

Avaliação de um sistema de secagem solar de exposição direta para abacaxi sob as condições meteorológicas do semiárido nordestino

Evaluation of a direct exposure solar drying system for pineapple under meteorological conditions in the northeastern semiarid region

Evaluation of a direct exposure solar drying system for pineapple under meteorological conditions in the northeastern semiarid region

Recebido: 20/06/2021 | Revisado: 26/06/2021 | Aceito: 29/06/2021 | Publicado: 13/07/2021

Nancy Lima Costa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5313-5070>
Universidade de Pernambuco, Brasil
E-mail: nancy.costa@upe.br

Maria de Sousa Leite Filha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4576-3979>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: mariadslfilha@gmail.com

João André Soares e Sousa da Conceição

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4091-2587>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: joao.andre@estudante.ufcg.edu.br

Ítalo de Andrade Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6537-4394>
Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: eng.iagomes@gmail.com

Vitor Leão Santana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7663-9471>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: vitorsantana@gmail.com

Jonas Fernando de Souza Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0444-0391>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: jonasengmecanica@gmail.com

Claudemiro de Lima Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6640-6340>
Universidade de Pernambuco, Brasil
E-mail: claudemiro.lima@upe.br

Marcelo Bezerra Grilo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6415-5058>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: griloufcg@yahoo.com.br

Resumo

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar um sistema de secagem solar de exposição direta que utiliza unidade dessecante, de baixo custo, fácil operação, elevada eficiência e acessível aos produtores da agricultura familiar para a secagem de abacaxi, sob as condições meteorológicas do semiárido nordestino. Como metodologia, foi realizado uma comparação entre dois sistemas de secagem, um com uma unidade dessecante contendo sílica gel e outro sem unidade dessecante, onde foi avaliado o tempo de secagem do abacaxi e o rendimento térmicos dos equipamentos. O abacaxi utilizado possuía teor de umidade em base úmida de 86,22%. Os principais resultados experimentais mostraram que o ar ambiente ao passar pela unidade dessecante apresentava condições mais favoráveis para a realização do processo de secagem, a saber, maior temperatura e menor umidade relativa. Com isso, houve uma redução de 60 min no tempo de secagem necessário para que o abacaxi atingisse o teor de umidade em base úmida de 25% em comparação ao sistema de secagem sem unidade dessecante. A média dos rendimentos térmicos dos sistemas de secagem sem unidade dessecante e com unidade dessecante foram, respectivamente, 39,15%, 39,76%. Como conclusão é possível afirmar que a operação dos sistemas de secagem foi executada sem necessidade de ações de elevada complexidade, o que comprovam sua facilidade de operação, tornando-o uma tecnologia apropriada para inserção na agricultura familiar.

Palavras-chave: Secagem solar; Unidade dessecante; Rendimento térmico; Energia solar.

Abstract

The present work aims to evaluate a direct exposure solar drying system that uses a desiccant unit, is of low cost, easy operation, high efficiency and accessible to family farmers for drying pineapple, under the meteorological conditions of the semiarid region. northeastern. As a methodology, a comparison was made between two drying systems, one with a desiccant unit containing silica gel and the other without a desiccant unit, where the drying time of pineapple and the thermal efficiency of the equipment were evaluated. The pineapple used had a moisture content on a wet basis of 86.22%. The main experimental results showed that the ambient air passing through the desiccant unit had more favorable conditions for carrying out the drying process, namely, higher temperature and lower relative humidity. Thus, there was a 60 min reduction in the drying time required for the pineapple to reach a moisture content on a wet basis of 25% compared to the drying system without a desiccant unit. The average of the thermal yields of the drying systems without desiccant unit and with desiccant unit were, respectively, 39.15% and 39.76%. In conclusion, it is possible to state that the operation of the drying systems was carried out without the need for highly complex actions, which proves its ease of operation, making it an appropriate technology for insertion in family farming.

Keywords: Solar drying; Desiccant unit; Thermal yield; Solar energy.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar un sistema de secado solar de exposición directa que utiliza una unidad desecante, es de bajo costo, fácil operación, alta eficiencia y accesible a los agricultores familiares para el secado de piña, en las condiciones meteorológicas de la región semiárida del noreste. Como metodología, se realizó una comparación entre dos sistemas de secado, uno con unidad desecante que contiene gel de sílice y otro sin unidad desecante, donde se evaluó el tiempo de secado de la piña y la eficiencia térmica del equipo. La piña utilizada tenía un contenido de humedad en húmedo del 86,22%. Los principales resultados experimentales mostraron que el aire ambiente que pasaba por la unidad desecante presentaba condiciones más favorables para realizar el proceso de secado, es decir, mayor temperatura y menor humedad relativa. Por lo tanto, hubo una reducción de 60 minutos en el tiempo de secado requerido para que la piña alcanzara un contenido de humedad en una base húmeda del 25% en comparación con el sistema de secado sin una unidad desecante. El promedio de los rendimientos térmicos de los sistemas de secado sin unidad desecante y con unidad desecante fueron, respectivamente, 39,15%, 39,76%. En conclusión, se puede afirmar que la operación de los sistemas de secado se realizó sin necesidad de acciones de alta complejidad, lo que demuestra su facilidad de operación, convirtiéndola en una tecnología adecuada para la inserción en la agricultura familiar.

