

Difusividade efetiva e energia de ativação em farinhas de grãos residuais de urucum

Dyego da Costa Santos*, Alexandre José de Melo Queiroz,
Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, Emanuel Neto Alves de Oliveira

Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil

*Autor correspondente, e-mail: dyego.csantos@gmail.com

Resumo

Os grãos residuais de urucum são o subproduto proveniente do processo de extração da bixina, corante utilizado em indústrias alimentícias, cosméticas e farmacêuticas. A maior parte desse resíduo tem sido descartada no ambiente, o que se constitui em desperdício uma vez que, como outros grãos, é fonte de carboidratos, proteínas e fibras alimentares. Uma forma de viabilizar o aproveitamento desses grãos é processando-os em farinha e fazendo a sua incorporação à outras farinhas comerciais de grãos diversos. Neste trabalho objetivou-se determinar a difusividade efetiva e obter a energia de ativação em processo de secagem de farinha de grãos residuais de urucum, com e sem a camada de óleo proveniente do processo de extração industrial da bixina. As secagens foram realizadas nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, e velocidade do ar de aproximadamente 1 m s⁻¹. O valor calculado da difusividade efetiva variou de 0,23 × 10⁻¹¹ a 2,24 × 10⁻¹¹ m² s⁻¹, para a amostra com óleo, e de 0,66 × 10⁻¹¹ a 4,89 × 10⁻¹¹ m² s⁻¹, para a amostra sem óleo. As energias de ativação foram de 70,56 e 58,95 KJ mol⁻¹, para a amostra com e sem óleo, respectivamente, com as amostras sem óleo evidenciando maiores taxas de secagem.

Palavras-chave: *Bixa orellana* L., Secagem, Subproduto

Effective diffusivity and activation energy in flours of residuals annatto grains

Abstract

The residual annatto grains are the subproduct from the extraction process of bixin, dye used in food, cosmetic and pharmaceutical industries. The most of this waste has been discarded in the environment, what constitutes wasteful since, like other grains, is source of carbohydrates, protein and food fibers. One way to facilitate the use of these grains is suing them for making flour and incorporating them in commercial flour of other grains. This work aimed to determine the effective diffusivity and obtain the activation energy in the drying process of flours of residuals annatto grains, with and without the oil layer from the process of industrial extraction of bixin. The dryings was performed at 40, 50, 60 and 70 °C, and air velocity of about 1 m s⁻¹. The calculated value of the effective diffusivity ranged from 0.23 × 10⁻¹¹ to 2.24 × 10⁻¹¹ m² s⁻¹ for the sample with oil, and 0.66 × 10⁻¹¹ to 4.89 × 10⁻¹¹ m² s⁻¹ for the sample without oil. The activation energies were of 70.56 and 58.95 KJ mol⁻¹ for the sample with oil and without oil, respectively, in which the samples without oil presented higher rates of drying.

Keywords: *Bixa orellana* L., Drying, Subproduct

Introdução

A *Bixa orellana* L., conhecida popularmente por urucum, é uma espécie arbustiva nativa da América Tropical (Gutierrez et al., 2011) que produz frutos que apresentam cerca de 50 pequenas sementes (Garcia et al., 2010). Estas sementes são valiosas pela característica de produzir pigmentos, que são utilizados como corante natural nas indústrias alimentícias, farmacêutica e cosmética (Mendes et al., 2006). O corante corresponde a uma fina camada resinosa presente na superfície da semente, que representa aproximadamente 4% do grão integral (Rohde et al., 2006). A bixina é o pigmento presente em maior concentração na semente de urucum, que compreende mais de 80% dos carotenóides totais. É lipossolúvel e, portanto, está sujeita a extração com alguns solventes orgânicos (Santana et al., 2008). De acordo com Silva et al. (2010), no processo de extração da bixina óleos vegetais como o de soja são utilizados como solvente de extração.

O processo de extração da bixina gera de 97 a 98% de resíduo, constituído pelos grãos contendo resquícios de pigmentos e óleo de soja aderido (Silva et al., 2005). De acordo Silva et al. (2006), o aumento da escala de extração agroindustrial da bixina resulta em sobras que ao serem descartadas pela indústria acarretam impacto ao meio ambiente. Diversos estudos têm se dedicado a avaliar o uso desse resíduo agroindustrial na alimentação animal (Silva et al., 2005; Silva et al., 2006), no entanto, vê-se também a possibilidade de utilização dos grãos residuais de urucum na alimentação humana, seguindo tendência mundial de pleno aproveitamento de subprodutos agroindustriais (Jittanit, 2011). Uma apresentação viável para os grãos de urucum é na forma de farinha, que pode ser incorporada à outras farinhas de grãos de consumo tradicional para elaboração de pães, biscoitos e outros. Pela menor granulometria e fragmentação do tegumento, o comportamento higroscópico das farinhas difere do comportamento dos grãos inteiros e, por consequência, apresenta características próprias durante o processo de secagem.

