

ESTIMAÇÃO DA DIFUSIVIDADE EFETIVA NA SECAGEM DE FRUTAS COM CONTEÚDOS DE UMIDADE INICIAL PRÓXIMOS

Ânoar Abbas El-Aouar – UFPB
Mabel de Barros Batista – UFPB
Johnathas da Costa Salvador – UFPB
Kaliana Sitonio Eça – UFPB

RESUMO: *Este estudo objetivou estimar a difusividade efetiva (D_{ef}) de frutas com teores de umidade próximos. Manga (*Mangifera indica* L.), pêra (*Pyrus communis* L.) e mamão (*Carica papaya* L.), das variedades Tommy Atkins, Williams e Formosa, respectivamente, foram as frutas estudadas. Para tal, utilizou-se um secador convectivo, considerando diferentes temperaturas do ar de secagem. A geometria das amostras e a vazão do ar de secagem foram constantes. Os valores de D_{ef} foram obtidos pelo modelo difusional (2ª Lei de Fick) e por dois modelos empíricos. O melhor ajuste foi obtido pelo modelo empírico exponencial de dois parâmetros. Os valores de D_{ef} foram da ordem de $10^{-10} m^2/s$ e não foram encontradas diferenças significativas entre as diferentes frutas utilizadas, apenas com relação à temperatura do ar de secagem.*

Palavras-chave: secagem, difusividade efetiva, frutas.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de frutas aumenta ano após ano devido ao valor nutritivo das mesmas e aos seus efeitos terapêuticos. Dentre os principais nutrientes encontrados em sua composição, temos: os carboidratos, as fibras, as vitaminas e os minerais (KUSKOSKI *et al.*, 2006).

As perdas de frutas em países em desenvolvimento giram em torno de 10% a 40% o que justificaria a utilização de processos capazes de conservar tais produtos por um tempo maior (EL-AOUAR e MURR, 2003).

A secagem é uma operação unitária que consiste da transferência simultânea de calor e massa tendo como objetivo diminuir a atividade de água da matéria-prima e, conseqüentemente, prolongar a sua vida útil, minimizando o crescimento de microorganismos e retardando reações de ordem bioquímica. O processo de secagem pode ser dividido em três fases, porém para a maioria dos materiais biológicos, tem-se observado apenas o período de taxa decrescente o qual vem sendo descrito comumente através da Segunda Lei de Fick. Tal lei relaciona a umidade do material com o tempo através de um parâmetro de processo conhecido como difusividade efetiva (D_{ef}). Esta, por sua vez, representa a velocidade com que a água se difunde do interior do material até a sua superfície (OLIVEIRA, OLIVEIRA e PARK, 2006).

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo verificar a influência da estrutura física e da composição química de frutas com conteúdos de umidade inicial próximos no parâmetro de difusividade efetiva, quando submetidas a um processo de secagem convectiva.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, tendo como base a *Tabela brasileira de composição de alimentos* (NEPA/UNICAMP, 2006), foram escolhidas frutas com teores de umidade inicial próximos (~ 87,2 % \pm 1,1) como a manga (*Mangifera indica* L.), pêra (*Pyrus communis* L.) e mamão (*Carica*

papaya L.), das variedades Tommy Atkins, Williams e Formosa, respectivamente. A matéria-prima foi adquirida no mercado local de João Pessoa – PB.

Na seleção das frutas para os ensaios foram observadas as seguintes características: firmeza, coloração e grau de maturação. As amostras foram cortadas manualmente nas dimensões de 50 x 30 x 5mm utilizando faca, cortador de acrílico (projetado e fabricado no Laboratório de Operações Unitárias do Centro de Tecnologia da UFPB), fatiador (Tiensen) e paquímetro.

Os ensaios de secagem foram realizados utilizando um secador convectivo de bandejas variando a temperatura (40 e 55°C), com velocidade constante do ar de secagem (0,75 m/s). As amostras foram pesadas a cada 15 minutos até a segunda hora de processo e a cada 30 minutos até peso constante utilizando balança semi-analítica (Marte). Ao término da secagem, foi realizada a determinação de massa seca das amostras mediante estufa a vácuo a 70°C por 24 horas. Todos os ensaios foram feitos em triplicata para as três amostras de fruta.

