

Desidratação de alimentos usando um secador solar indireto: um estudo da capacidade energética na cidade de Cachoeira do Sul – RS

Food dehydration using an indirect solar dryer: an energy capacity study in the city of Cachoeira do Sul – RS

**Charles Rech^I , André Caldeira^I , Cristiano Frandalozo Maidana^I ,
Martin Hideki Mensch Maruyama^I , Simone Ferigolo Venturini^{II} **

^IUniversidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS, Brasil

^{II}Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

RESUMO

Reconhecida por sua sustentabilidade e adaptabilidade, a energia solar apresenta-se como uma alternativa energética essencial, com diversas aplicações, notadamente na desidratação de alimentos. Secadores solares realizam esse processo convertendo a radiação solar em calor, facilitando a remoção controlada da umidade dos produtos agrícolas. O presente trabalho apresenta um estudo de caso para quantificar a capacidade energética de um secador solar indireto, com o objetivo de atender às demandas da agricultura familiar. As análises foram conduzidas utilizando dados climáticos específicos da cidade de Cachoeira do Sul - RS, características físicas de três alimentos distintos e as medidas de um secador preexistente. Os resultados revelaram que o secador analisado pode absorver cerca de 1,71 MJ de energia durante os períodos de maior incidência solar anual e 0,66 MJ nos períodos de menor intensidade. Em termos práticos, essa capacidade energética sugere a possibilidade de desidratar aproximadamente 1,0 kg e 0,4 kg de alimento sob condições de alta e baixa irradiação, demonstrando o potencial desta tecnologia para a agricultura familiar.

Palavras-chave: Energia solar; Desidratador de alimentos; Agricultura familiar

ABSTRACT

Recognized for its sustainability and adaptability, solar energy presents itself as an essential energy alternative, with diverse applications, notably in food dehydration. Solar dryers accomplish this process by converting solar radiation into heat, facilitating the controlled removal of moisture from agricultural products. This paper presents a case study to quantify



the energy capacity of an indirect solar dryer, aiming to meet the demands of family farming. The analyses were conducted using specific climatic data from the city of Cachoeira do Sul - RS, physical characteristics of three distinct foods, and the measurements of a pre-existing dryer. The results revealed that the analyzed dryer can absorb approximately 1.71 MJ of energy during periods of highest annual solar incidence and 0.66 MJ during periods of lower intensity. In practical terms, this energy capacity suggests the possibility of dehydrating approximately 1.0 kg and 0.4 kg of food under conditions of high and low irradiation, demonstrating the potential of this technology for family farming.

Keywords: Solar energy; Food dehydrator; Family farming

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A energia solar, reconhecida como uma fonte energética sustentável e multifacetada, tem sido aplicada em diversas tecnologias, desde a produção de eletricidade e o aquecimento de fluidos até o condicionamento ambiental e, relevantemente, a desidratação de alimentos. A desidratação, um método de conservação amplamente reconhecido, baseia-se na redução do conteúdo de água nos alimentos, inibindo de maneira eficaz o crescimento de microrganismos deteriorantes como fungos e bactérias ^[1,2]. Para realizar esse processo, utilizam-se equipamentos denominados secadores, nos quais a energia solar pode ser utilizada como uma fonte de calor eficiente e ecologicamente correta.

A eficácia dos secadores solares para a secagem de alimentos está diretamente ligada à quantidade de radiação solar disponível na região, tornando-os uma solução particularmente atraente em climas tropicais com alta incidência solar diária ^[3]. O controle preciso da temperatura no interior desses equipamentos é fundamental para assegurar a qualidade do alimento processado. Embora secadores industriais ofereçam sistemas de controle avançados, seus custos elevados e a necessidade de combustíveis fósseis limitam sua acessibilidade para pequenos produtores e a agricultura familiar, para os quais a energia solar representa uma alternativa econômica e sustentável ^[4].

A prática da desidratação de alimentos desempenha um papel crucial na prevenção da contaminação microbiana e da formação de mofo, aumentando



significativamente a durabilidade dos produtos ^[5]. Este processo pode ser conduzido ao ar livre ou em secadores, sendo que estes últimos proporcionam um ambiente com condições controladas, minimizando as flutuações ambientais e protegendo os alimentos de agentes externos, como animais, partículas e intempéries, resultando em produtos finais de maior qualidade e um processo mais eficiente, especialmente quando alimentado pela energia solar ^[6,7].

