

ANÁLISE DA CINÉTICA DE SECAGEM DOS FRUTOS DE PITANGA

RIBOSKI, A.G.¹, LEITE, A.L.M.P.², SILVA, F. S.³, PORTO, A. G.⁴, DERLAN, J. M.⁵

1 Graduada em Engenharia de Alimentos – Universidade do Estado de Mato Grosso. Rua A, s/nº - Bairro São Raimundo - Cx. Postal 92 CEP:78390-000 Barra do Bugres – MT, Brasil. E-mail: joice.jmd@gmail.com. Tel: 65 33611413.

2 Mestranda em Engenharia de Alimentos- UNICAMP.

3 Engº Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia de Alimentos, UNEMAT/Barra do Bugres - MT.

4 Engº Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia de Alimentos, UNEMAT/Barra do Bugres - MT.

5 Graduada em Engenharia de Alimentos – Universidade do Estado de Mato Grosso.

Apresentado no

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014

27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: A pitanga (*Eugenia uniflora* L.) quando atinge seu ponto de maturação se torna altamente perecível, devido a grande quantidade de água, presente em sua composição. Ocasionalmente ocasionando problemas para a conservação e armazenamento de seu fruto in natura. Uma maneira de se minimizar essas perdas, e tornar o alimento apto a ser consumido é através da utilização dos métodos de conservação, uma dessas técnicas é a secagem usada para obtenção de produtos com maior valor agregado e maior vida útil. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a cinética da secagem de pitanga. A secagem foi realizada nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C. Aos resultados obtidos, foram ajustados diferentes modelos matemáticos, e em seguida foi calculado a difusividade efetiva e a energia de ativação. Dos modelos ajustados, Midilli & Kucuck e Page, apresentaram os melhores valores de coeficiente de determinação, do desvio médio relativo, e do erro médio estimado. Por conter o menor número de parâmetros, tornando sua aplicação mais simplificada, o modelo de Page foi selecionado para representar a cinética de secagem dos frutos de pitanga. Os valores de difusividade efetiva variaram entre $0,91713 \times 10^{-7}$ e $1,41260 \times 10^{-7}$ m²/s, aumentando com a elevação da temperatura e a energia de ativação foi de 57,26 kJ/mol.

PALAVRAS-CHAVE: *Eugenia uniflora* L., modelagem e Page.

ANALYSIS OF THE DRYING KINETICS OF FRUITS OF SURINAM CHERRY

ABSTRACT: The Surinam cherry (*Eugenia uniflora* L) when it reaches its maturation becomes highly perishable due to the large amount of water present in the composition. Causing problems for the preservation and storage of the fruit in natura. One way to minimize these losses, and be able to make the food consumed is through the use of conservation methods, one of these is drying techniques used to obtain products with higher added value and increased shelf life. Given the above, this study aims to analyze the kinetics of drying cherry. Drying was carried out at temperatures of 40, 50 and 60 ° C. The results obtained, different mathematical models were fitted, and followed the effective diffusivity and activation energy was calculated. Models adjusted Midilli & Kucuck and Page, showed the best coefficient of determination, the relative mean deviation, and mean estimated error. Because it contains the smallest number of parameters, making its simplest application, the Page model was selected to represent the drying kinetics of fruits of cherry. The values of effective diffusivity ranged

between 0.91713 and $1.41260 \times 10^{-7} \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$, increasing with increasing temperature and the activation energy was $57.26 \text{ kJ} / \text{mol}$.

KEYWORDS: *Eugenia uniflora* L., modeling, Page.

INTRODUÇÃO: A pitanga, assim como diversas outras frutas, apresenta uma enorme fragilidade em sua estrutura física, isso ocorre pelo fato da mesma possuir um elevado teor de umidade em sua composição, fazendo com que ela se torne susceptível a certas alterações que podem ser físicas, químicas e microbiológicas, podendo implicar diretamente nas perdas de matéria-prima. Uma maneira de minimizar essas perdas é processar o alimento através da secagem.

A secagem é definida como a aplicação de calor sob condições controladas para remover, por evaporação, a maioria da água presente em um alimento (FELLOWS, 2006). Seu principal objetivo é prolongar a vida útil de produtos alimentícios, por meio da redução da atividade de água, inibindo assim o crescimento microbiano e a atividade enzimática (ITAL, 1993). O objetivo geral deste trabalho é determinar e analisar a cinética de secagem dos frutos de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) através da caracterização da secagem de pitanga fatiada, ajustando os diferentes modelos matemáticos às curvas de secagem; definindo as constantes de secagem (k), difusividade mássica (Def) e a energia de ativação (Ea).