Doymaz & Ismail (2011) descrevem a secagem como um método de conservação

em que o teor de água e a atividade de água de frutas, vegetais e grãos são diminuídos pelo ar aquecido, o que minimiza a degradação química, bioquímica e microbiológica. O principal objetivo da secagem de produtos agrícolas é a redução do teor de água para um nível seguro, permitindo o armazenamento durante um período prolongado (Santos et al., 2013). A secagem também permite determinar algumas propriedades dos produtos agrícolas, tais como difusividade efetiva e energia de ativação, que são importantes para projetos de secadores (Aghbashlo et al., 2008).

A difusividade efetiva (D) é uma grandeza física intrínseca do material que deve ser determinada de forma a caracterizar o comportamento da secagem do produto agrícola (Milczarek et al., 2011; Abbaszadeh et al., 2012). Termodinamicamente, a energia de ativação é definida como a facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração no interior do produto (Corrêa et al., 2007; Corrêa et al., 2010). Segundo Ojediran & Raji (2010), a energia de ativação é uma medida da sensibilidade à temperatura, sendo a energia necessária para iniciar a difusão do líquido no interior do produto agrícola.

Embora existam muitos trabalhos publicados abordando a difusividade efetiva e a energia de ativação de diversos produtos agrícolas (Corrêa et al., 2007; Aghbashlo et al., 2008; Ojediran & Raji, 2010; Doymaz & Ismail, 2011; Jittanit, 2011; Milczarek et al., 2011; Abbaszadeh et al., 2012; Faria et al., 2012), não existe na literatura estudos que abordem a determinação dessas propriedades em farinhas de grãos residuais de urucum.

Ante o exposto, objetivou-se determinar a difusividade efetiva e a energia de ativação para o processo de secagem de farinha de grãos residuais de urucum em diferentes condições do ar de secagem.

Material e Métodos

Foram utilizados grãos residuais de urucum doados pela indústria alimentícia Maratá, com sede no Estado de Sergipe. Os grãos residuais de urucum foram recepcionados

no Laboratório e estocados em recipientes plásticos em temperatura de -18 °C até o início dos experimentos. Esses grãos apresentavam-se impregnados de óleo de soja e resquícios de pigmentos, remanescentes do processo de extração da bixina.

Os grãos residuais de urucum foram manipulados de dois modos para a produção das farinhas: no primeiro os grãos foram conservados com a camada de óleo remanescente do processo de extração dos pigmentos, e no segundo a camada de óleo foi removida através de lavagens em água com detergente neutro. Após a lavagem, os grãos foram distribuídos em camada fina em bancada de laboratório até a eliminação da água superficial.

Os grãos com e sem óleo foram triturados em moinho de facas, obtendo-se as farinhas de grãos com óleo (amostras FCO) e farinhas de grãos sem óleo (amostras FSO). As amostras de farinhas de grãos com e sem óleo apresentavam no início das secagens teor de água de aproximadamente 20% b.u. (25% b.s.).

Os experimentos de secagem foram realizados com 4 repetições, sendo que em cada repetição utilizou-se aproximadamente 15 g de amostra, colocadas em recipientes de alumínio com diâmetro de 13,5 cm e altura de 1,5 cm.

As amostras FCO e FSO foram secas em camada fina em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 40, 50, 60, 70°C e velocidade do ar de secagem de aproximadamente 1 m s⁻¹; a perda de água das amostras foi acompanhada até teor de água de aproximadamente 5% b.u. (5,26% b.s.).

As amostras foram submetidas a pesagens em tempos regulares de 5, 10, 15, 30, 60, 120 e 240 min. Quando as amostras atingiam o teor de água final teórico (5% b.u.), verificado pela diferença entre a massa inicial e a massa em uma dada pesagem, era determinado o teor de água em estufa a 105 ± 3°C por 24 h, de acordo com a metodologia da AOAC (2010), a fim de se calcular o teor de água final exato.

As razões de água e as curvas de razão de água em função do tempo de secagem foram calculadas e construídas a partir dos dados de perda de massa das amostras durante

as secagens e dos teores de água determinados no final das mesmas. No cálculo da razão de água foi utilizada a Eq. (1).