MATERIAIS E MÉTODOS

O secador solar selecionado para ser construído, a partir de materiais recicláveis, foi o do tipo indireto, pois ele funciona recebendo irradiação solar para aquecer o ar, que, por convecção natural e também forçada, passa então pelos alimentos. Os secadores indiretos são mais adequados para o processo de desidratação em comparação aos secadores diretos ^[3]. Isso porque nos secadores indiretos os alimentos não ficam expostos à luz solar diretamente, que dependendo do nível de exposição podem vir a perder a sua qualidade mais rapidamente. Além disso, em secadores indiretos é possível se ter um controle maior do ar que entra na câmara de secagem ao se ter um sistema de ventilação forçada utilizando um ventilador e, conseqüentemente, aumentando a eficiência do secador ^[3,6].

Na Figura 1 está representado o desenho esquemático de um secador de alimentos do tipo indireto. O princípio de funcionamento é baseado no aquecimento de ar (1) que passa por uma câmara com a superfície superior transparente (2), podendo ser vidro ou acrílico, exposta aos raios solares. Essa câmara é preenchida com material isolante (3) em suas demais faces para evitar a perda de calor por condução térmica pelas paredes e possui, também, uma superfície absorvedora (4) que transfere o calor acumulado para a corrente de ar por meio de convecção, podendo essa ser forçada ou natural. O ar quente, por sua vez, é então conduzido até a câmara de desidratação opaca (5) que fica separada da câmara que recebe irradiação para então seguir com o processo de secagem. Os alimentos ficam dispostos sob bandejas perfuradas (6) para permitir um contato mais direto entre o ar quente e os alimentos.

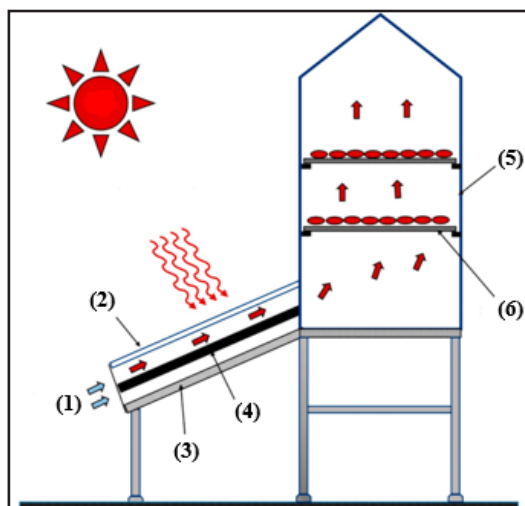


Figura 1 – Secador de alimentos indireto. Fonte: adaptado de EL-Mesery (2022) [6]

O dimensionamento adequado da câmara de secagem em um desidratador solar de alimentos depende fundamentalmente da avaliação da demanda energética para a remoção da umidade dos alimentos, assim como da quantificação da energia que o sistema é capaz de fornecer.

Tabela 1 – Propriedades de alimentos cortados usados em secadores solares

Fonte: Adaptado de Nwakuba et al. (2016) [8]

Alimentos cortados	Umidade inicial (%m)	Umidade final (%m)	Energia necessária (MJ/kg)	Temp. máxima (°C)	Temp. de secagem (°C)	Tempo de secagem
Maçã	80 – 85	20 – 24	1,502	70	45	6 h
Banana	70 – 80	7 – 15	1,679	70	45	8 h
Mandioca	62 – 75	14 – 17	1,105	150	30 -60	92 h
Pimenta	75 – 80	5 – 14	1,610	90	40	5 – 6 h 1 – 2
Manga	80 – 85	12 – 18	1,564	70	55	semanas
Batata	70 – 75	8 – 13	1,453	75 – 85	50 – 70	Vários dias
Tomate	75	35	0,963	75	30 - 60	36 h

A Tabela 1 detalha as propriedades físicas e energéticas dos alimentos pertinentes ao processo de desidratação, compiladas a partir de dados encontrados na literatura especializada. Os valores de umidade inicial e final apresentados correspondem à média dos intervalos informados na Tabela 2.

