

CINÉTICA DE SECAGEM DE SEMENTES DE *Cucurbita moschata* EM FORNO MICRO-ONDAS

Ayanne Basilio Malaquias ¹
Antonio Daniel Buriti de Macedo ²
Ana Regina Nascimento Campos ³

RESUMO

As sementes de abóbora (*Cucurbita moschata*) possuem elevado potencial de aproveitamento, pois são consideradas fonte de fibras insolúveis e solúveis, ricas em lipídeos, proteínas e aminoácidos, além de apresentarem ação antioxidante devido à presença de zinco, cálcio e vitaminas A e E. Podem ser utilizadas para consumo na forma de farinha ou simplesmente torradas; também podem ser destinadas a produção de óleo e como ingrediente culinário. Portanto, objetivou-se estudar a cinética de secagem de sementes de abóbora em forno micro-ondas, nas potências de 40, 70 e 100% e ajustar modelos matemáticos aos dados experimentais. As cinéticas de secagem foram determinadas pesando-se as amostras em intervalos de tempo regulares, até que a massa permanecesse constante. Com os dados foram determinados os valores da razão do teor de água e, posteriormente, foram aplicados os modelos matemáticos de Handerson e Pabis, Logarítimo, Dois termos, Wang e Sing, Henderson e Pabis modificado, Aproximação da difusão, Newton, Page, Thompson e Exponencial de dois termos. O ajuste dos modelos matemáticos aos dados das cinéticas de secagem foi realizado através de análise de regressão não-linear, pelo método Quase-Newton, utilizando-se o programa computacional Statistica 12. Como critério de ajuste dos modelos utilizou-se o coeficiente de determinação, desvio quadrático médio e qui-quadrado. Por meio das curvas de secagem, observou-se que a potência do forno micro-ondas exerce uma grande influência no processo de secagem e, quanto maior a potência, menor o tempo do processo, sendo a amostra seca na potência de 100% a que apresentou o melhor resultado, com o tempo de secagem de 16 min e 4,9% de umidade em base úmida na amostra final.

Palavras-chave: Abóbora, desidratação, modelo matemático.

INTRODUÇÃO

A abóbora (*Cucurbita moschata*) ou jerimum como é bastante conhecido no semiárido nordestino é uma planta pertence à família Cucurbitaceae, juntamente com o melão, o pepino e a melancia. No Brasil, são cultivados diversos genótipos de abóboras, que apresentam crescimento rasteiro ou trepador, apresentando extensão de até seis metros e seus frutos se diferem com relação à forma, tamanho, coloração, cor, firmeza, teor de amido, teor de matéria seca, capacidade de armazenamento e sabor. A fruta possui alto valor nutricional devido à

¹ Graduando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, ayanne_bm@gmail.com;

² Doutorando de Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, daniel_buritt@hotmail.com;

³ Professor orientador: Doutora, Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, ana.regina@professor.ufcg.edu.br.

presença de substâncias como os carotenóides e γ -tocoferol (SALES et al., 2015; BAHRAMSOLTANI et al., 2017).

As sementes muitas vezes são descartadas, apesar de possuírem elevado potencial de aproveitamento pois apresentam inúmeros propriedades funcionais e tecnológicas. Elas são consideradas como fonte de fibras insolúveis e solúveis, ricas em lipídeos, aminoácidos e proteínas, além de apresentarem ação antioxidantes devido à presença de cálcio, zinco e vitaminas A e E. Seu consumo é associado a diversos benefícios à saúde humana como regulação do intestino, do colesterol, manutenção do tecido epitelial, regressão da hipertensão, apresentando também ação anti-inflamatória, anticancerígena e vermífuga (AMARAL et al., 2019; SILVA et al., 2015).

O processo de secagem consiste na aplicação de calor no produto que deseja secar, com isso acontece a redução do teor de umidade presente nas sementes e atuando na diminuição do metabolismo, contribuindo assim para a maior estabilidade e armazenamento por longos períodos, sem provocar a perda da sua qualidade fisiológica. Outro efeito positivo no processo de secagem é que as sementes de abóbora tratadas termicamente apresentam teores reduzidos de substâncias tóxicas e antinutricionais como os inibidores de tripsina, hemaglutininas, saponinas, polifenóis e cianetos (TINOCO et al., 2012; COSTA et al., 2017; ULLMANN et al., 2018).

Por meio da cinética de secagem é possível determinar o comportamento do material seco, representando pelas curvas e taxas de secagem. Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever de secagem de produtos agrícolas e para determinar as informações do processo que podem ser posteriormente utilizados em projetos de equipamentos (SANTOS et al., 2019).

Neste contexto, o presente estudo teve como principal objetivo realizar a cinética de secagem das sementes de abóbora em forno micro-ondas, ajustando os dados experimentais obtidos à modelos matemáticos empíricos, avaliando a influência da secagem em suas dimensões.

METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioprocessos (LabBio) na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). As abóboras de onde foram retiradas as sementes para serem utilizadas nos experimentos foi coletada no Sitio Mata Velha, município

de Itaporanga, localizado a cerca de 420 km de João Pessoa-PB. A Figura 1 apresenta as etapas realizadas para retirada das sementes.

Figura 1: Etapas para retirada das sementes



Fonte: Autor

Cinética de Secagem

A cinética de secagem foi realizada em forno micro-ondas (FMO) da marca Electrolux, modelo MTO30, com tensão de alimentação de 220 V, capacidade de 34 L, potência máxima de 1300 W e frequência de 60 Hz. Na realização dos experimentos, foram utilizados depósitos de polipropileno, visto que esse material não absorve significativamente energia de micro-ondas e, um béquer com 150 mL de água dentro da cavidade do forno, com a finalidade de manter o ambiente úmido. A água do béquer foi trocada a cada nova sequência para evitar que entrasse em ebulição e derramasse água nas amostras, alterando sua umidade e aumentando o tempo de secagem. Com o objetivo de prever o melhor tempo e potência do FMO para a otimização do processo, foram realizadas cinéticas de secagem nas potências de 40, 70 e 100 %. Todos os experimentos utilizaram 10 g de amostra.

A cinética de secagem foi realizada registrando-se as massas, ou seja, a cada intervalo de tempo a amostra foi pesada até atingir uma massa constante. A partir dos dados obtido, foram determinados os valores da razão do teor de água e, posteriormente, os dados foram aplicados a diferentes modelos matemáticos, com o objetivo de ajustar os que melhor representam os processos.

Análise Estatística de Dados e Modelos Matemáticos

Para o ajuste de cada modelo matemático aos dados experimentais, realizaram-se as análises de regressão não linear pelo método de Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional Statistica 12 (STARTSOFT, Inc. 2007). Na Tabela 1 apresenta os modelos matemáticos utilizados para o ajuste dos dados experimentais.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem

Designação do modelo	Modelos	Equação	Referências
Henderson e Pabis	$RU = a e^{-kt}$	(1)	(HENDERSON; PABIS, 1961)
Midilli	$RU = ae^{-kt^n} + bt$	(2)	(MIDILLI et al., 2002)
Dois termos	$RU = ae^{-k_0t} + be^{-k_1t}$	(3)	(HENDERSON, 1974)
Exponencial de dois termos	$RU = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-kat}$	(4)	(OZDEMIR; DEVRES, 1999)
Wang & Sing	$RU = 1 + at + bt^2$	(5)	(WANG; SING, 1978)
Henderson e Pabis modificado	$RU = ae^{-kt} + be^{-k_0t} + ce^{-k_1t}$	(6)	(HENDERSON; PABIS, 1961)
Aproximação da difusão	$RU = ae^{-kt} + (1 - a)e^{-kbt}$	(7)	(CÔRREA et al., 2010)
Newton	$RU = e^{-kt}$	(8)	(TOGRUL; PCHLIVAN, 2002)
Thompson	$RU = e^{\frac{-a-(a^2+4bt)^{0,5}}{2b}}$	(9)	(ERTEKIN; YADIZ, 2004)
Page	$RU = e^{-kt^n}$	(10)	(OVERHULTS et al., 1973)

RU: razão de teor de água (adimensional); t: tempo de secagem (min); a, b, c, k, k₀, k₁ e n: parâmetros dos modelos.

Fonte: Autor

A escolha do melhor modelo matemático levou em consideração os seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação (R^2) (Equação 11), desvio quadrático médio (DQM) (Equação 12) e qui-quadrado (χ^2) (Equação 13).

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2} \right) \quad (11)$$

$$DQM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$$\chi^2 = \frac{1}{n-N} \sum_{i=1}^n (RX_{exp,i} - RX_{pred,i})^2 \quad (13)$$

Onde: R^2 – coeficiente de determinação; DQM – desvio quadrático médio; χ^2 – qui-quadrado; $RX_{pred,i}$ – razão do teor de água predito pelo modelo; $RX_{exp,i}$ – razão do teor de água experimental; n – número de observações; N – número de constantes do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 2 pode-se observar os valores de coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrático médio (DQM) e qui-quadrado (χ^2) para cada modelo matemático utilizado na secagem em FMO das sementes de abóbora.

É possível verificar que, os modelos matemáticos que apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais da cinética de secagem para as três potências escolhidas foram o Aproximação da Difusão e o de Midilli. Ambos modelos apresentaram coeficiente de determinação superior a 99,9% e os menores valores do desvio quadrático médio e qui-quadrado, no entanto, o modelo de Midilli é o que se destaca por apresentar melhores resultados, sendo este o mais indicado.