Palabras clave: Secado solar; Unidad desecante; Rendimiento térmico; Energía solar.

1. Introdução

A fruticultura tem um papel socioeconômico relevante no agronegócio brasileiro. O Brasil é o terceiro produtor mundial de frutas e as mais produzidas são laranja, banana, açaí, uva e abacaxi, com participação de 4,8% na produção mundial (IBGE, 2017; FAO, 2016).

As regiões tradicionais de cultivo, como São Paulo e Minas Gerais, vêm perdendo espaço para polos emergentes, como Rio Grande do Norte, Ceará, Vale do São Francisco em Pernambuco e na Bahia, as regiões de Irecê e da Chapada Diamantina, na Bahia. Esta mudança deve-se a condições climáticas e relevo favoráveis, uso de tecnologias apropriadas, valor da terra, incentivos fiscais e a própria expansão da demanda (ABF, 2018).

Segundo dados da Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (2017), mais de 50% dos alimentos que compõem a cesta básica brasileira, dentre eles, legumes e frutas, são provenientes de sistemas de agricultura familiar. Nesse sistema, a produção agrícola é realizada com poucos recursos financeiros, devido ao baixo poder aquisitivo dos agricultores familiares (Braga et al., 2015).

No entanto, todas as etapas do processo produtivo agrícola mundial (produção, colheita, pós-colheita, armazenamento e transporte) apresentam altas taxas de perdas e desperdícios de alimentos, seja por sua deterioração ou pelo mal aproveitamento do seu poder nutritivo. No Brasil, cerca de 45% das frutas produzidas são desperdiçadas desde o plantio até a comercialização (FAO, 2016).

Em particular, no caso da fruticultura, o teor de água do produto é um dos fatores que mais contribuem para o aumento das perdas na produção. O teor de água está associado a estabilidade microbiológica e a qualidade de um produto

agrícola, podendo afetar o processamento e armazenamento. Produtos armazenados com teor de água inadequado deterioram-se rapidamente, diminuindo assim o tempo de prateleira (Gomes, 2015).

Nesse contexto, a secagem das frutas torna-se uma alternativa para reduzir essas perdas, aumentar o tempo de prateleira, agregar valor ao produto, reduzir os custos com transportes e armazenamento, além de gerar empregos e renda do produtor (Germer et al., 2012). A fruta seca (ou fruta passa) é definida como o produto obtido pela perda parcial da água da fruta madura, inteira ou em pedaços, por processos tecnológicos adequados, de modo que possua no máximo 25% de umidade em base úmida (RDC/ANVISA nº272).

A secagem pode ser realizada desde a secagem ao ar livre até formas mais sofisticadas, como a liofilização. O Brasil é um país de dimensões continentais e está geograficamente posicionado numa zona de excepcional disponibilidade de energia solar, sendo os maiores índices de irradiação solar observados na região Nordeste, em especial na região do Vale do São Francisco (Cresesb, 2019 e Pereira et al., 2017).

Diante desse cenário, este trabalho tem a finalidade de fazer uma comparação entre dois sistemas de secagem solar, a saber, um com sistema de desumidificação do ar de secagem e outro sem sistema de desumidificação do ar, de modo a apresentar um equipamento de secagem solar para frutas de baixo custo, adequado às condições climáticas do semiárido, eficiente, acessível aos produtores da agricultura familiar e que resulte em um produto de boa qualidade.

2. Sistema de Secagem Solar de Exposição Direta

A utilização da energia solar como alternativa para a realização de secagem tem-se mostrado viável tecnicamente e economicamente. O processo pode ser realizado ao céu aberto ou num secador solar.

O secador solar de exposição direta é composto pelo coletor solar, que é uma estrutura construída de material isolante térmico, possui uma cobertura transparente responsável pelo efeito estufa e conseqüente aquecimento do ar circundante e uma bandeja onde o produto a ser seco é depositado. De modo geral, sua construção é simples e de baixo custo.

A opção por este equipamento deu-se por ser de simples construção, rentável, exige menos manutenção, é de fácil manuseio e locomoção e é útil para o processamento de vários produtos, como fatias de frutas e vegetais (Kumar; Singh, 2020).

Além disso em comparação com o secador solar de exposição indireta e secadores híbridos, os secadores solares de exposição direta apresentam maior rendimento térmico, ficando entre 20% e 40% (Kumar et al., 2016).

O desenvolvimento de secadores solares tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores em instituições de ensino nacionais e internacionais.

Islam et al. (2018), desenvolveram um secador solar de exposição direta, que foi testado na secagem de bananas e batatas. Para reduzir a umidade no interior do equipamento, foi realizado um teste de 36 h em um secador com ventilador de corrente contínua de 12 V (convecção do ar forçada), posicionado em seu interior, e outro sem esse ventilador (convecção natural do ar). A umidade relativa do ar no interior do secador utilizando convecção natural ficou entre 30% e 52%. Já no secador com convecção forçada, a menor umidade relativa do ar foi de 27%. Esta diferença de umidade relativa do ar facilitou o processo de secagem.

Fernandes (2021), desenvolveu um secador solar de exposição direta, com a utilização de uma unidade dessecante contendo sílica gel, que foi testado experimentalmente na 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. Com relação ao tempo de secagem, observou-se redução entre 60 a 240 min do secador com dessecante para o secador sem dessecante.

