

ANÁLISE DA CINÉTICA DE SECAGEM DE *Mallus domestica* EM ESTUFA

ANTONIA ISADORA FERNANDES¹, CAMILA JOYCE FERREIRA DE LÓCIO², MARIA SUENIA NUNES DE MORAIS³, BRUNO RAFAEL PEREIRA NUNES⁴

¹Graduanda do curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, UFCG, Sumé-PB, fernandesisadora_@hotmail.com;

² Graduada do curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, UFCG, Sumé-PB, camilaa.joice@hotmail.com;

³ Graduada do curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, UFCG, Sumé-PB, sueniasusudosax@gmail.com;

⁴Dr. em Eng. Química, Prof. Adj. CDSA, UFCG, Sumé-PB, bruno.nunes@ufcg.edu.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018–Maceió-AL, Brasil

RESUMO: O presente trabalho objetivou analisar a cinética de secagem de maçã (*Mallus domestica*), acondicionada em estufa à temperatura de 40°C durante um período de 10 horas, e avaliar o ajuste dos modelos de Newton, Page, Henderson e Pabis e Logarítmico pelo coeficiente de determinação (R^2) e qui-quadrado reduzido (χ^2). O experimento foi realizado em duplicata, utilizando maçãs cortadas em rodela com 5,0 mm de espessura e diâmetro médio de 4,9 cm. Os modelos propostos se ajustaram bem aos dados experimentais, porém o melhor foi o de Page, por apresentar maior R^2 e menor χ^2 , indicando que este modelo representa satisfatoriamente o fenômeno de secagem de maçã em estufa.

PALAVRAS-CHAVE: secagem, estufa, modelos matemáticos.

ANALYSIS OF DRYING KINETICS OF *Mallus domestica* IN GREENHOUSE

ABSTRACT: The present work aimed to analyze the drying kinetics of apple (*Mallus domestica*), conditioned in stove at temperature of a 40 degree for a period of 10 hours, and evaluate the fit of Newton, Page, Henderson and Pabis and Logarithmic models by the determination coefficient (R^2) and reduced chi-square (χ^2). The experiment was performed in duplicate, using sliced apples with 5.0 mm thickness and a mean diameter of 4.9 cm. The proposed models were adjusted to the experimental data, but the best was the Page, because it presents higher R^2 and lower χ^2 , making this model satisfactorily represent the drying phenomenon of apple drying in stove.

KEYWORDS: drying, stove, mathematical models.

INTRODUÇÃO

Para Celestino (2010), o processo de secagem pode ser definido como a remoção de água ou qualquer outro líquido de um alimento sólido, na forma de vapor, através de métodos de vaporização térmica com temperatura inferior à de ebulição da água. O processo de secagem proporciona diversas vantagens, como a fácil conservação do produto, estabilidade dos atributos sensoriais à temperatura ambiente e por longos períodos, redução do peso, economia de energia devido à dispensabilidade de refrigeração, além da disponibilidade do produto durante todo o ano (Monteiro et al, 2010).

A qualidade dos produtos desidratados é influenciada por muitas variáveis, entre elas o tempo, a temperatura, velocidade do ar e os teores de umidade do produto e doar utilizados. Uma forma de prever o nível de umidade do produto é relacioná-lo ao tempo de desidratação, criando as curvas de cinética e em seguida realizar o ajuste dos dados a modelos matemáticos, que se tornam ferramentas úteis para as tomadas de decisão e para a melhoria da eficiência do processo. Os modelos matemáticos de Newton, Page, Henderson e Pabis e Logarítmico são largamente adotados em processos de secagem (Sousa & Campos, 2017; Santos Jr. et al., 2018).

De acordo com Borges et al. (2010), nos últimos anos, as frutas desidratadas ganharam uma maior visibilidade no mercado, havendo uma vasta expansão na comercialização de frutas desidratadas em comércios de produtos naturais e sua utilização em barras nutritivas. A desidratação de alimentos sólidos deve ser feita até um certo ponto, no qual a concentração de açúcares, ácidos, sais e outros componentes seja suficientemente elevada para reduzir a atividade de água e inibir, portanto, o desenvolvimento de microrganismos, além de preservar ao máximo o seu valor nutricional (Meloni, 2003).

