

SECAGEM DA ABÓBORA (*CUCURBITA MOSCHATA*, L.) EM SECADOR DE LEITO FIXO

Marcia Camila da Silva (1); Jéssica Oliveira da Silva (2); Thamires Ohana Araújo de Carvalho Marcelino (1); Laércio Gomes de Oliveira (4)

(Universidade Federal de Campina Grande, marcia.camila@ufcg.eq.edu.br)

Resumo

A abóbora (*Cucurbita moschata*) é uma grande fonte de vitamina A. Sua secagem é essencial para um melhor armazenamento, reduzindo sua perecibilidade, além de oferecer diferentes opções de uso que auxiliam no combate a hipovitaminose A. Este trabalho teve como propósito a análise da cinética de secagem de fatias da abóbora de leite ou jerimum de leite (*Cucurbita moschata*) tendo como base dados experimentais obtidos em um secador convectivo de leito fixo. Foram construídas figuras que relacionam o teor de umidade da abóbora e o tempo de secagem, submetidas a condições constantes de vazão de ar de secagem e geometria das amostras, com análises em temperaturas distintas, 50, 60 e 70 °C, afim de avaliar o efeito da temperatura no processo de secagem. Verificou-se uma forte influência da temperatura na taxa de secagem. Utilizou-se modelos cinéticos semi-empíricos propostos na literatura para ajustar os dados coletados. Dentre estes, o que melhor descreve o comportamento da secagem da abóbora, nas condições estudadas, foi o modelo de Page.

Palavras-chaves: Abóbora, secagem, leito fixo, cinética de secagem.

Introdução

Por ser um alimento que contribui para nutrição e saúde da população, a abóbora (*Cucurbita moschata*) tem sido utilizada para a diversificação da alimentação familiar. Além de ser uma grande fonte de vitamina A. Sua secagem é essencial para um melhor armazenamento, reduzindo sua perecibilidade, além de oferecer diferentes opções de uso que auxiliam no combate a hipovitaminose A.

A secagem em leito fixo é bastante utilizada, por ser prática experimentalmente e descrever com precisão cinéticas de secagem que são pouco documentadas na literatura. É caracterizada pela passagem de ar de secagem, por bandejas, onde se encontra acomodado e estático o material a ser seco. Com períodos determinados, são colhidos dados sobre a massa da amostra, afim de caracterizar a cinética de secagem e ser possível a aplicação em modelos matemáticos escritos na literatura, que descrevem essa cinética (GARCIAS et al., 2004; MARTINS 2015).

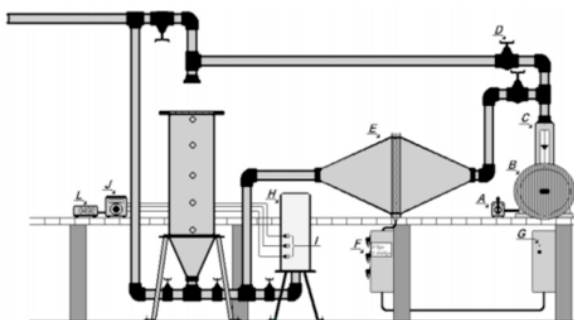
O presente estudo tem como propósito a análise da cinética de secagem de fatias da abóbora de leite ou jerimum de leite (*Cucurbita moschata*) tendo como base dados experimentais obtidos em um secador convectivo de leito fixo submetidas a condições constantes de vazão de ar de secagem e geometria das amostras, com análises em temperaturas distintas, 50, 60 e 70 °C, afim de avaliar o efeito da temperatura no processo de secagem.

Metodologia

No nosso estudo utilizou-se um secador de leito fixo com fundo troncocônico conforme esquema representado na Figura 1.

Os secadores de leito fixo, também chamados de estacionários ou em camada fixa são caracterizados por assemelharem-se a silos cilíndricos de armazenagem de sementes agrícolas. Possuem leito com fundo perfurado, onde o produto a ser seco fica armazenado. (MILMAN, 2002; GARCIA et al., 2004; SILVA et al., 2008b).

Figura 1 - Esquema do secador de leito fixo utilizado



Onde, A: Chave do ventilador, B: Ventilador radial, C: Medidor de vazão, D: Válvula reguladora, E: Aquecedor elétrico, F: Chave das resistências, G: Chave do sistema de controle, H: Câmara de secagem, I: Termopares, J: Controlador de temperatura e L: Milivoltímetro digital.