Krang et al. (2015), desenvolveram um secador solar de exposição direta com convecção natural, para a secagem de lagostins, com umidade inicial de 76,6%. O período de secagem em relação a secagem ao ar livre foi reduzido em 2 dias e a umidade dos lagostins ao fim do processo foi de 12%.

Alonge e Uduak (2014), construíram um secador solar de exposição direta com convecção forçada, para secar as folhas de maçã do mato. Em oito horas de secagem, o teor de umidade reduziu-se de 66,4% a 11,5%, sendo necessário mais de 24 h quando utilizado a secagem ao ar livre.

Chramsa et al. (2013), desenvolveram um secador solar para frutas com sistema de desumidificação formado por leitos de sílica gel. Nos experimentos realizados sem carga, observou-se que os parâmetros que afetam a taxa de adsorção são a temperatura do ar e a taxa de umidade do ar úmido. Já nos testes realizados com carga, houve uma redução de 20,83% no tempo de secagem do sistema com desumidificação em relação ao sistema sem desumidificação.

Tefera et al. (2013), avaliaram o desempenho do secador solar de exposição direta construído em madeira e na forma de pirâmide para a secagem de batata (*S. tuberosum*), o tempo de secagem foi reduzido de 2 a 3 h em comparação com a secagem ao ar livre.

Sanusi et al. (2013), investigaram o desempenho de secadores solares diretos e indiretos para a secagem de tomate (*Solanum lycopersicum*). Foi observado que secador solar direto atingiu a maior redução no teor de umidade e apresentou maior variação de temperatura do que o secador solar indireto.

3. Metodologia

Com o intuito de avaliar os sistemas de secagem propostos neste trabalho, esta é uma pesquisa de natureza quantitativa, a qual tem por objetivo demonstrar, de forma quantificada, a importância dos dados coletados em uma verificação (Proetti, 2018).

Os sistemas de secagem solar desenvolvidos, a saber, um sistema de secagem solar sem unidade dessecante (denotado por SSsem) e um sistema de secagem solar com unidade dessecante (denotado por SScom), são adaptações dos sistemas de secagem desenvolvidos e testados por Fernandes (2021) e Gomes (2021). Suas principais características construtivas são:

- ✓ Material da base: Poliestileno expandido 25 mm revestido com chapa de alumínio;
- ✓ Dimensões 90 cm x 120 cm x 12 cm;
- ✓ Dimensões da entrada de ar: 50 cm x 3 cm
- ✓ Dimensões da saída de ar: 40 cm x 3 cm
- ✓ Utilização de uma telha de fibrocimento pintada de preto fosco, como capacitor térmico;
- ✓ Convecção forçada por meio de um cooler de computador na estrada do sistema de secagem de 12 V e 0,23 A;
- ✓ Volume interno de 129,6 litros;
- ✓ Cobertura de policarbonato alveolar transparente de 4 mm;
- ✓ Unidade dessecante feita com uma caixa de polietileno de 17 litros contendo 1 kg de sílica gel laranja de 4 a 8 mm, distribuído em duas bandejas.

Os testes experimentais foram realizados no Laboratório de Física e Energia Renovável da Universidade de Pernambuco (UPE), *Campus* de Petrolina nos dias 25 e 26 de março de 2021.

A cidade de Petrolina (PE) está localizada no semiárido do nordeste brasileiro, na latitude 9,4° Sul e 40,54° Oeste, situada a 380 m de altitude em relação ao nível do mar, e tem clima tropical semiárido

Grilo (2007), recomenda que o secador solar, se for fixo, esteja posicionado voltado para o norte geográfico, com uma inclinação igual à latitude local mais uma inclinação de 10° a 15°. Seguindo esta recomendação, neste estudo foi utilizada uma inclinação de 20°.

A avaliação dos sistemas de secagem foi feita por meio de uma comparação entre o tempo de secagem necessário para que as amostras atingissem o teor de água, em base úmida, de 25% e o rendimento térmico do SSsem e SScom.

Para a obtenção dos dados referentes a temperatura do ar e umidade relativa do ar durante o processo de secagem, necessários para o cálculo do rendimento térmico, foi desenvolvido um sistema de medição e aquisição de dados utilizando uma plataforma de prototipagem eletrônica do tipo Arduino com sensores de medição de temperatura e umidade relativa do ar do tipo DHT22. O posicionamento dos sensores durante a realização dos experimentos está ilustrado na Figura 1. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos a cada minuto e gravados em periférico para posterior tratamento.



Fonte: Autores.

Os dados de radiação solar utilizados foram disponibilizados pelo Laboratório de Meteorologia (LABMET), localizado na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) *Campus* de Juazeiro, situado a 5,7 km do local de realização dos testes experimentais.

No processo de secagem foram utilizadas fatias de abacaxi do tipo peróla adquiridas no mercado local, observando-se a uniformidade e grau de maturação dos produtos. Os frutos selecionados foram higienizados, descascados e cortados manualmente em rodela de aproximadamente $1,0 \pm 0,2$ cm. O miolo do produto foi retirado e na sequência as amostras foram pesadas e colocadas nos sistemas de secagem.