A maçã é um fruto rico em carboidratos, potássio, vitamina A, B e C, é apreciado por pessoas de todas as classes e idades, podendo ser consumida *in natura*, frita e assada (Silva et al, 2009). O Brasil é o 11º produtor mundial de maçãs (*Malus domestica* Bork), com produção anual estimada de 1.378.617 toneladas do fruto na safra de 2014 (FAO, 2017). Sua produção concentra-se principalmente na região Sul do país, destacando os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Martin et al, 2017).

Dentro desse contexto e conhecendo a relevância atual da comercialização de frutas desidratadas, o presente trabalho tem como objetivo descrever a cinética do processo secagem da maçã (*Malus domestica* Bork) em estufa, além de ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Biologia Celular e Molecular do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Sumé-PB.

Preparação da amostra

As amostras, adquiridas no comércio local, foram descascadas, cortadas em rodela de 5,0 mm de espessura e diâmetro médio de 4,9 cm, e divididas em duas amostras. As amostras foram pesadas em temperatura e umidade relativa ambientes 26°C e 71%, respectivamente (The Weather Channel, 2018), em balança analítica (AUY220). Posteriormente, foram acondicionadas em estufa bacteriológica lucadema mod. Luca 81/180 a 40 °C. Foram realizadas dez (10) pesagens em intervalos de dez minutos, treze (13) em intervalos de vinte minutos, uma (1) em intervalo de sessenta minutos, três (3) em intervalos de trinta minutos, uma (1) em intervalo de cinquenta minutos e uma (1) em intervalo de dez minutos, totalizando, assim, um tempo total de dez horas.

Análises realizadas

Com base nos dados obtidos por meio da pesagem das amostras nos tempos pré-estabelecidos, foram realizados a análise do comportamento cinético, os cálculos da umidade em base seca (X_{bs}) e do parâmetro adimensional razão de teor de água (RX), foram realizados conforme as Equações (1) e (2), conforme Menezes et al. (2013) e Martins et al. (2016), respectivamente.

$$X_{bs} = \frac{m_i - m_e}{m_e} \quad \text{Equação (1)}$$

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs,0} - X_e} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que: m_i =massa no tempo i ; m_e =massa no equilíbrio; X_{bs} =umidade em base seca; X_e =umidade de equilíbrio; $X_{bs,0}$ =umidade inicial;

O ajuste dos dados aos modelos matemáticos (Tabela 1) de Newton, Page, Henderson e Pabis e Logarítmico pelo coeficiente de determinação (R^2) e qui-quadrado reduzido (χ^2), foi realizado com auxílio do software Origin 2017®. O parâmetro k é o coeficiente de secagem (s^{-1}), que representa o efeito das condições externas da operação sobre as amostras. Com relação aos coeficientes, a , b e n , “ a ” e “ n ” nos modelos de Henderson & Pabis e Page, refletem a extensão da resistência interna do produto as condições empregadas (Cabral Filha *et. al.*, 2016).

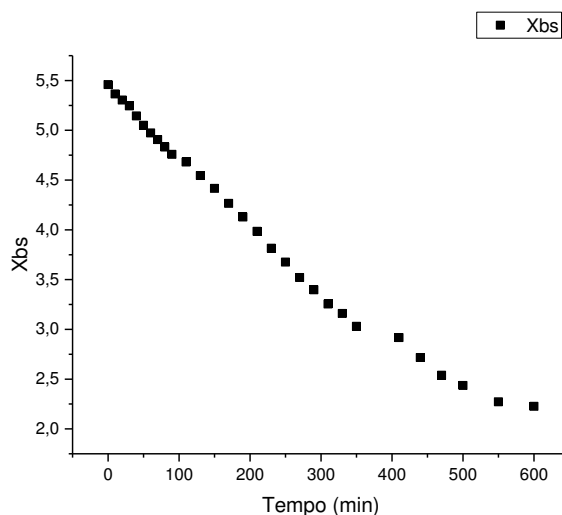
Tabela 1: Modelos de regressão não-linear aplicados à curva de secagem de maçã (*Malus domestica* Bork), em estufa.