MATERIAL E MÉTODOS: O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia e Processamento Agroindustrial, pertencente ao Centro Tecnológico de Mato Grosso e no Laboratório de Química, ambos localizados no Campus Universitário “Dep. Estadual Renê Barbour”, da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), na cidade de Barra do Bugres - MT. Os frutos de pitanga utilizados neste trabalho foram obtidos de produtores da região de Barra do Bugres, localizado no médio norte mato-grossense. Os mesmos foram selecionados, homogeneizados, higienizados, processados e armazenados. A secagem em camada delgada ocorreu em um secador descontínuo de bandejas em escala de bancada, sendo realizada em duplicata para uma melhor confiabilidade nos resultados. As amostras (aproximadamente 20 gramas) foram colocadas em bandejas de aço inoxidável e inseridas no secador, com temperaturas do ar de secagem de 40, 50 e 60°C, e velocidade do ar de 1,00 m/s. Durante a operação de secagem foram realizadas pesagens periódicas, até que se atingisse a umidade de equilíbrio dinâmico. Diferentes modelos matemáticos foram ajustados (tabela 1) aos dados experimentais.

Tabela 1: Modelos matemáticos utilizados para descrever o comportamento de secagem da pitanga.

Designação do Modelo	Modelo	
Aproximação da Difusão	$X_{ad} = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	(1)
Dois Termos	$X_{ad} = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	(2)
Henderson e Pabis	$X_{ad} = a \exp(-kt)$	(3)
Henderson e Pabis Modificado	$X_{ad} = a \exp(-kt) + b \exp(-k_0t) + c \exp(-k_1t)$	(4)
Lewis	$X_{ad} = \exp(-kt)$	(5)
Logarítmico	$X_{ad} = a \exp(-kt) + c$	(6)
Midilli e Kucuk	$X_{ad} = a \exp(-kt^n) + bt$	(7)
Page	$X_{ad} = \exp(-kt^n)$	(8)
Thompson	$X_{ad} = \exp((-a - (a^2 + 4bt)^{0.5}) / 2b)$	(9)
Verna	$X_{ad} = a^*(\exp(-kt)) + ((1-a)(\exp(-kt)))$	(10)

X_{ad} = razão de umidade do produto, adimensional; t = tempo de secagem, h; k , k_0 , k_1 = coeficientes de secagem, h^{-1} ; a , b , c , n – constantes dos modelos, adimensional.

Por meio da solução analítica da lei de Fick, determinaram-se os valores da difusividade efetiva média de umidade (Def), conforme representado na Equação 11.

$$X_{ad} = \left(\frac{8}{\pi^2}\right) * \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} * \exp - \left[(2n+1)^2 * \pi^2 * \frac{D_{ef} * t}{4 * L_0^2} \right] \quad (11)$$

A energia de ativação (Ea) foi obtida a partir da dependência da difusividade efetiva (D_{ef}) com a temperatura analisada pela equação do tipo Arrhenius:

$$D_{ef} = D_0 * e^{-\frac{Ea}{R * T}} \quad (12)$$

em que,

D₀ = constante (m²/s); Ea = energia de ativação (J/mol); R = constante universal dos gases (8,1314 J/mol K); T = temperatura absoluta (K).

Para o ajuste dos modelos, foram realizadas análises de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, o qual será analisado por um software estatístico.

RESULTADOS E DISCUSSÕES: Pode-se verificar que a perda do conteúdo de umidade é mais rápida no início do processo de secagem (Figura 1). Observou-se também a influência da temperatura sobre o tempo de secagem, pois quanto maior a temperatura empregada menor é o tempo utilizado no processo de secagem. Com isso podemos dizer que a temperatura é a variável de maior influência no processo. Tal fato também foi observado por Gouveia et al. (2003) em estudos realizados em frutos de cajá e por Azoubel et al. (2003) em secagem de tomate cereja.