As amostras foram dispostas no centro da bandeja do sistema de secagem e foram pesadas em uma balança digital com resolução de 0,01 g, a cada 60 min, até que a diferença entre as pesagens fosse menor que 0,01 g.

3.1 Secagem

A secagem é uma operação unitária caracterizada pela transferência simultânea de calor e massa entre o ar circundante e o produto a ser seco. Na secagem de alimentos, em particular de frutas, a redução da quantidade de água ocorre até um nível no qual seu metabolismo e /ou dos microrganismos a ele associados sejam minimizados. (Lima, 1999; Costa, 2008).

A composição mássica dos produtos agrícolas é formada por fração de massa de matéria seca e outra de massa de água, como representado a Equação (1).

$$m_t = m_{H_2O} + m_{ms} \quad (1)$$

onde,

m_t – massa total do produto, (g);

m_{H_2O} – massa de água contida no produto, (g);

m_{ms} – massa de matéria seca do produto, (g);

A remoção de água durante o processo de secagem é calculada em função dos teores de água inicial e final do produto a ser seco e da massa total do produto no início do processo.

O teor de água pode ser expresso em relação a massa de matéria seca ou em relação a massa total do produto a ser seco, como é expresso pelas Equações (2) e (3).

$$X_{bu} = \frac{m_{H_2O}}{m_t} \quad (2)$$

$$X_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_{ms}} \quad (3)$$

onde,

X_{bu} – teor de água, em base úmida, (%);

X_{bs} – teor de água, em base seca, (%).

Em geral utiliza-se o teor de água em base úmida em situações comerciais, como por exemplo no critério de classificação de frutas secas ou desidratadas da Anvisa; e o teor de água em base seca é utilizado em trabalhos científicos, com por exemplo na modelagem matemática da cinética de secagem.

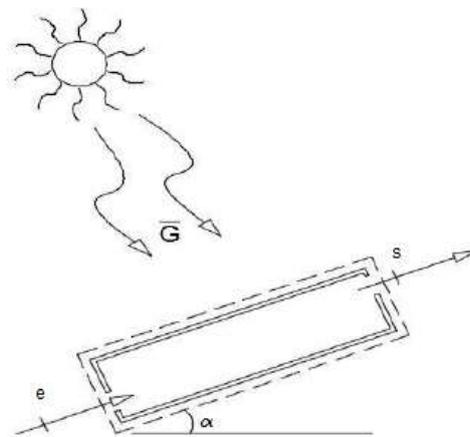
Para determinação do teor de água do abacaxi, as amostras, após a secagem solar, foram levadas a uma estufa de Secagem e Esterilização SL-100 a uma temperatura de 70°C por um período de 24 h para a obtenção da massa de equilíbrio. Em seguida, as amostras foram mantidas sob as mesmas condições por mais um período de 24 h para a obtenção da massa seca do produto, conforme metodologia empregada por Farias (2011), sendo possível a determinação da massa de água do produto.

3.2 Rendimento térmico do sistema de secagem

O rendimento térmico dos sistemas de secagem foi obtido por meio da aplicação do balanço de energia tendo sido levado em consideração dados referentes a temperatura e umidade relativa do ar.

Aplicando o Princípio da Conservação de Massa para o volume de controle, ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Representação esquemática do volume de controle.



Fonte: Adaptado Nunes (2016).

Aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica e considerando que:

- ✓ a massa de ar que sai do sistema de secagem solar é igual a massa de ar que entra mais a massa de água retirada do abacaxi;
- ✓ a energia cinética e a energia potencial na entrada e saída do secador solar são iguais, o que é aceitável, dado as características construtivas e operacionais do equipamento; e
- ✓ o trabalho realizado pelo secador solar é nulo, porque o secador solar não é uma máquina térmica e sim um aparelho térmico.

Com as considerações supracitadas, a Primeira Lei da Termodinâmica pode ser reescrita pela Equação (4)

$$\dot{Q}_{vc} + \dot{m}_e h_e = \dot{m}_s h_s + h_v \dot{m}_{\text{água retirada do produto}} \quad (4)$$

onde,

\dot{m}_e – vazão mássica na entrada do volume de controle ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$).

h_e e h_s – entalpia específica do fluido na entrada e saída, respectivamente, no volume de controle ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$).

h_v - entalpia de vaporização da água na temperatura média de saída ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$).

A vazão mássica é dada pela Equação (5).

$$\dot{m} = v * A * \rho \quad (5)$$

onde,

v = velocidade do ar (m/s);

A = área da secção transversal (m²);

ρ = massa específica do ar (kg/m³).

Ao aplicar o conceito de eficiência térmica, pela Segunda Lei da Termodinâmica para o volume de controle e considerando a vazão mássica de entrada e saída diferentes, dado as características construtivas do equipamento, o rendimento térmico é obtido por meio da Equação (6)

$$\eta_{\text{secador}} = \frac{\dot{m} (h_s - h_e) + h_v \dot{m}_{\text{água retirada do produto}}}{A \cdot \bar{G}} \quad (6)$$

onde

A – área da cobertura transparente do secador solar (m²);

\bar{G} – média de irradiação solar, incidente sobre o secador solar, durante o processo de secagem ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$).