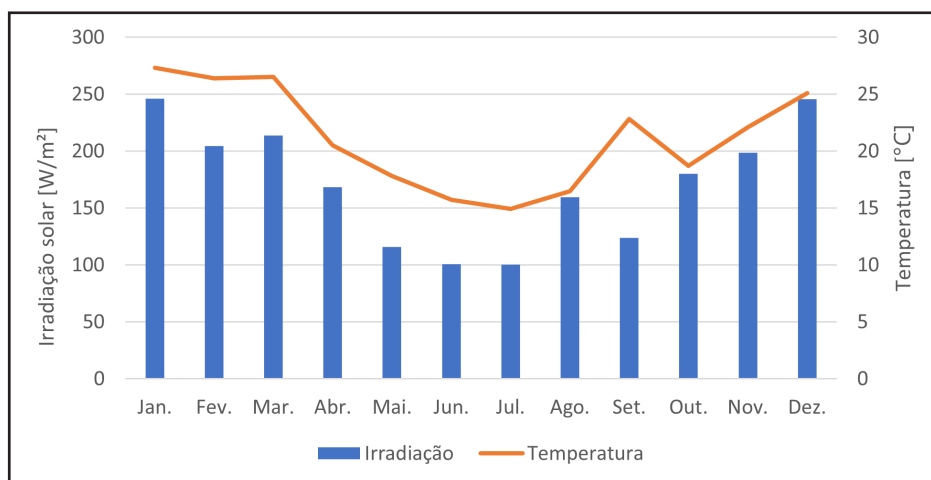
**Tabela 2** – Propriedades para Desidratação de Alimentos

Fonte: Adaptado de várias [12,15,16]

Alimentos	Umidade inicial (%m) [10]	Umidade final (%m) [10]	Temperatura de secagem (°C) [10]	Calor específico (kJ/(kg°C))
Banana	75,0	11	45	3,86 [12]
Maçã	82,5	22	45	3,59 [15]
Tomate	75,0	35	45	3,98 [16]

Para garantir a eficácia do processo de desidratação, é importante que os alimentos sejam cortados em fatias de espessura específica, adaptada a cada tipo [9]. Com base em estudos encontrados na literatura, as espessuras selecionadas para este trabalho foram: 5 mm para fatias de banana [10,11,12], 5 mm para fatias de maçã [13,14,15], 4 mm para fatias de tomate [9,16,17].

A energia gerada pela câmara de captação solar é resultado da irradiação solar incidente sobre sua área superficial. Para isso, foram utilizados os dados médios mensais de irradiação, temperatura e tempo de exposição solar da estação meteorológica do campus da UFSM de Cachoeira do Sul, disponibilizados no próprio site da universidade. Na Figura 2 são apresentados os dados de irradiação média mensal e temperaturas médias mensais ao longo do ano de 2023.

**Figura 2** – Dados de irradiação e temperatura médios da Estação Meteorológica da UFSM-CS (2023)



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma análise comparativa entre os dois períodos anuais investigados revelou diferenças significativas nos valores de irradiação solar (Fig. 2), temperatura e tempo de exposição solar, com variações de 50,6%, 29,8% e 42,2%, respectivamente. É importante ressaltar que a irradiação e a duração da exposição solar são parâmetros suscetíveis a flutuações abruptas, mesmo em localidades próximas. Essa instabilidade decorre da influência direta de fatores ambientais, como a cobertura de nuvens, a presença de fauna e a concentração de partículas atmosféricas, sobre a intensidade e a duração desses parâmetros, impactando, conseqüentemente, a energia captada pelo coletor solar. A quantidade de água presente por quilograma de banana, maçã e tomate foi determinada, sendo que, em geral, a quantidade de água a ser removida de um alimento é função da diferença entre seus níveis de umidade inicial e final. Nesse contexto, a maçã apresentou o maior conteúdo hídrico por quilograma (0,776 kg) dentre os três alimentos, enquanto o tomate exibiu o menor (0,615 kg).