Após passar pelo processo de limpeza, a abóbora, Figura 2, foi inicialmente quarteada manualmente, em seguida utilizou-se um fatiador de legumes para alcançar um padrão de espessura

em todas as amostras, aparou-se utilizando um estilete, cada amostra de abóbora afim de obter um tamanho também padrão, que pode ser observado na Figura 3. O processo de secagem foi realizado em triplicata, afim de se utilizar a média, visando filtrar o erro experimental dos resultados coletados.

Figura 2 - Abóbora utilizada no processo de secagem



Figura 3 - Abóbora após ser fatiada, amostras com peso aproximado de 5g



Inicialmente, foi necessário determinar o teor de umidade da abóbora, para tanto, foi utilizada a metodologia descrita pela AOAC, *Association of Official Analytical Chemists*, onde uma amostra do material em que se deseja determinar a umidade é posto em uma estufa seca com temperatura de 105 ± 0033 °C durante 24 horas. O experimento foi realizado em triplicata. Foram utilizadas 3 amostras em cada dia, com aproximadamente 5 gramas em cada e colocadas em uma estufa para secagem a 105 °C durante 24 horas. Para se determinar a umidade, os teores foram calculados em base úmida e em base seca, utilizando-se as Equações (1) e (2).

$$X_{b,u} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (1)$$

$$X_{b,s} = \frac{m_i - m_f}{m_f} \quad (2)$$

$X_{b,u}$ é a umidade em base úmida

$X_{b,s}$ é a umidade em base seca

m_i é a massa inicial da amostra

m_f é a massa final da amostra

Com os valores de umidade em base úmida e seca, pode-se calcular a razão de umidade calculada pela Equação (3).

Em períodos pré-determinados, foi tomada uma medida da massa remanescente, até que essa atingisse um valor constante, ou seja, fossem lidas três ou mais massas aproximadamente iguais em diferentes tempos de observação, a Figura 4 contém as amostras após o processo de secagem.

Figura 4 - Amostras da abóbora após secagem



Os experimentos foram realizados nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Esse procedimento foi adotado para que fosse possível realizar comparações da influência da temperatura no processo de secagem da abóbora em estudo.

Resultados e discussões

Com os dados coletados, de massa em função do tempo, foram calculadas as umidades em base úmida e em base seca, utilizando as Equações (1) e (2), respectivamente. Calcularam-se posteriormente com auxílio da Equação (3) os valores de razão de umidade adimensional em função

do tempo de secagem, visando aplicação dos modelos empíricos da cinética de secagem para então ser possível escolher o modelo que melhor representa a secagem, através da análise dos parâmetros estimados, coeficientes de determinação (R^2) e valores dos desvios padrão da estimativa (SE).

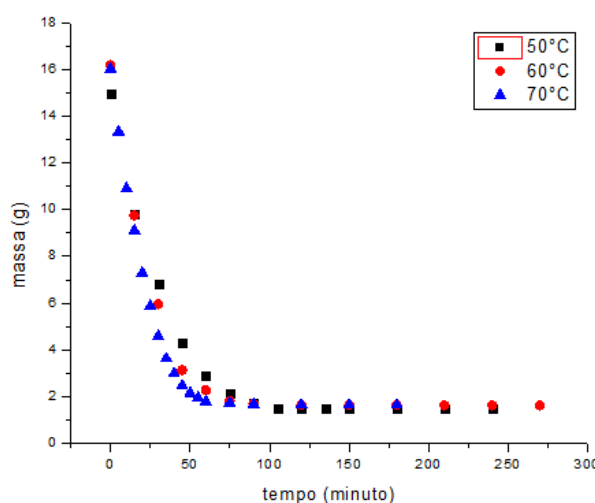
Na Tabela 1 encontram-se expressos os valores das massas nos experimentos de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. Os resultados levam em consideração somente a massa da abóbora, desprezando assim a massa da bandeja perfurada do secador de leito fixo.

Com os dados da Tabela 1, utilizou-se o Software Origin® 8 para a construção das curvas de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C. A Figura 5, ilustra os comportamentos da secagem da abóbora, com equipamento trabalhando com vazão máxima de ar de secagem.