4. Resultados e Discussões

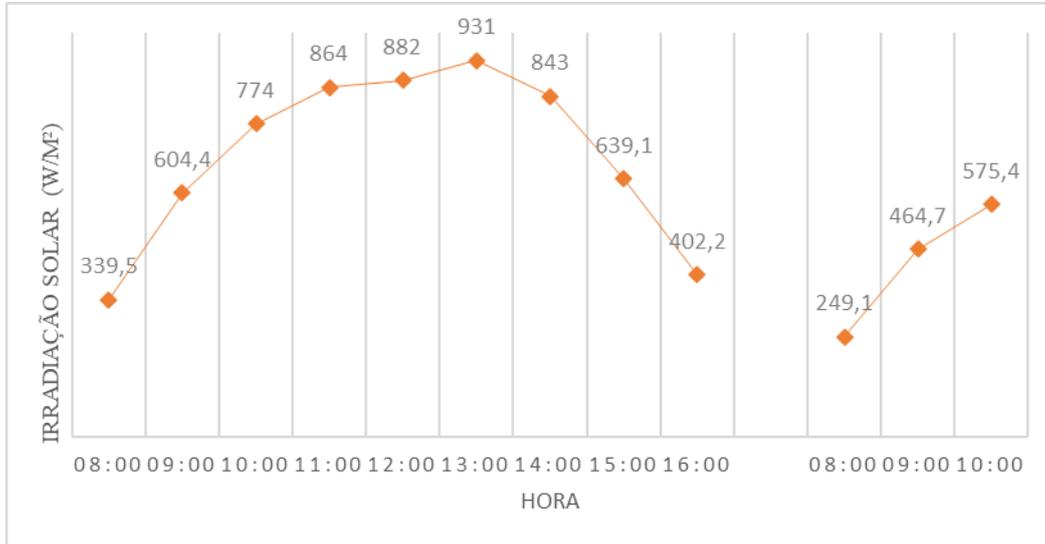
Nesta seção serão apresentadas informações sobre os dados meteorológicos durante a realização dos experimentos, a variação do teor de umidade e rendimento térmico dos secadores.

Durante a realização dos experimentos a velocidade do ar foi mantida constante 1,5 m/s e a vazão mássica foi de 0,002767 (kg/s). No dia 25/03 a secagem do abacaxi ocorreu da 8 h às 16 h59 min. Como ao fim do experimento, as amostras não haviam atingido a massa desejada, o experimento foi retomado no dia seguinte, iniciando às 8h e encerrando às 10h59min, quando foi observado que a diferença entre a pesagem das amostras foi menor do que 0,01 g

A radiação solar ao longo da realização dos experimentos está ilustrada na Figura 3. A ausência de nuvens no dia 25/03 fez com que a variação de radiação apresentasse um comportamento quase simétrico ao longo do dia. Já o dia 26/03 esteve

nublado durante a manhã, por isso o crescimento da radiação nesse período do dia ocorreu de forma mais lenta do que no dia anterior. Após às 12 h, como o céu estava limpo, o decrescimento da radiação foi similar ao dia 25/03.

Figura 3: Irradiação solar durante a realização do experimento.

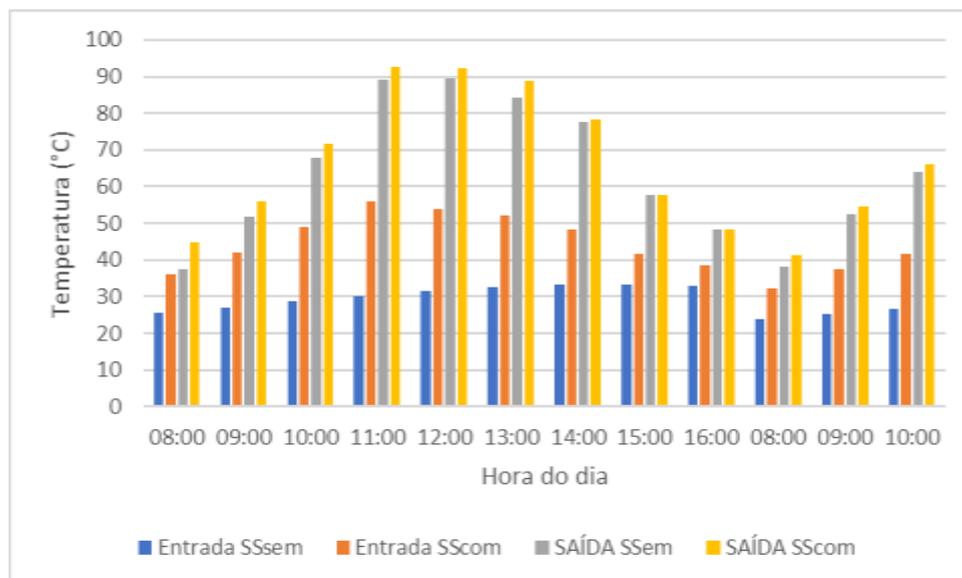


Fonte: LABMET UNIVASF (2021).

A radiação solar média durante a realização dos experimentos foi de 630,7 W/m², no período das 11:00 h às 14:00 h, nos dois dias, foi registrado os maiores valores de radiação. As máximas de 931 W/m² às 13 h do dia 25/03 e de 919 W/m² às 12 h do dia 26/03.