MODELO	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
Newton	$RX = e^{-kt}$	O'callaghan et al. (1971)
Page	$RX = e^{-kt^n}$	Page (1949)
Henderson e Pabis	$RX = a \cdot e^{-kt}$	Henderson E Pabis (1962)
Logarítmico	$RX = a \cdot e^{-kt} + b$	Yagcioglu et al. (1999)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de maçã *in natura* apresentaram um conteúdo de umidade em torno de $84,52 \pm 6,3 \times 10^{-5} \%$ em base úmida. O gráfico 1 apresenta o comportamento cinético do processo de secagem da maçã.

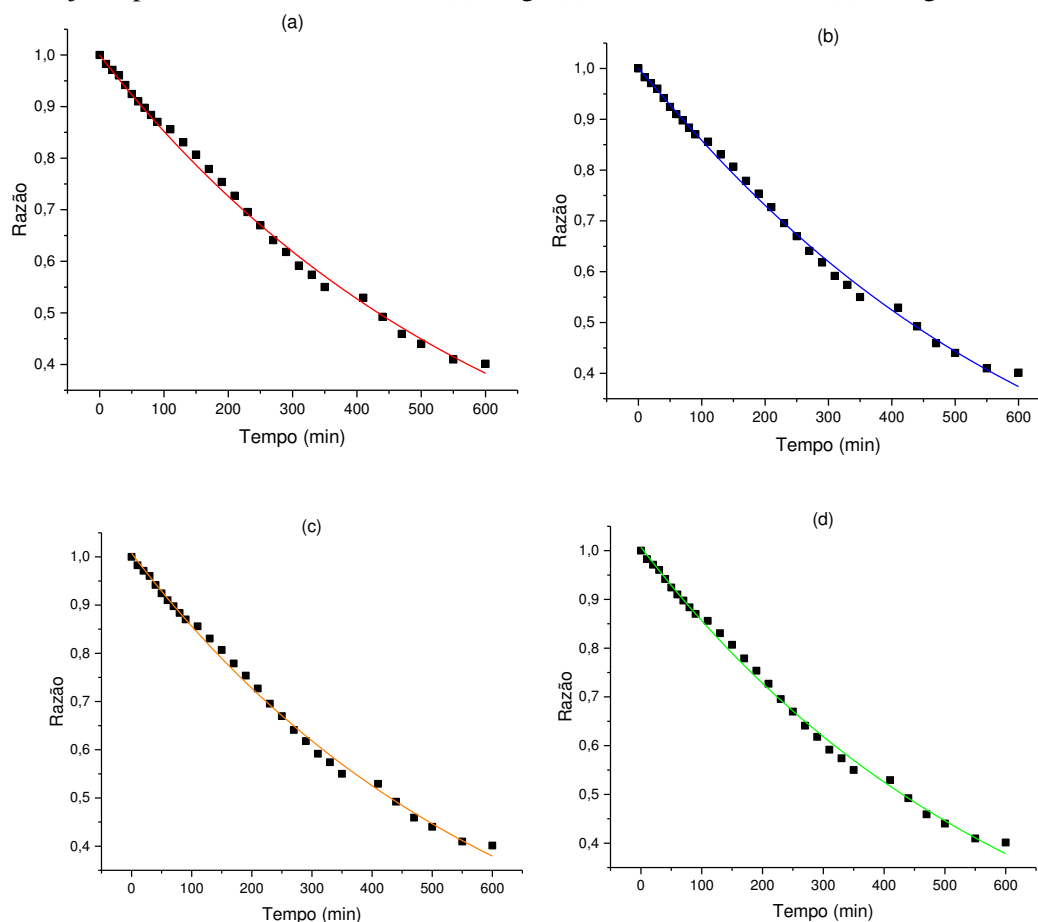
Gráfico 1: Comportamento da umidade (X_{bs}) em função do tempo (min), na secagem de maçã em estufa



