. Viçosa: Jard Editora Ltda, c. 4, p.111-132, 2001.
- REDPATH, David A. G. Thermosyphon heat-pipe evacuated tube solar water heaters for northern maritime climates. **Elsevier: Solar Energy**, 2011.
- SANTOS, L.A. Construção e avaliação de um coletor armazenador de energia solar, não convencional, para aquecimento de ar na secagem de produtos agrícolas. **Tese de Doutorado**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas –SP, 1980.
- SCHMIDT FILHO, Ricardo; MOUTINHO, Lúcia Maria Góes. Recursos ambientais e dinâmica populacional no semiárido paraibano. **Revista de Economia**, Universidade Federal do Paraná, v.34, n.2, 2008.
- SIEBERST, D. L., VISKANTA, R. Comparison of long-term flat-plate solar collector performance calculations based on averaged meteorological data. **Solar Energy**, Volume 19, 163-169, 1977.

- SILVA, Rutelly Marques da. Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. **Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado**, Fevereiro/2015. Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 08 de dezembro de 2019.
- SILVA, Vítor Manuel Alves da. **Coletor solar de baixo custo. Aplicação à secagem de produtos agroalimentares**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. Universidade de Coimbra. 2013.
- SILVEIRA, L.R. **Modelagem de um secador solar de produtos agrícolas com sistemas de armazenagem de energia térmica**. Tese de Doutorado, ESALQ, USP, Piracicaba, 2016.
- SINGH, R.P.; HELDMAN, D.R. Introduction to Food Engineering. **Elsevier Inc**. All rights reserved. V.4, p. 572, 2009.
- SOLANKI S.C., DUBEY S., TIWARI A. Indoor simulation and testing of photovoltaic thermal (PV/T) air collectors. **Applied Energy**. 86, 2421-2428, 2009.
- SOPIAN K., LIU H.T., KAKAC S., VEZIROGLU T.N. Performance of a double pass photovoltaic thermal solar collector suitable for solar drying systems. **Energy Conversion and Management**. 41, 353-365, 2000.
- TAHERIAN, H. et al. Experimental validation of dynamic simulation of the flat plate collector in a closed thermosyphon solar water heater. **Elsevier: Energy Conversion and Management**, Mazandaran, 2010.
- TIAN Y., ZHAO C.Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. **Applied Energy**. 104, 538-553, 2013.
- TYAGI V.V., KAUSHIK S.C., TYAGI S.K. Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 16, 1383-1398, 2012.
- VERGARA, F.; AMÉZAGA, E.; BÁRCENAS, M. E.; WELTI, J. Analysis of the drying processes of osmotically dehydrated apple using the characteristic curve model. **Drying Technology**, v. 15, n. 3, p. 949-963, 1997.
- WILD, M.; FOLINI, D.; HENSCHEL, F.; FISCHER, N.; MÜLLER, B. Projections of long-term changes in solar radiation based on CMIP5 climate models and their influence on energy yields of photovoltaic systems. **Solar Energy**, v. 116, p. 12-24, 2015.

ANEXOS

ANEXO A- Dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a cidade de João Pessoa-PB nos dias 11 e 12 de março

Data	Hora	Horário	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Po. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (ms)			Radiação (kJ/m²)	Irradiação (W/m²)	Chuva (mm)
			Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.(°)	Ráf.			
11/03/2020	12	9	28,9	28,9	26,4	75	90	74	24	25,3	23,5	1007,5	1007,6	1007,4	1,3	333	3,1	2149	596,94	0
11/03/2020	13	10	30,6	30,6	28,9	65	76	62	23,2	24,9	22,3	1007,3	1007,6	1007,3	1,2	59	3,2	2880	800,00	0
11/03/2020	14	11	30,5	31,2	30	65	68	58	23,2	23,9	21,5	1006,8	1007,3	1006,8	1,6	77	4,6	3272	908,89	0
11/03/2020	15	12	31	31,5	30,3	61	67	61	22,6	24,3	22,6	1005,9	1006,8	1005,9	1,5	81	6,2	3714	1031,67	0,2
11/03/2020	16	13	31,1	31,3	30,1	66	69	61	24,1	24,5	22,3	1005,2	1006	1005,2	1,5	114	4,9	2347	651,94	0
11/03/2020	17	14	31,1	31,9	30,3	61	68	60	22,6	24,9	22,5	1004,6	1005,2	1004,6	1,4	104	6,4	2701	750,28	0
11/03/2020	18	15	30,1	31,3	30,1	66	67	60	23,1	23,5	22,1	1004,2	1004,6	1004,2	1,6	94	5,2	2226	618,33	0
11/03/2020	19	16	30,2	31	29,6	66	68	64	23,1	24	22,7	1004,2	1004,2	1004	1,2	136	5,2	1379	383,06	0
11/03/2020	20	17	28,6	30,2	28,6	73	74	64	23,2	23,8	22,4	1004,5	1004,5	1004,2	1,3	113	5	4666	129,61	0
Data	Hora	Horário	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Po. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (ms)			Radiação (kJ/m²)	Irradiação (W/m²)	Chuva (mm)
12/03/2020	12	9	28,8	29,5	27,2	77	88	72	24,3	25,8	23,8	1006,9	1006,9	1006,7	1,6	130	5,2	2249	624,72	0
12/03/2020	13	10	29,4	30,7	28,9	73	77	68	23,9	25,1	23,6	1007	1007,1	1006,9	1,6	123	6,2	2511	697,50	0
12/03/2020	14	11	28,5	30,8	28,4	76	77	67	23,8	24,8	23,1	1006,7	1007	1006,7	1,5	94	6,2	1799	499,72	0
12/03/2020	15	12	27,1	28,5	27,1	82	82	73	23,7	23,9	23,3	1006,4	1007,1	1006,4	1	86	5,4	450	125,00	0
12/03/2020	16	13	27,5	27,5	26,8	83	87	82	24,4	24,8	23,7	1005,4	1006,5	1005,3	1,3	75	4,4	570,3	158,42	0,4
12/03/2020	17	14	28,7	28,9	27,4	73	84	73	23,5	24,6	23,5	1005,4	1005,6	1005,4	1,2	77	4,8	1292	358,89	0
12/03/2020	18	15	28,2	28,8	28,1	77	78	72	23,8	24,2	22,9	1004,9	1005,4	1004,9	1	85	4,4	1131	314,17	0
12/03/2020	19	16	27,2	28,4	27,2	82	82	74	23,8	23,9	23,1	1004,7	1004,9	1004,7	1,2	124	4,7	615,2	170,89	1
12/03/2020	20	17	26,3	27,2	26,1	87	90	82	23,8	24,7	23,7	1005,3	1005,3	1004	1,2	98	4,7	212,8	59,11	0