A variação de temperatura durante a realização do experimento é apresentada na Figura 4. As temperaturas máximas na entrada do SSsem e do SScom foram 33,35°C às 14 h e 55,85°C às 12 h respectivamente.

Figura 4: Variação da temperatura do ar nos sistemas de secagem durante a realização do experimento.

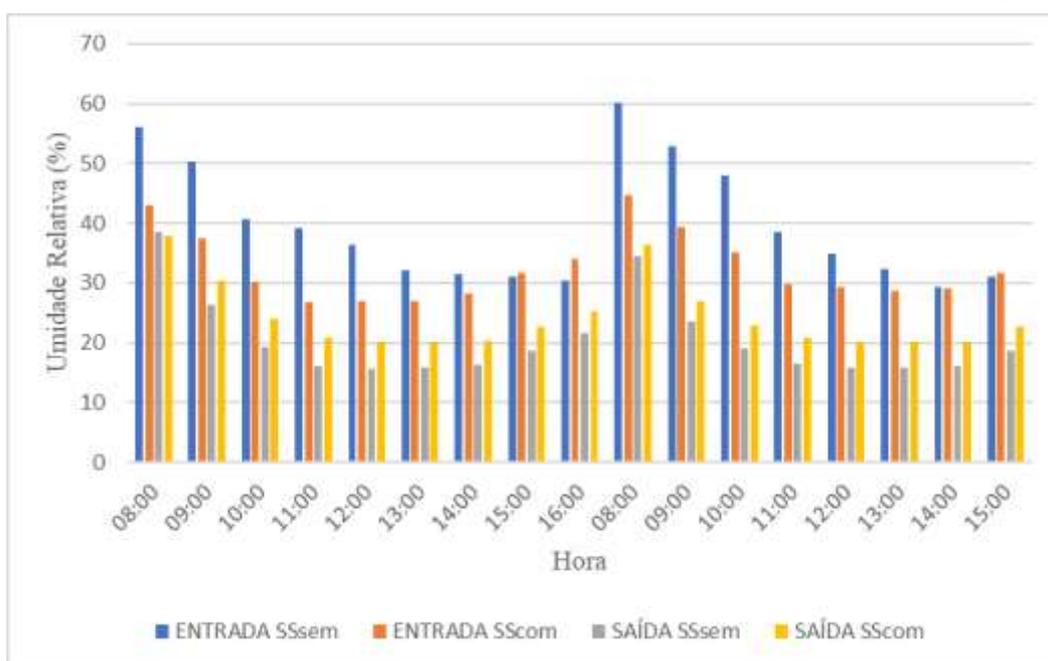


Fonte: Autores.

O SScom apresentou maiores valores de temperatura em comparação com o SSsem durante toda a realização do experimento. Esse comportamento é justificado pelo processo de adsorção realizado pela sílica gel, o qual reduz a umidade relativa do ar e libera calor. Já na saída dois sistemas, as temperaturas do ar permaneceram próximas, havendo uma diferença máxima de 5°C às 13 h do dia 26/03.

Em relação a umidade relativa do ar na entrada dos sistemas de secagem, como observado por Fernandes (2021), com a utilização da unidade dessecante, houve uma redução significativamente da umidade relativa do ar, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5: Variação da umidade relativa do ar nos sistemas de secagem durante a realização do experimento.



Fonte: Autores (2021).

No período das 15 h às 16 h, a umidade relativa do ar no SSsem apresentou valores menores do que o SScom devido a saturação da sílica gel, com isso o ar ao passar pela unidade dessecante acabava retendo mais vapor de água.

Na saída dos sistemas de secagem, o SScom apresentou maiores percentuais para a umidade relativa do ar em relação ao SSsem, possivelmente porque o ar mais seco e com uma temperatura mais elevada na entrada do SScom foi capaz de retirar mais água do abacaxi. A média da umidade relativa do ar na saída do SSsem e do SScom foram 22,13% e 42,38%, respectivamente.

Neste experimento foram utilizadas duas amostras em cada sistema de secagem. Os valores da massa total, massa seca e teor de umidade em base úmida destas amostras, em cada sistema de secagem são apresentadas na Tabela 1.

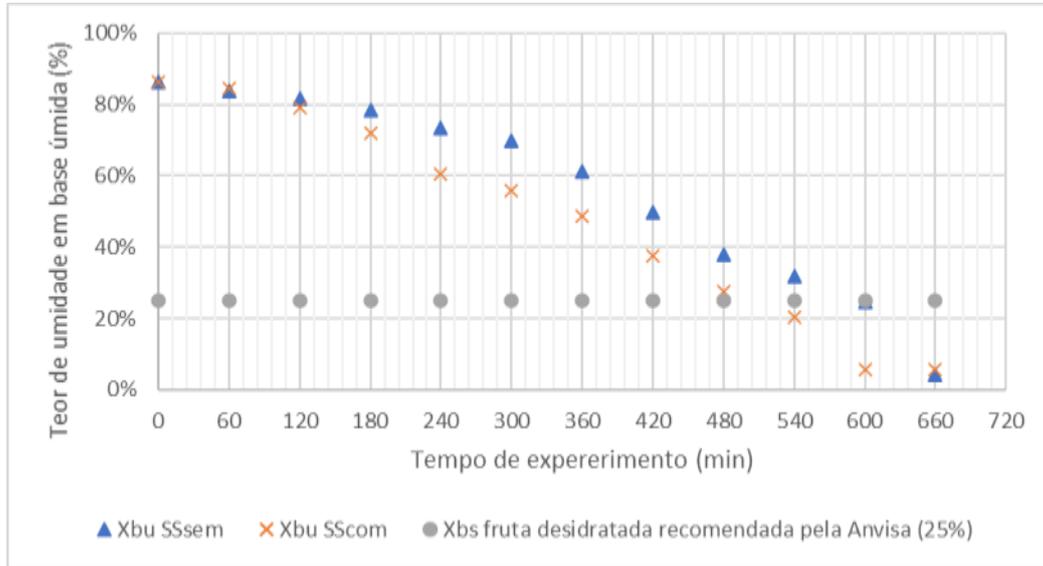
Tabela 1: Dados mássicos das fatias de abacaxi.