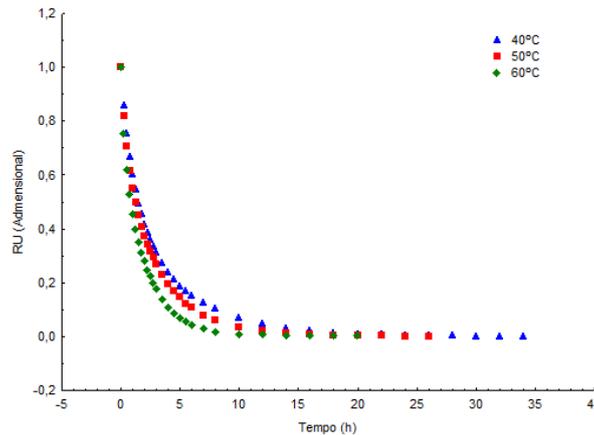


Figura 1: Curvas de secagem referente ao adimensional de umidade (X_{ad}) em função do tempo (h) para pitanga
Fonte: Autor (2013)

São apresentados na Tabela 2, os valores dos coeficientes de determinação (R², em %), os desvios padrões da estimativa (SE, em decimal) difusividade efetiva (Def, em m²/s), a energia de ativação (Ea, em kJ/mol) e os parâmetros obtidos pelo modelo que melhor se ajustou aos dados, o modelo de Page, nas diferentes temperaturas empregadas no processo.

Tabela 2: Valores do coeficiente de determinação (R²), erro médio estimado (SE), difusividade efetiva (Def), energia de ativação (Ea) e os parâmetros obtidos pelo modelo de Page, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Modelo	°C	R ²	SE	Def(m ² /s)	Ea(kJ/mol)	n	k
Page	40	99,967	0,007273	0,91713 x 10 ⁻⁷	18,65	0,744349	0,509161
	50	99,990	0,003937	1,05830 x 10 ⁻⁷	18,65	0,744162	0,587536
	60	99,971	0,006467	1,41260 x 10 ⁻⁷	18,65	0,744606	0,784218

Todos os modelos matemáticos avaliados apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores ou próximos a 98% e um baixo erro médio estimado (SE), indicando dessa forma, uma representação satisfatória durante o processo de secagem. Pois, segundo Resende et al. (2011), quanto menor for o valor do erro médio estimado (SE), melhor será a qualidade do ajuste do modelo em relação aos dados experimentais. Porém o modelo que melhor se adaptou aos dados analisados foi o de Page. Seus dados podem ser observados na tabela 2, sendo selecionado para representar a cinética de secagem dos frutos de pitanga, o mesmo utilizado por Santos et al. (2010) quando avaliou a cinética de secagem de carambola, entre outros.

Podem ser visualizados também na tabela 2 os valores dos parâmetros estimados pelo ajuste do modelo de Page. Nota-se que a constante de secagem (k), aumentou com a elevação da temperatura de secagem, o mesmo comportamento foi relatado por Lima et al. (2010) ao trabalhar com pimenta. E os valores calculados para o coeficiente de difusão mássica (Def) e energia de ativação (E_a). Pode-se observar que tanto a difusividade quanto a energia de ativação elevaram-se à medida que a temperatura do ar de secagem aumentou.

Santos et al. (2010) ao trabalhar com frutos de carambola também percebeu que o coeficiente de difusão mássica aumentou com o aumento da temperatura, confirmando os dados obtidos neste trabalho. A energia de ativação obtida é de 18,65e se encontra dentro da faixa apresentada por Zogzas et al. (1996) citado por Silva et al. (2009), que varia para produtos agrícolas entre 12,7 a 110 kJ.mol⁻¹.

CONCLUSÕES: Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o modelo de Page, dentre os modelos testados, foi o que melhor se ajustou aos dados da secagem da pitanga. A constante de secagem (k) e a difusividade efetiva (Def) aumentaram com a elevação da temperatura de secagem, os valores de (k) e do (Def) encontrados para as diferentes temperaturas variaram de 0,509 a 0,784 e 0,917 a 1,412 x 10⁻⁷, respectivamente. E a energia de ativação foi de 18,65KJ/mol.

REFERÊNCIAS

- AZOUBEL, P. M. et al. Estudo da cinética de secagem de tomate cereja. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.2, 2003.
- FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- GOUVEIA, J. P. G. et al. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.65-68, 2003.
- ITAL - Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Banana Passa: Princípios de Secagem, Conservação e Produção Industrial**. Campinas: Manual Técnico, 1993. n.1, Ano 1.
- LIMA et al. Análise e descrição matemática da cinética de secagem da Pimenta Cumarí do Pará (*Capsicum chinense* Jacqui). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2010, Vitória – ES. **Anais**. Vitória: Centro de Convenções de Vitória, 2010.
- RESENDE, O. et al. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) durante a secagem. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.31, n.6, p.1123-1135, 2011.
- SANTOS, C. T. et al. Cinética e modelagem da secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v.32, n.3, p.309-313, 2010.
- SILVA, A. S. et al. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, n.2, 2009.