ANEXO B- Dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a cidade de João Pessoa-PB nos dias 13 e 16 de março

Data	Hora	Horário	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pro. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação (kWh/m²)	Irradiação (Wh/m²)	Chuva (mm)
			Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)	Raj.			
UTC	UTC	(h)	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)	Raj.	(kWh/m²)	(Wh/m²)	(mm)
13/03/2020	12	9	24,9	24,9	24,3	92	93	92	23,4	23,6	23	1008,8	1008,9	1008,6	1,3	269	3,1	530,3	137,86	0
13/03/2020	13	10	26,1	26,1	24,6	87	92	86	23,7	23,8	23,2	1009	1009,1	1008,8	1,3	283	3,5	151	319,72	0
13/03/2020	14	11	27,5	27,6	26	78	87	77	23,3	24,1	23,1	1008,3	1009	1008,3	1,5	281	3,7	1826	507,22	0
13/03/2020	15	12	28,3	28,5	27,4	72	79	71	22,8	23,8	22,5	1007,3	1008,3	1007,3	1,1	306	3,2	2222	617,22	0
13/03/2020	16	13	29,3	29,7	28,3	73	75	68	24	24	22,4	1006,4	1007,3	1006,4	0,9	53	2,9	1774	492,78	0
13/03/2020	17	14	29,6	29,9	29	70	76	68	23,5	24,3	22,9	1005,7	1006,4	1005,7	0,9	119	4,8	2000	555,56	0
13/03/2020	18	15	28,8	30	28,4	74	77	66	23,6	24,2	22,8	1005,6	1005,7	1005,6	0,8	158	3,3	1554	431,67	0
13/03/2020	19	16	28,1	29,4	28,1	75	77	71	23,3	24,2	23,2	1005,7	1005,7	1005,5	1,4	152	4,7	1260	350,00	0
13/03/2020	20	17	27,6	28,1	27,6	80	81	75	23,9	23,9	23,2	1006,3	1006,3	1005,7	0,9	135	4,7	379,3	105,36	0
Data	Hora	Horário	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pro. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Irradiação	Chuva
	UTC	(h)	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)	Raj.	(kWh/m²)	(Wh/m²)	(mm)
16/03/2020	12	9	26,8	27	25,4	74	85	74	21,9	23,2	21,9	1008,8	1009,1	1008,8	1,3	246	3,3	1753	486,94	0
16/03/2020	13	10	28,3	28,3	26,7	71	78	71	22,5	23,2	21,9	1008,7	1008,8	1008,7	1,3	249	3,3	1665	462,50	0
16/03/2020	14	11	29,9	29,9	28,2	65	74	64	22,7	23,4	21,9	1008,2	1008,7	1008,2	0,5	338	3,2	2121	589,17	0
16/03/2020	15	12	30,4	30,5	29,4	65	72	63	23	24,2	22,1	1007,6	1008,2	1007,6	1,3	53	3,4	2141	594,72	0
16/03/2020	16	13	30	31,4	29,8	69	70	59	23,8	24,2	22,4	1006,8	1007,6	1006,8	1,3	86	5,7	3017	838,06	0
16/03/2020	17	14	28	30,2	27,9	70	73	67	22	23,9	21,9	1005,9	1006,8	1005,9	1,5	70	7,1	1556	432,22	0
16/03/2020	18	15	28,4	28,9	28,1	66	71	63	21,3	22,7	21,1	1005,6	1005,9	1005,6	1,3	74	4,1	1205	334,72	0
16/03/2020	19	16	28,8	29,2	28,4	70	74	66	22,8	23,8	21,5	1005,6	1005,6	1005,4	0,8	107	3,4	1021	283,61	0
16/03/2020	20	17	27,9	29,3	27,9	75	75	68	23	23,3	22,6	1006,3	1006,3	1005,6	1,1	89	3,2	540,8	150,22	0