Silva et al. (2018) ao realizarem a cinética de secagem em estufa de sementes de melão aplicando as temperaturas de 35, 40, 45 e 50 °C, verificaram que o modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais obtidos. No estudo de Santos et al. (2019), ao aplicarem o processo de secagem em grãos de arroz preto nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, também concluíram que o modelo de Page foi que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Tabela 2. Valores de R^2 , DQM e χ^2 para os modelos matemáticos escolhidos na secagem em FMO

Modelo	Potência	DQM	χ^2	R
Henderson e Pabis	40 W	0,01776	0,00032	0,99806
	70 W	0,017772	0,000314	0,99822
	100 W	0,02924	0,00086	0,99526
Logaritmo	40 W	0,01547	0,00024	0,99853
	70 W	0,017	0,0003	0,99836
	100W	0,0292	0,0009	0,99526
Dois termos	40 W	0,0178	0,0003	0,99806
	70 W	0,01772	0,000314	0,99822
	100 W	0,0292	0,0009	0,99526
Exponencial de dois termos	40 W	0,0168	0,0003	0,99827
	70 W	0,0149	0,0002	0,99873
	100W	0,033	0,001	0,99410
Wang e Sing	40 W	0,0309	0,001	0,99412
	70 W	0,0542	0,0029	0,98319
	100 W	0,066	0,004	0,97591
Henderson e Pabis (Modificado)	40 W	0,01776	0,00032	0,99806
	70 W	0,01772	0,000314	0,99822
	100W	0,02924	0,00086	0,99525
Midili	40 W	0,01465	0,00021	0,99868
	70 W	0,013	0,0002	0,99903
	100 W	0,0228	0,0005	0,99711
Aproximação da difusão	40 W	0,0134	0,0002	0,99890
	70 W	0,00864	0,00007	0,99958
	100W	0,0194	0,0004	0,997919
Newton	40 W	0,0247	0,0006	0,996250
	70 W	0,0211	0,0004	0,997478
	100 W	0,0326	0,0011	0,994090
Page	40 W	0,0157	0,0002	0,998480
	70 W	0,0141	0,0002	0,998877
	100W	0,026	0,0007	0,996135
Thompson	40 W	0,02472	0,00061	0,996248
	70 W	0,02109	0,00044	0,997477
	100 W	0,03264	0,00107	0,994090
Verna	40 W	0,02471	0,00061	0,996250
	70 W	0,0188	0,0004	0,997990
	100W	0,0319	0,001	0,994370

A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros do modelo de Midilli, ajustado aos dados experimentais da cinética de secagem em FMO as sementes de abóbora.

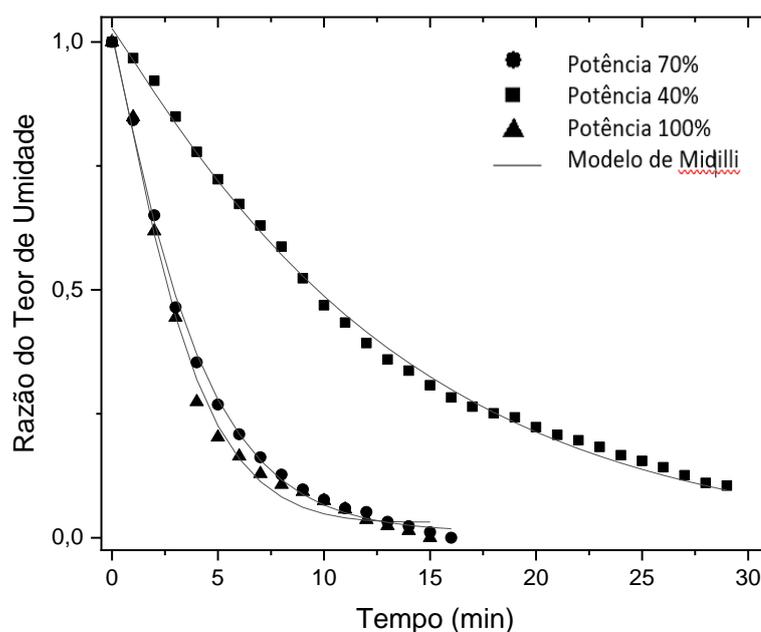
Tabela 3. Parâmetros obtidos no modelo de Midilli para a cinética de secagem em FMO das sementes de abóbora

Parâmetros	Potências (%)		
	40	70	100
k	-1,57908	-0,703964	-0,566188
a	1,027206	1,012602	1,017464
e	0,960288	0,737340	0,673333
n	1,063380	1,120195	1,201575
b	-0,000259	0,000617	0,001926

Fonte: Autor

A Figura 1 apresenta as curvas de secagem das sementes de abóbora obtidas em forno micro-ondas e estimadas pelo modelo de Midilli, nas temperaturas 40, 70 e 100 °C.