Tabela 1 - Dados experimentais das massas de secagem para a temperatura de 50, 60 e 70°C

tempo (min)	m50 (g)	m60 (g)	m70 (g)
0	14,98	16,19	16,03
15	9,83	9,75	9,11
30	6,81	5,96	4,58
45	4,31	3,13	2,47
60	2,9	2,28	1,79
75	2,12	1,82	1,72
90	1,73	1,7	1,68
120	1,52	1,64	1,64
150	1,52	1,64	1,64
180	1,49	1,64	1,64

Figura 5 - Comportamento da secagem das massas (gramas) da abóbora em função do tempo de secagem (minutos) para as temperaturas de 50, 60 e 70°C



Como pode-se observar, as curvas para as três temperaturas da massa da abóbora tendem a atingir um valor constante, atingindo assim a umidade de equilíbrio. Porém, observa-se que, no início do processo, quanto maior a temperatura do experimento maior a inclinação da curva (taxa de secagem). Pode-se constatar ainda pela figura que, na temperatura de 70°C a massa da abóbora tende a atingir o valor de equilíbrio mais rapidamente, aproximadamente 90 minutos. De forma semelhante na temperatura de 60°C, alcança-se a massa constante em 105 minutos, e por fim na

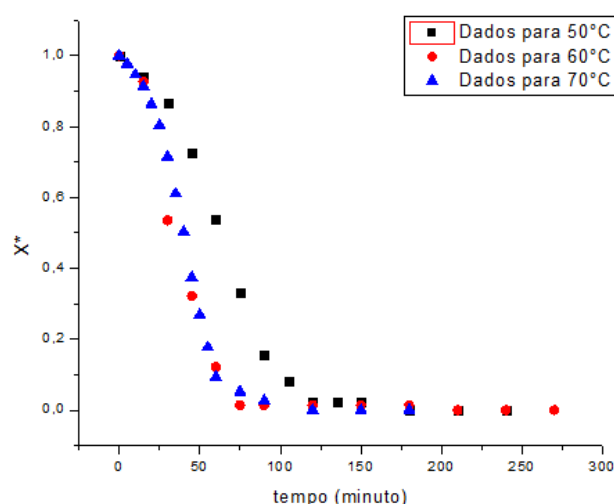
temperatura de 50°C que se necessita de 120 minutos para se obter a massa constante. Esse fenômeno é explicado provavelmente porque em temperatura mais elevada, um maior fornecimento de energia térmica é disponibilizado para as moléculas da água, e consequente migração para sua fase vapor

Utilizando-se os dados de razão de umidade calculados a partir da Equação (3), conforme a Tabela 2 abaixo, construíram-se as curvas para as três temperaturas do ar de secagem visando observar seu comportamento no secador de leito fixo utilizado neste trabalho.

Tabela 2 - Dados de razão de umidade para a temperatura de 50, 60 e 70°C

tempo (min)	X* ₅₀	X* ₆₀	X* ₇₀
0	1	1	1
15	0,94213	0,92656	0,91343
30	0,86749	0,53607	0,71508
45	0,72656	0,32166	0,37433
60	0,53991	0,12211	0,09335
75	0,32999	0,01355	0,05181
90	0,15405	0,01355	0,02652
120	0,02192	0,01355	0
150	0,02192	0,01355	0
180	0	0,01355	0