Sistemas de secagem	Massa total	Massa seca	Xbu inicial
SSsem	71,76	9,89	86,22
SScom	75,76	10,44	86,22

Fonte: Autores.

A variação do teor de umidade em base úmida nos dois sistemas de secagem é ilustrado na Figura 6, com base nos valores de temperatura e umidade relativa do ar pode-se inferir que como o ar entrou no SScom com a temperatura maior e umidade relativa do ar reduzida, o decaimento do teor de umidade ocorreu mais rápido nesse sistema de secagem do que no SSsem.

Figura 6: Teor de umidade em base úmida x tempo de secagem.



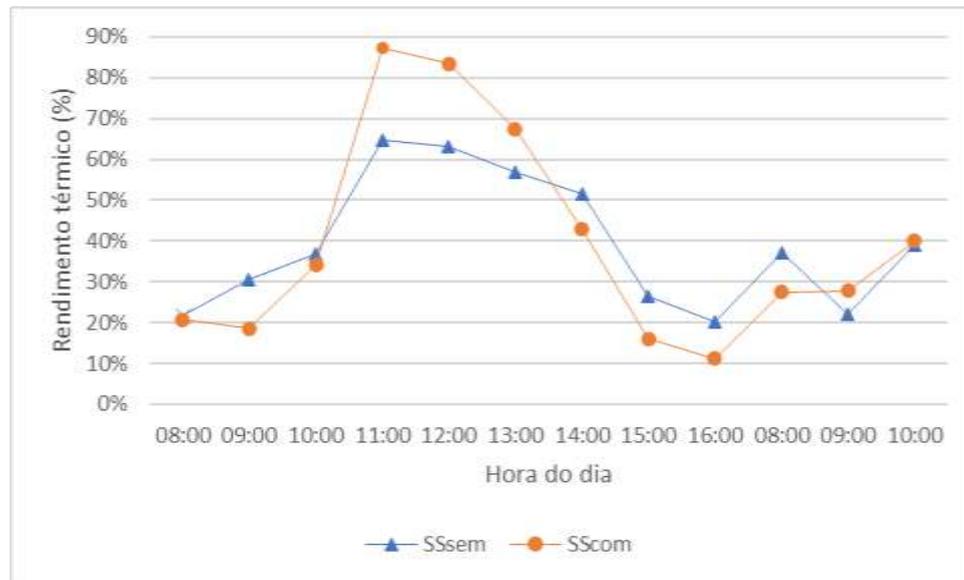
Fonte: Autores.

No SScom o teor de umidade recomendado pela Anvisa foi atingido após 540 min do início da secagem, já no sistema de secagem sem sílica foram necessários 600 min. Portanto, sob as mesmas condições meteorológicas, houve uma redução de 60 min no tempo de secagem do abacaxi com a utilização da unidade dessecante.

A avaliação do rendimento térmico do equipamento foi feita por meio da média dos rendimentos térmicos, obtidos durante a realização dos experimentos, conforme descrito na Equação (6).

Os dados de entalpia do ar e entalpia de vaporização da água foram obtidos pelo *software Computer-Aided Thermodynamic Tables 3 - CATT3* a partir da temperatura, umidade do ar na entrada e saída do sistema de secagem e da pressão atmosférica. Com base nesses dados o rendimento térmico foi calculado para cada hora de experimento, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Rendimento térmico dos sistemas de secagem durante a realização dos experimentos.



Fonte: Autores.

Nota-se que o SScom apresentou um rendimento térmico maior no período entre as 11 h e as 13 h do dia 25/03, período em que houve uma maior diferença entre a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e consequentemente a redução do teor de umidade em base úmida.

A média dos rendimentos térmicos dos sistemas de secagem SSsem e SScom foram 39,15%, 39,76%, respectivamente, estes valores estão na faixa dos rendimentos térmicos obtidos para sistemas de secagem solar de exposição direta.

Fernandes (2021), ao realizar testes experimentais com a secagem de banana obteve uma diferença de 3,7% entre o sistema de secagem com sílica gel e o sistema de secagem sem sílica gel.

Mesmo o dessecante sendo um fator importante na redução do tempo de secagem, sua utilização não se mostrou relevante para o incremento no rendimento térmico, porque com o aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar, a diferença entre a entalpia de entrada e saída do sistema de secagem é menor nos sistemas de secagem com sílica gel.