O Gráfico 1 permite visualizar que houve a redução do teor de umidade (em base seca) das amostras em função do tempo. Esse decréscimo já era esperado e pode ser explicado pela remoção de água causada pelas transferências de calor e de massa que ocorrem na superfície do material devido as condições no interior da estufa. Como a temperatura utilizada foi relativamente baixa, quando comparada a aplicada em outros estudos, verifica-se que o tempo de secagem foi prolongado. Santos Jr. et al. (2018) observaram que o período de massa constante na secagem de maçã Fuji foi alcançado em 180 minutos, na temperatura de 50 °C, enquanto que na temperatura de 70 °C, em 120 minutos. Martins et al. (2016), analisando a influência da temperatura sobre o tempo de secagem da acerola, verificaram que a variação da temperatura de 50°C para 70°C, reduziu o tempo de secagem de 720 minutos para 540 minutos. Menezes et al. (2013), estudando a secagem do bagaço de maracujá amarelo, mostraram que para as temperaturas de 35 °C e 45 °C as amostras apresentaram maior umidade final e maior tempo de secagem sendo de cerca de 4h e 3h, respectivamente. Já para as temperaturas de 55 °C e 65 °C as amostras apresentaram menor umidade final e menor tempo de secagem, sendo que para ambas a umidade começa a ficar constante em torno de 80 minutos terminando o processo em 120 minutos. Silva et al. (2017), secaram a polpa de cupuaçu, empregando uma estufa com circulação de ar, e alcançaram os tempos de secagem de 80 e 120 minutos, para as temperaturas de 100 e 80°C, respectivamente.

O Gráfico 2 apresenta a curva de secagem obtida pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional razão de teor de água (RX) ajustado aos modelos matemáticos de Newton (a), Page (b), Henderson e Pabis (c) e Logarítmico (d).

Gráfico 2: Comportamento da Razão de secagem (RX) de maçã em estufa, em função do tempo (min), com ajuste pelos modelos de Newton (a), Page (b), Henderson e Pabis (c) e Logarítmico (d).



Observa-se que, nas condições estudadas, os dados de razão de secagem, em função do tempo, se ajustaram bem aos modelos propostos. Os valores dos parâmetros dos modelos de Newton, Page, Henderson & Pabis e Logarítmico, ajustados aos dados experimentais, com os correspondentes valores dos coeficientes de determinação (R^2) e qui-quadrados reduzidos (χ^2) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Modelos de regressão não-linear aplicados à curva de secagem de maçã (*Malus domestica* Bork), em estufa.

MODELO	PARÂMETROS					
	a	k	b	n	R^2	χ^2
Newton		0,00160			0,9963	$1,34 \times 10^{-4}$
Page		0,00127		1,0404	0,9969	$1,15 \times 10^{-4}$
Henderson e Pabis	1,0077	0,00163			0,9968	$1,22 \times 10^{-4}$
Logarítmico	1,0178	0,00160	-0,0106		0,9968	$1,46 \times 10^{-4}$

Pode-se observar que todos os modelos se ajustam bem aos dados experimentais, sendo que o modelo de Page foi o que obteve melhor ajuste diante dos dados obtidos, por apresentar maior valor de R^2 e menor valor de χ^2 , sendo assim, considerado o mais indicado para descrever a secagem de maçã em estufa, para uma temperatura de 40 °C. Resultados semelhantes a esse também foram encontrados por Martins *et. al.* (2016 apud Madureira *et. al.* 2012), em seu trabalho, no qual foi realizada a desidratação de polpa do figo-da-índia em estufa de circulação, onde foi possível observar que os modelos que mais se ajustaram foram o de Lewis, Henderson e Pabis, Logarítmico e Page, os quais também apresentam coeficiente de determinação superior a 0,99. Além disso, Cabral Filha *et. al.* (2016), também evidenciaram que dentre todos os modelos estudados o de Page foi o que melhor se ajustou aos dados obtidos durante o procedimento.