Figura 6 - Comportamento da razão de umidade em função do tempo



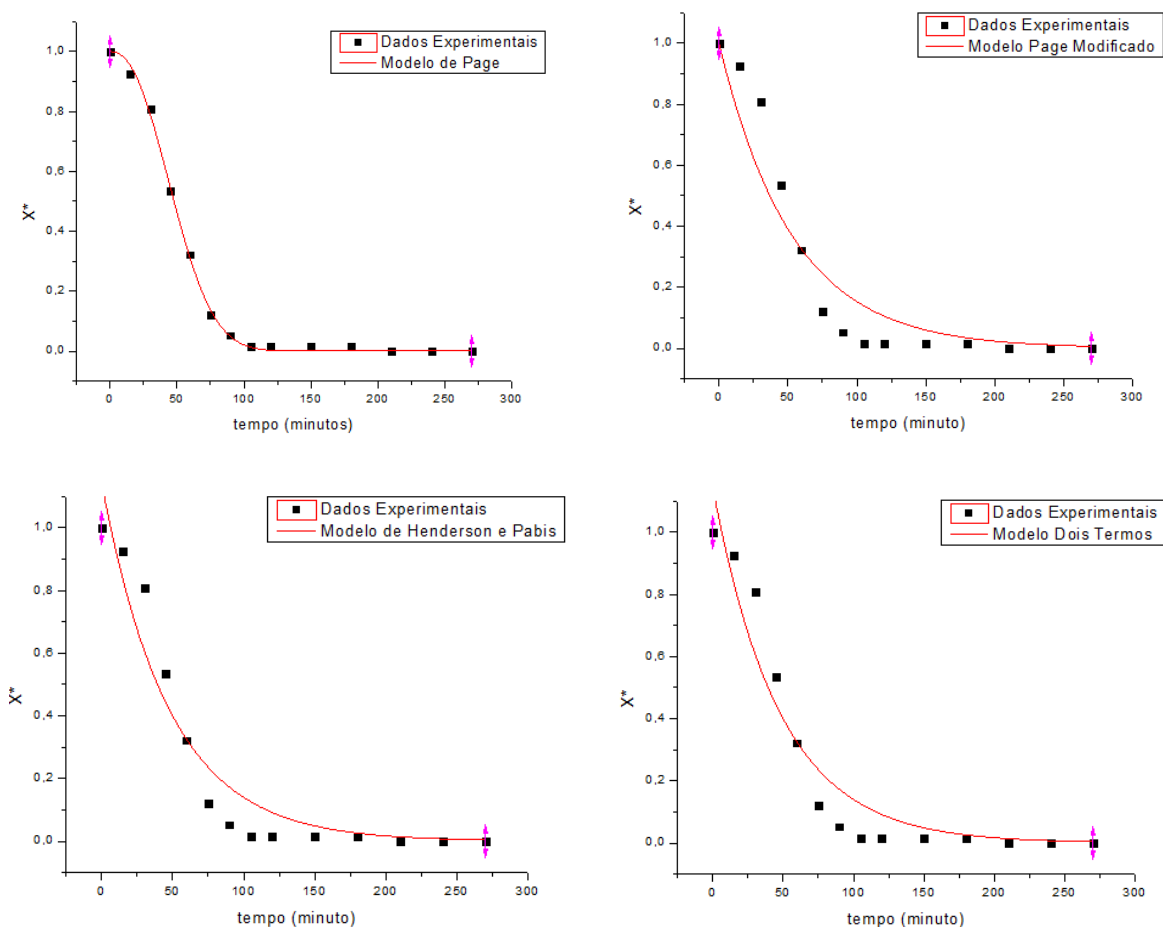
Na Figura 5, pode-se observar o efeito da temperatura sobre as curvas de secagem de fatias de abóbora. Nota-se que com o aumento da temperatura do ar de secagem, observa-se uma elevação nas taxas de remoção de água do produto, diminuindo o tempo para as fatias atingirem o equilíbrio. Os resultados obtidos encontram-se respaldados por diversos pesquisadores que consideram a temperatura do ar de secagem como parâmetro que exerce a maior influência na cinética de secagem de alimentos dentre eles, Gouveia et al. (2002), Almeida et al. (2006), Leite et al. (2015) e Silva et al. (2016), que trabalharam respectivamente com caju, acerola, banana da terra e polpa de carambola.

Uma vez que a abóbora contém um alto teor de umidade interna, a resistência interna à difusão de massa, torna-se o processo limitante fazendo com que a velocidade do ar de secagem não seja tão

significante quanto no caso de produtos que contém somente umidade superficial. Resultados similares aos encontrados nesse trabalho, foram obtidos por Mandaba et al. (1996) para a secagem do alho e Krokida et al. (2003) para a secagem da batata e cenoura e moranga.

A Figura 6, apresenta o resultado dos ajustes dos modelos Page, Page Modificado, Henderson e Pabis e modelo a Dois Termos, respectivamente, para a temperatura de 60°C. Observando-se a Figura 6, percebe-se que o modelo de Page conseguiu representar fielmente os dados experimentais de secagem das fatias da abóbora, para todas as temperaturas estudadas. A razão por se apresentar apenas as curvas de secagem a 60°C é que conforme Tabela 5, foi nessa temperatura que se obteve os maiores valores do coeficiente de determinação (R^2) e os menores valores do desvio padrão de estimativa (SE).

Figura 7 - Ajustes dos modelos analisados na secagem da abóbora na temperatura de 60°C



Os resultados dos coeficientes de determinação (R^2) e do desvio padrão da estimativa (SE) dos diversos modelos testados, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C encontra-se na Tabela 5.