Tabela 3 – Valores de energia necessária, quantidade máxima de alimento e produto seco dividido em dois períodos

Fonte: autores

(1) Out - Mar			
	Banana	Maçã	Tomate
Energia [MJ/kg]	1,662 MJ/kg	1,781 MJ/kg	1,436 MJ/kg
Massa [kg]	1,026 kg	0,958 kg	1,187 kg
Produto seco [kg]	0,288 kg	0,215 kg	0,457 kg
(2) Abr - Set			
	Banana	Maçã	Tomate
Energia [MJ/kg]	1,686 MJ/kg	1,803 MJ/kg	1,461 MJ/kg
Massa [kg]	0,392 kg	0,367 kg	0,452 kg
Produto seco [kg]	0,110 kg	0,082 kg	0,174 kg

A avaliação da energia necessária para a desidratação dos alimentos revelou um maior consumo no período (2) em comparação com o período (1), influenciado pela menor temperatura média registrada no período (2), que exigiu mais energia



para o aquecimento da câmara de secagem. A menor disponibilidade de irradiação solar no período (2) também limitou a quantidade máxima de alimento que pôde ser desidratada, diferentemente do período (1). No que concerne à energia demandada, a maçã apresentou os maiores valores em ambos os períodos (1,781 e 1,803 MJ), enquanto o tomate os menores (1,436 e 1,461 MJ). Quanto à capacidade de desidratação, o tomate apresentou as maiores quantidades máximas processadas (1,187 e 0,452 kg), e a maçã as menores (0,958 e 0,367 kg) nos dois períodos. Os valores de produto seco indicam a massa final esperada do alimento após a secagem até o teor de umidade desejado.

Vale ressaltar que a média anual da umidade relativa do ar em Cachoeira do Sul, RS, varia ao longo do ano, com picos de maior umidade em junho (81,85%) e menores em dezembro (69,12%). Assim, conforme bibliografia apresentada, é possível replicar o trabalho proposto para outras regiões.

CONCLUSÕES

A utilização da energia solar na desidratação de alimentos representa uma estratégia eficiente e promissora para fomentar o uso de fontes energéticas sustentáveis, estender a vida útil dos alimentos e facilitar o acesso a secadores solares em comunidades de pequena escala e para famílias que dependem da agricultura familiar. Este estudo explorou os princípios operacionais dos secadores solares de alimentos e desenvolveu um método de cálculo para estimar a capacidade de armazenamento de um secador solar indireto.

Os valores obtidos foram baseados nos dados de irradiação e temperatura descritos na Figura 1 e umidade relativa descrita no texto. Os resultados obtidos mostraram a viabilidade do secador em gerar energia suficiente para desidratar, no mínimo, 1,0 kg de banana e tomate durante períodos de alta radiação solar, com uma produção de aproximadamente 0,29 kg de banana e 0,46 kg de tomate em períodos de menor intensidade na cidade de Cachoeira do Sul - RS. A maçã apresentou a maior



necessidade energética (1,8 MJ) e o menor rendimento de produto seco ($< 0,1$ kg). No entanto, considerando as dimensões físicas das bandejas, a capacidade máxima de carga da câmara de desidratação foi estimada em 0,461 kg de banana, 0,220 kg de maçã ou 0,239 kg de tomate, indicando a aptidão do secador para desidratar todos os alimentos de forma eficaz na maioria das condições, exceto a banana em períodos de baixa irradiação. Para melhorar o projeto e a eficiência da desidratação, sugere-se, para pesquisas futuras, a integração de um sistema de aquecimento suplementar (resistivo) para atender à demanda energética em momentos de baixa radiação solar, bem como a criação de um sistema de controle em circuito fechado para monitoramento contínuo das condições internas do secador. Adicionalmente, recomenda-se a realização de testes práticos de desidratação dos alimentos analisados para validar a qualidade do método de cálculo proposto e determinar as capacidades e propriedades reais do secador.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Projelmec – Ventilação Industrial – por fornecer material para confecção do protótipo.