Figura 1: Valores experimentais da razão do teor de água estimados pelo modelo de Midilli para a secagem em forno micro-ondas de sementes de abóbora



Pode-se observar que houve uma diminuição gradativa do teor de água com o tempo, até se tornar constante. Além disso, observa-se que, mesmo para diferentes potências de micro-ondas aplicadas, a secagem da semente de abóbora apresentou comportamento semelhante. Verifica-se também que a potência de 100% apresentou os melhores resultados, com o tempo de secagem de 16 min e 4,9% de umidade em base úmida na amostra final.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para os modelos matemáticos utilizados na cinética de secagem em FMO, foi observado que o modelo de Midili é o mais indicado para representar o fenômeno, apresentando os maiores valores de coeficiente de determinação e os menores valores de desvio médio quadrático e qui-quadrado. Além disso, pode-se observar através das curvas de secagem que a temperatura e tempo ideais para esse processo em FMO, a potência e tempo ideais são 100 % e 14 min.

AGRADECIMENTOS

Agradeço o incentivo a Iniciação Científica através do projeto PIBIC/CNPq-UFCG. O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. F.; FERREIRA, I. M.; SANTOS, L. V. N.; SILVA, A. M. O. E.; FAGUNDES, A. A.; CARVALHO, M. G. Biscoito com especiarias e farinhas de milho e semente de abóbora: desenvolvimento e avaliação da qualidade. *Demetra: Alimentação, Nutrição & Saúde*, v.14, n.1, p.1-17, 2019.
- BAHRAMSOLTANI, R.; FARZAEI, M. H.; ABDOLGHAFFARI, A. H.; RAHIMI, R.; SAMADI, N.; HEIDARI, M.; ESFANDYARI, M.; BAEERI, M.; HASSANZADEH, G.; ABDOLLAHI, M.; SOLTANI, S.; POURVAZIRI, A.; AMIN, G. Evaluation of phytochemicals, antioxidant and burn wound healing activities of Cucurbita moschata Duchesne fruit peel. *Iranian Journal Basic Medical Sciences*, v.20, n.7, p.788-805, 2017.
- CÔRREA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M., GONELI, A. L. D., CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arábica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.
- ERTEKIN, C.; YALFIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, v. 63, n. 3, p. 349-359, 2004.
- HENDERSON, S. M. Progress in developing the thin-layer drying equation. *Transactions of*

the American Society of Agricultural, v. 17, n. 6, p. 1167-1168, 1974.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. *Drying Technology*, v.20, p.1503-1513, 2002.

OVERHULTS, D. G., WHITE, G. M., HAMILTON, H. E., ROSS, I. J. Drying soybeans with heated air. *Transactions of the of the American Society of Agricultural*, v. 16, n.1, 1973.

OZDEMIR, M.; DEYRES, Y. O. The thin-layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, v. 42, p. 225-233, 1999.

SALES, M. A. L.; MOREIRA, F. J. C.; RIBEIRO, A. A.; MONTEIRO, R. N. F.; SALES, F. A. L. Potencial das sementes de abóbora submetidas a diferentes períodos de embebição. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v.9, n.4, p.289-297, 2015.

SANTOS, N. C.; SILVA, W. P.; BARROS, S. L.; ARAÚJO, A. J. B.; GOMES, J. P.; ALMEIDA, R. L. J.; NASICMENTO, A. P. S.; ALMEIDA, R. D.; SILVA, C. M. D. P. S.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Study on Drying of Black Rice (*Oryza sativa* L.) Grains: Physical-Chemical and Bioactive Quality. *Journal of Agricultural Science*, v.11, n. 9, p. 203-212, 2019.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of. Agricultural Research*, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

SILVA, J. B.; SCHLABITZ, C.; GRÄFF, C.; SOUZA, C. F. V. Biscoitos enriquecidos com farinha de semente de abóbora como fonte de fibra alimentar. *Revista destaques acadêmicos*, v.7, n. 4, p.174-184, 2015.

StatSoft, Inc. *STATISTICA, Versão 8. AStA*, v. 91, p. 339–341, 2007.

TINOCO, L. P. N.; PORTEB, A.; PORTEC, L. H. M.; GODOYD, R. L. O.; PACHECO, S. Perfil de Aminoácidos de Farinha de Semente de Abóbora, *UNOPAR*, v.14, n.3, p.149-153, 2012.

TOGRUL, I. T.; PCHILIVAN, D. Mathematical modelling of solar drying of apricots in thinlayers. *Journal of Food Engineering*, v. 40, n. 3, p. 219–226, 2002.

WANG, C.Y.; SINGH, R.P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. *ASAE Paper*, p. 78-6505, 1978.