A estimativa de D_{ef} foi realizada através dos modelos a seguir, utilizando a metodologia de regressão não-linear de posse dos dados experimentais da cinética de secagem. Para este objetivo foi utilizada a ferramenta SOLVER do *Microsoft Excel 2003*.

Modelo de Fick (CRANK, 1975):

$$AD = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \cdot D_{ef} \cdot \frac{t}{4L^2}\right) \quad (1)$$

Modelo empírico de Page (PAGE, 1949):

$$AD = \exp(k \cdot t^A) \quad (2)$$

Modelo empírico exponencial de dois parâmetros:

$$AD = B \cdot \exp(k \cdot t) \quad (3)$$

Onde: AD = razão de umidade do produto; t = tempo de secagem [s]; k = constante de secagem [s^{-1}] = $(-\pi^2 \cdot D_{ef}/4 \cdot L^2)$; A, B = parâmetros de ajuste; D_{ef} = difusividade efetiva [m^2/s] e L = meia espessura do produto [m].

A capacidade de predição dos modelos foi avaliada através do cálculo do desvio relativo médio (P) e do coeficiente de determinação (R^2). Segundo Lomauro (1985), um modelo é considerado preditivo para valores de $P < 10\%$.

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_p - V_o|}{V_o} \quad (4)$$

Onde: V_p = valores preditos pelo modelo; V_o = valores observados experimentalmente e N = número de pontos experimentais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora as frutas possuíssem estrutura física e composição química diferentes entre si (NEPA/UNICAMP, 2006), de acordo com a Figura 1 (a), para a faixa de temperatura e

dimensões das amostras estudadas, não houve diferença significativa entre as cinéticas de secagem das três frutas estudadas, quando comparados os desvios padrão entre as replicatas, para uma mesma amostra ($\pm 0,015$), e entre amostras diferentes, para uma mesma temperatura ($\pm 0,010$). O mesmo não ocorreu quando foram comparados os desvios entre as replicatas, para uma mesma amostra e entre amostras iguais, para temperaturas diferentes ($\pm 0,070$).

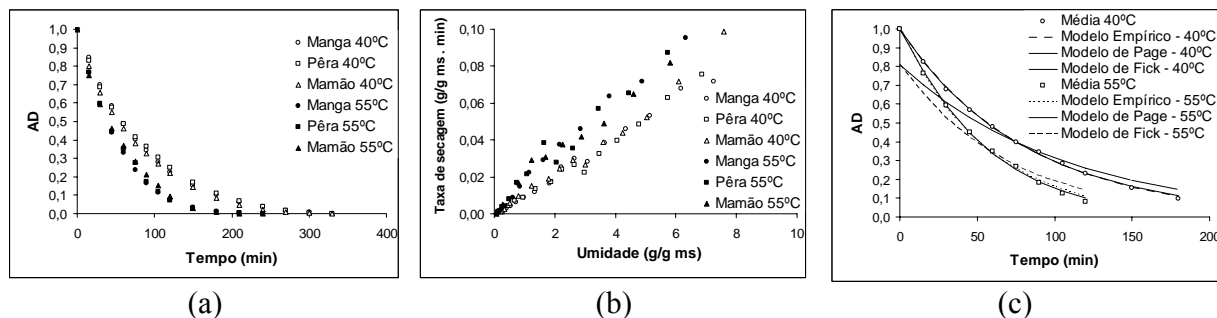


Figura 1 – Secagem de manga, pêra e mamão em diferentes temperaturas. (a) Adimensional vs tempo de processo, (b) taxa de secagem vs umidade dos produtos, (c) modelagem matemática das cinéticas de secagem das frutas analisadas.

Para um mesmo conteúdo de umidade, segundo a Figura 1 (b), foram obtidos maiores valores de taxa de secagem a uma temperatura de 55°C, para as três frutas. Tal comportamento, com relação à temperatura, foi semelhante ao encontrado por Park, Yado e Brod (2001) e El-Aouar, Azoubel e Murr (2003), trabalhando com secagem convectiva de frutas.

Tabela 1 – Dados da modelagem matemática da cinética de secagem de manga, pêra e mamão a 40 e 55°C utilizando os modelos de Fick, Page e Empírico exponencial de dois parâmetros.