REFERÊNCIAS

- [1]. Kumar, V., Chandra, S., Patel, S. V., Kumari, S., Singh, B. R., and Singh, S. (2015). A Review on Tomato Drying by Different Methods with Pretreatments. <https://www.researchgate.net/publication/281105063>
- [2]. Doymaz, I. (2007). Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1291–1297. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.047>
- [3]. Mohana, Y., Mohanapriya, R., Anukiruthika, T., Yoha, K. S., Moses, J. A., and Anandharamakrishnan, C. (2020). Solar dryers for food applications: Concepts, designs, and recent advances. In *Solar Energy* (Vol. 208, pp. 321–344). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.098>



- [4]. Bal, L. M., Satya, S., and Naik, S. N. (2010). Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 14, Issue 8, pp. 2298–2314). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.014>
- [5]. Kamarulzaman, A., Hasanuzzaman, M., And Rahim, N. A. (2021). Global advancement of solar drying technologies and its future prospects: A review. In *Solar Energy* (Vol. 221, pp. 559–582). (2021) Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.056>
- [6]. El-Mesery, H. S., El-Seesy, A. I., Hu, Z., And Li, Y. (2022). Recent developments in solar drying technology of food and agricultural products: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 157). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112070>
- [7]. Bal, L. M., Satya, S., And Naik, S. N. (2010). Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 14, Issue 8, pp. 2298–2314). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.014>
- [8] Nwakuba, N. R., Nwaigwe, K. N., R, N. N., Asoegwu, S., And Nwaigwe, K. (2016). Energy requirements for drying of sliced agricultural products: A review (Vol. 18, Issue 2). <http://www.cigrjournal.org>
- [9] Ebadi, H., Zare, D., Ahmadi, M., And Chen, G. (2021). Performance of a hybrid compound parabolic concentrator solar dryer for tomato slices drying. *Solar Energy*, 215, 44–63. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.026>
- [10] Lingayat, A., Chandramohan, V. P., And Raju, V. R. K. (2017). Design, Development and Performance of Indirect Type Solar Dryer for Banana Drying. *Energy Procedia*, 109, 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.041>
- [11] El-Sebaey, M. S., Mousavi, S. M. T., Shams El-Din, S., And Essa, F. A. (2023). An experimental case study on development the design and the performance of indirect solar dryer type for drying bananas. *Solar Energy*, 255, 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.03.023>
- [12] Lingayat, A., And Chandramohan, V. P. (2021). Numerical investigation on solar air collector and its practical application in the indirect solar dryer for banana chips drying with energy and exergy analysis. *Thermal Science and Engineering Progress*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.101077>
- [13] Lingayat, A., Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., And Kumar, A. (2020). Development of indirect type solar dryer and experiments for estimation of drying parameters of apple and watermelon: Indirect type solar dryer for drying apple and watermelon. *Thermal Science and Engineering Progress*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100477>
- [14] Elgamal, R., Kishk, S., Al-Rejaie, S., And Elmasry, G. (2021). Incorporation of a solar tracking system for enhancing the performance of solar air heaters in drying apple slices. *Renewable Energy*, 167, 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.137>
- [15] Moussaoui, H., Bahammou, Y., Tagnamas, Z., Kouhila, M., Lamharrar, A., And Idlimam, A. (2021). Application of solar drying on the apple peels using an indirect hybrid solar-electrical forced convection dryer. *Renewable Energy*, 168, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.046>



- [16] Hadibi, T., Mennouche, D., Arici, M., Yunfeng, W., Boubekri, A., Kong, D., And Li, M. (2023). Energy and enviro-economic analysis of tomato slices solar drying: An experimental approach. *Solar Energy*, 253, 250–261. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.02.038>
- [17] Lingayat, A., P, C. V, And R K, R. V. (2021). Drying kinetics of tomato (*Solanum lycopersicum*) and Brinjal (*Solanum melongena*) using an indirect type solar dryer and performance parameters of dryer. *Heat Mass Transfer*. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02999-3>/Published

Sobre os autores:

Charles Rech

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
E-mail: charles.rech@ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0001-8523-6300>

André Francisco Caldeira

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
E-mail: andre.caldeira@ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0002-4939-2709>

Cristiano Frandaloza Maidana

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
E-mail: cristiano.maidana@ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0003-3137-6177>

Martin Hideki Mensch Maruyama

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
E-mail: martin.maruyama@acad.ufsm.br - <https://orcid.org/0000-0002-2606-581X>

Simone Venturini

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
E-mail: sfventurini@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-9439-0008>

Como citar este artigo

Rech, C., Francisco Caldeira, A., Maidana, C. F., Maruyama, M. H. M., & Venturini, S. (2025). Desidratação de alimentos usando um secador solar indireto: um estudo da capacidade energética na cidade de Cachoeira do Sul – RS. *JESTA*, Cachoeira do Sul, (3) e91970. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/JESTA/article/view/91970/>