CONCLUSÕES

A secagem de maçã por meio de estufa mostrou boa reprodução dos dados experimentais, contudo, por meio de comparação com outros estudos, propõe-se a aplicação de maiores temperaturas, o que pode gerar menores tempos de processo. É possível, através dos dados obtidos, concluir que todos os modelos matemáticos se ajustaram de maneira satisfatória as curvas obtidas, a partir dos dados experimentais, entretanto, o modelo de Page foi o que melhor se adequou para descrever a cinética de secagem da maçã em estufa, por apresentar maior valor de coeficiente de determinação (99,69%) e menor valor de qui-quadrado reduzido ($1,15 \times 10^{-4}$), podendo ser utilizado para prever o comportamento do processo.

REFERÊNCIAS

- Borges, S. V.; Mancini, M. C.; Corrêa, J. L. G; Leite, J. Drying of banana prata and banana d'água by forced convection. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v. 30, n. 3, p. 605-612, jul.-set. 2010.
- Cabral Filha, M. C. S.; Araújo, S. C.; Silva, G. M. S; Canuto, M. F. C. S.; Martins, G. M. V. Thin-layer drying kinetics of guava (*Psidium guajava* L.) waste. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. Pombal-PB, v. 11, n 4, p. 99-104, 2016.
- Celestino, S. M. C. Princípios de Secagem de Alimentos. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.
- Henderson, S. M.; Pabis, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Research Engineering*, v. 12, p. 732-736, 1962.
- Martin, M. S.; Gabardo, G. C.; Petri, J. L.; Schweitzer, B.; Fenili, C. L.; Kretzschmar, A. A. Balanço nutricional de frutos de macieira ao longo do desenvolvimento. 4ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa. Disponível em: <<http://trabalhos.congrega.urcamp.edu.br/index.php/14jpgp/article/view/1997/1180>>. Acesso em 17 fev 2018.
- Martins, G.M.V.; Alves, F.M.S.; Sousa, S. de.; Canuto, M.F.S.C.; Cartaxo Neta, A. M.A. Cinética de Secagem da Acerola (*Malpighia Emarginata* D.C.) pelo Método Foam – Mat. Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Fortaleza, CE. 2016.
- Meloni, P. L. S. Desidratação de frutas e hortaliças. 10ª Semana Internacional da Fruticultura, Fruticultura e Agroindústria, Fortaleza – Ceará, p.13, (2003).
- Monteiro, L. B.; Mendonça, M. R.; Andrade, A. T.; Camargo, T.; Sousa, K. M.; OI, R.; Moraes, M. S.; LIA, L. R. B; Junior, D. M. Curva de Secagem do Mesocarpo do Maracujá Amarelo. *Revista Ceciliana Jun.* v. 2, n. 1, p. 42-44, 2010.
- O'callaghan, J. R.; Menzies, D. J.; Bailey, P. H. Digital simulation of agricultural dryer performance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 16, n. 3, p. 223-244. 1971.
- Page, G. E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. Dissertação de Mestrado, Purdue University, West Lafayette, 1949.
- Santos JR, H. C. M.; Rocha, A. A.; Neto, M. A. B.; Reis, L. C. C.; Chaves, M. A. Influence of Temperature on Fuji Apple Drying Kinetics. IV Congresso Mineiro de Engenharia de Alimentos. 2018.
- Silva, A. S. S.; Melo, K. S.; Alves, N. M. C.; Gomes, J. P. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. *Revista de Biotecnologia e Ciências da Terra*. v.9, n.2, p.107-115, jul-dez. 2009.
- Silva, D. C.; Lima, M. F.; Vélez, H. A. V.; Santana, A. A. Study of modeling cupuaçu pulp drying kinetic in biopolymers production. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, Itapetinga, v. 4, n. 3, 2017.
- The Weather Channel. Disponível em: <<https://weather.com/pt-BR/clima/hoje/l/BRXX3637:1:BR>>. Acesso em 09 fev 2018.
- Yagcioglu, A.; Degirmencioglu, A.; Cagaty, F. Drying characteristics of laurel leaves under different condition. In: Bas Cetincelik A, (ed.) *Proceedings of the seventh international congress on agricultural mechanization and energy*, Adana, 1999.