5. Conclusões

Com base nos resultados, pode-se inferir que:

- ✓ A utilização da unidade dessecante acarretou no aumento da temperatura do ar e redução da umidade relativa do ar, características favoráveis para a realização do processo de secagem;
- ✓ O tempo de secagem necessário para que abacaxi atingisse teor de umidade, em base úmida, de 25% no sistema de secagem sem unidade dessecante e no sistema de secagem com unidade dessecante foi de 600 min e 540 min, respectivamente, ou seja, houve uma redução de 60 min no tempo de secagem do abacaxi com a utilização da unidade dessecante;
- ✓ O rendimento térmico do SScom apresentou valores maiores do que o SSsem no período das 11h às 13h, mas em geral a influência da utilização da unidade dessecante foi significativa no cálculo do rendimento térmico pois a diferença entre as médias do rendimento dos sistemas de secagem foi de 0,61%.
- ✓ A média dos rendimentos térmicos dos dois sistemas de secagem está de acordo com os mencionados na literatura;

- ✓ A operação dos sistemas de secagem foi executada sem necessidade de ações de elevada complexidade, o que comprova sua facilidade de operação, tornando-o uma tecnologia apropriada para inserção na agricultura familiar.

Para trabalhos futuros, sugere-se realizar teses experimentais com a carga máxima de amostras no equipamento; realizar testes em diversas épocas do ano e com outras frutas para verificar a influência dessas variáveis no tempo de secagem e no rendimento térmico do equipamento.

Referências

- ABF - Anuário Brasileiro de Fruticultura. (2018) Santa Cruz do Sul RS. Editora Gazeta. 104 p.
- Alonge, A. F. & Uduak, U. S. (2014). Development of a direct active solar dryer and its use in drying Chester leaves (*Heinsia crinita*). *Journal of Agricultural Engineering and Technology*, 22 (4):110-120.
- Braga, B., Zatorre, N., Santos, G. & Castro, P. (2015). Uma Visão da Agricultura Familiar no Município de Seropédica. *Cadernos de Agroecologia*, 10(1).
- Brasil. (2005). *Resolução RDC nº 272/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA)*. Aprova o Regulamento Técnico para Produtos de Vegetais, Produtos de Frutas e Cogumelos Comestíveis. Brasília, DF: Diário Oficial, 23 de set. 2005.
- Chrams-a-Ard, W., Jindaruksa, S., Sirisumpunwong C., & Sonsaree, S. (2013). Performance evaluation of the desiccant bed solar dryer. *Energy Procedia*, 34: 189-197.
- Costa, A. R. S. (2018). *Sistema de secagem solar para frutos tropicais e modelagem da secagem de banana em um secador de coluna estática*. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- CRESESB - Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Salvo Brito (2019). <http://www.cresesb.cepel.br/>
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *Countries / Production Quantity / Pineapples*. http://www.fao.org/fao_stat/en/#data/QC.
- Farias, R. P. *Secagem de banana em estufa: efeitos térmicos e geométricos*. (2011). Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Fernandes, J. F. S. (2021). *Desenvolvimento experimental de um secador solar especial com sílica gel como dessecante do ar de secagem*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Germer, S. P. M., Queiroz, M. R., Gasparino-Filho, J., Cavichiolo J. R. & Aguirre, J. M. (2012). Viabilidade Econômica de uma Unidade Produtora de Frutas Desidratadas por Processo Osmótico. *Informações Econômicas*, 42(5): 20-35.
- Gomes, Í. A. (2021). *Dimensionamento e Otimização de um Secador Solar de Frutas Utilizando o Método do Planejamento Experimental Fatorial*. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Gomes, I. de A. & Grilo, M. B. (2015). Utilização de um Secador Solar de Frutas com Aproveitamento Multienergético na Desidratação de Abacaxi. *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*,
- Grilo, M. B. (2007). *Fundamentos da Energia Solar: conceitos básicos e aplicações*. Editora da Universidade Federal de Campina Grande, EDUFPG.
- Guerra, M. I. S. & Varella, F. K. O. M. (2014). Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de baixo custo na cidade de Mossoró.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil*. 30 (12).
- Islam, M. K., Islam S., Begum, N.N. & Uddin K.Z. (2018). Fabrication and performance study of a direct type solar dryer. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9 (2): 565-569.
- NUNES, A. G. (2016). Desenvolvimento experimental de um secador solar multienergético para a secagem de frutas. 198p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande-UFPG. Campina Grande.
- Proetti, S. (2018). As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: Um estudo comparativo e objetivo. *Revista Lumen*, 2(4).
- Krang, E. G., Onwe, D. N. & Onda, D. O. (2015). Development of a direct passive solar dryer for crayfish (*Procambarus clarkii*). *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*, 4 (2): 153-164.
- Kumar, M., Sansaniwal, S. K. & Hhatark, P. (2016). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55: 346-360.
- Sanusi, Y., Ajadi, D. & Adeyemo, I. (2013). Comparative study of performance of open, direct and indirect solar dryer in drying tomatoes. *Int. Journal of Current Engineering and Technology*, 3(2): 637-645.
- SEA - Secretária Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (2017). *Plano Safra da Agricultura Familiar*. 2017/2020.
- Tefera A., Endalew, W., & Fikiru, B. (2013). Evaluation and demonstration of direct solar potato dryer. *Livestock Research for Rural Development*, 25(12).