Na Tabela 3 é possível verificar que os modelos testados se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, apresentando elevados valores do coeficiente de determinação (R^2) e baixos valores do desvio padrão de estimativa (SE) para as diferentes temperaturas de operação do ar de secagem das fatias de abóbora.

Cabe aqui ressaltar que, dentre os modelos analisados, o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem, pois apresentou os maiores valores para o coeficiente de determinação (R^2) e menores valores para o desvio padrão de estimativa (SE).

Tabela 3 - Valores obtidos dos coeficientes de determinação (R^2) e desvio padrão (SE)

Valores obtidos dos coeficientes de determinação (R^2) e dos desvios padrão da estimativa (SE)						
	R^2 (%)			SE		
Modelos	50°C	60°C	70°C	50°C	60°C	70°C
Page	99,84	99,88	99,75	2,53E-04	1,81E-04	3,83E-04
Page Modificado	88,66	90,88	87,46	0,0176	0,01318	0,01932
Henderson e Pabis	91,28	92,76	91,06	0,01353	0,01047	0,01376

Conclusões

Com os dados coletados, de massa em função do tempo, calculou-se as umidades em base úmida e em base seca e posteriormente os valores de razão de umidade adimensional em função do tempo de secagem, visando aplicação dos modelos empíricos da cinética de secagem para então ser possível escolher qual modelo melhor representa a secagem, através da análise dos parâmetros estimados, coeficientes de determinação (R^2) e valores dos desvios padrão da estimativa (SE).

Foi possível verificar que todos os modelos testados se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, apresentando elevados valores do coeficiente de determinação (R^2) e baixos valores do desvio padrão de estimativa (SE) para as diferentes temperaturas de operação do ar de secagem das fatias de abóbora.

Cabe ressaltar que, dentre os modelos analisados, o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem, pois apresentou os maiores valores para o coeficiente de determinação (R^2) e menores valores para o desvio padrão de estimativa (SE).

Referências

Almeida C. A., GOUVEIA, J. P. G., ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. Revista de Biologia e Ciências da Terra. v. 6, n.1, p. 145 – 151. 2006.

AMAYA, D. R. Carotenoids and food preparation: The retention of provitamin A carotenoids in prepared, Processed, and Stored Foods. Campinas: UNICAMP, 1997. p. 93.

AOAC – Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis.14 ed. Arlington, Virgínia, 1992.

BORGES, S. V., MANCINI, M. C., CORRÊA, J. L. G., NASCIMENTO, D. A. Secagem de fatias de abóboras (*Cucurbita moschata*, L.) por convecção natural e forçada. Ciências e tecnologia de alimentos. Campinas, São Paulo. 2008.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. EMBRAPA -Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Planaltina, Distrito Federal. 2010.

GARCIA, D. C., BARROS, A. C. S. A., PESKE, S. T., MENEZES, N. L. Secagem de Sementes. Ciência Rural. v.34, n.2, p 603-608. 2004

GOUVEIA, J. P. G, MOURA, R. S. F., ALMEIDA, F. A. C., OLIVEIRA, A. M. V., SILVA, M. M. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v. 6, n. 3, p. 471 – 471. 2002.

KROKIDA, M. K. et al. Drying Kinetics of some vegetables. Journal of Food Engineering, v. 59, n. 4, p. 391-403. 2003.

LEITE, A. L. P., SILVA, F. S., PORTO, A. G., PIASSON, D., SANTOS, P. Contração volumétrica e cinética de secagem de fatias de banana variedade Terra. Pesquisa Agropecuária Tropical. v. 45, n.2, p. 155-162. 2015.

MANDABA, P. S., DRISCOLL, R. H., BUCLE, K. A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. Journal os Food Engineering, v. 29, n. 1, p. 75 – 97. 1996.

MARTINS, E. A. S. Dimensionamento e experimentação de um secador de leite fixo para a secagem de produtos agrícolas. Dissertação de mestrado – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, Mato Grosso do Sul. 2015

MILMAN, M. J. Equipamentos para pré-processamento de grãos. Pelotas: Universitária, 206 p. 2002.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L.; NOGUEIRA, R. M. Secagem e Secadores. In: SILVA, J.S. (Ed.). Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa, Minas Gerais. Aprenda Fácil, 109-146p. 2008b.

SILVA, R. B., SILVA, F. S., PORTO, A. G., ALVES, A. P. Estudo da cinética de secagem da polpa de carambola. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial. V. 10, n. 2, p. 2069 – 2080. 2016.