MODELOS	T = 40°C					T = 55°C				
	D_{ef} (m ² /s)		P (%)		R ²	D_{ef} (m ² /s)		P (%)		R ²
Fick	4,18.10 ⁻¹⁰		13,80		0,9223	6,71.10 ⁻¹⁰		21,21		0,9203
Page	K	A	D_{ef} (m ² /s)	P (%)	R ²	K	A	D_{ef} (m ² /s)	P (%)	R ²
	-2,42.10 ⁻⁰⁴	0,9802	6,42.10 ⁻¹⁰	2,62	0,9802	-1,89.10 ⁻⁰⁴	1,0577	5,25.10 ⁻¹⁰	5,62	0,9984
Exp.	K	B	D_{ef} (m ² /s)	P (%)	R ²	K	B	D_{ef} (m ² /s)	P (%)	R ²
	-2,03.10 ⁻⁰⁴	0,9942	5,40.10 ⁻¹⁰	2,35	0,9993	-3,06.10 ⁻⁰⁴	1,0085	8,51.10 ⁻¹⁰	7,87	0,9974

Devido ao fato de ter sido observada diferença significativa das cinéticas de secagem das amostras apenas com relação à temperatura, foi feita uma média entre os dimensionais de umidade, para cada fruta, a fim de se calcular D_{ef} em função da temperatura do ar de secagem. Sendo assim, a Figura 1 (c) e a Tabela 1 mostram os resultados da modelagem matemática da cinética de secagem obtidos através dos modelos Difusional, empírico de Page e exponencial de dois parâmetros. Observa-se que o modelo Difusional não foi capaz de prever a cinética de secagem das frutas, para ambas as temperaturas, apresentando valores de $P > 10\%$. Os modelos empíricos de Page e exponencial de dois parâmetros representaram satisfatoriamente as cinéticas de secagem das amostras em questão, com valores de P variando de 2,35 a 7,87 %.

Em relação à difusividade efetiva, apenas o modelo empírico exponencial de dois parâmetros obteve valores de D_{ef} compatíveis com a análise das curvas de secagem (Figura 1 (a) e (b)). Os valores de difusividade foram de $5,40 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para a secagem a 40°C e de $8,51 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para o mesmo processo a 55°C. Park, Bin e Brod (2002), secando frutas, encontraram

difusividades da ordem de 10^{-10} m²/s, ou seja, a mesma magnitude de valores obtida neste trabalho.

4. CONCLUSÃO

Constatou-se que, para a faixa de temperaturas estudada (40 – 55°C) e dimensões das amostras (50 x 30 x 5 mm), houve diferença significativa apenas nas curvas de cinética de secagem das frutas em função da temperatura. Isto significa que, nas condições mencionadas anteriormente, apenas o teor de umidade inicial das amostras foi o fator preponderante durante o processo, isto é, nem a estrutura física e nem a composição química das amostras foram capazes de interferir no processo de transferência de massa.

Portanto, a fim de se verificar a influência da composição físico-química das amostras sobre a velocidade de difusão de água no interior das mesmas, sugere-se que sejam analisados grupos de fruta com faixas de umidade diferentes e características peculiares no que se diz respeito a sua composição, faixas mais amplas de temperatura, e diferentes geometrias para aumentar o percurso da água no interior dos produtos, verificando assim a relação de afinidade química entre a água presente no material e seus demais componentes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRANK J. **Mathematics of diffusion**. 2ed., Clarendon Press Oxford, 1975, 414p.

EL-AOUAR, Â. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (*Carica papaya L.*). **Journal of Food Engineering**, v.59, p.85–91, 2003.

EL-AOUAR, Â. A.; MURR, F. E. X. Estudo e modelagem da cinética de desidratação osmótica do mamão formosa (*Carica papaya L.*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.23, n.1, p.69-75, 2003.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; MORALES, M. T.; FETT R. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Cienc. Rural**, v.36, n.4, p.1283-1287, 2006

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Moisture transfer properties of dry and semimoist food. **Journal of Food Science**, v.50, p.397-400, 1985.

NEPA/UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. T113 Versão II. 2. ed. Campinas, SP, 113p, 2006.

OLIVEIRA, R. A. DE; OLIVEIRA, W. P. DE; PARK, K. J. Determinação da Difusividade Efetiva de Raiz de Chicória. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.26, n.1, p.181-189, 2006.

PAGE, G.E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. Thesis (M.Sc.) - Purdue University, Indiana, 1949.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v.56, p.97-103, 2002.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (pyrus sp.) em fatias. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v.21, n.3 p.288-292, 2001.