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

em que:

RX = razão de água do produto (adimensional);

X = teor de água do produto;

X_i = teor de água inicial do produto;

X_e = teor de água de equilíbrio do produto.

Para a determinação da difusividade efetiva, ajustaram-se os dados da secagem das amostras ao modelo matemático da difusão líquida com aproximação por três termos (Eq. 2), considerando distribuição da água inicial uniforme e ausência de resistência térmica. Esta equação é a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando-se a forma geométrica do produto como forma aproximada a uma placa plana:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 D \frac{t}{4L^2}\right] \quad (2)$$

que:

RX = razão de água do produto (adimensional);

D = difusividade efetiva, m² s⁻¹;

n = número de termos;

L = dimensão característica (meia espessura da placa);

t = tempo, s.

A relação entre a difusividade efetiva e a temperatura de secagem foi descrita através da equação de Arrhenius (Eq. 3).

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3)$$

em que:

D₀ = fator pré-exponencial, m² s⁻¹;

E_a = energia de ativação, J mol⁻¹;

R = constante universal dos gases, 8,314 J mol⁻¹ K⁻¹;

T = temperatura absoluta, K.

Os coeficientes da expressão de Arrhenius foram obtidos linearizando a Eq.(3) com a aplicação do logaritmo na seguinte forma:

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad (4)$$

em que:

$\ln D_0$ = Logarítmico do fator pré-exponencial, $m^2 s^{-1}$;

E_a = energia de ativação, $J mol^{-1}$;

R = constante universal dos gases, $8,314 J mol^{-1} K^{-1}$;

T = temperatura absoluta, K .

Para o ajuste da equação de difusividade efetiva aos dados experimentais de secagem, realizou-se análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, por meio do programa computacional *Statistica* versão 5.0.

Na análise estatística dos valores de difusividade efetiva, foi utilizado o delineamento

em esquema fatorial $2 \times 4 \times 4$, sendo 2 tipos de amostras (FCO e FSO), 4 temperaturas de secagem (40, 50, 60 e 70°C) e quatro repetições. Para a energia de ativação, o delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizados, com dois tratamentos (2 tipos de amostras - FCO e FSO) e quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando-se o programa computacional *Assistat*.

Resultados e Discussão

Na Figura 1 apresentam-se as curvas de secagem das amostras de grãos residuais de urucum com e sem óleo em quatro temperaturas de secagem.

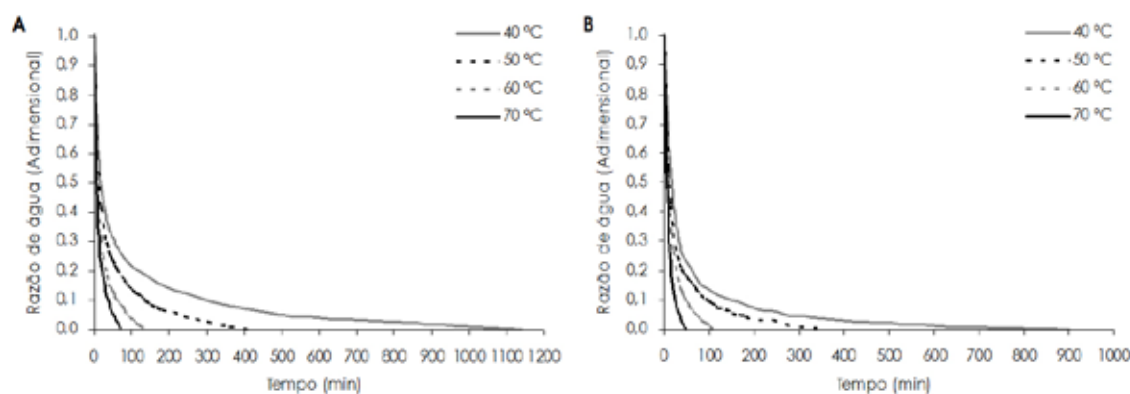


Figura 1. Curvas de secagem das farinhas de grãos residuais de urucum com óleo (A) e sem óleo (B) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Verifica-se redução do tempo do processo com o aumento da temperatura, comportamento esperado uma vez que, de acordo com Sousa et al. (2011), a elevação da temperatura do ar de secagem cria um maior gradiente de umidade entre o produto e o ar, acarretando maior taxa de remoção de água, independente do tipo de produto, conforme trabalhos com grãos de feijão (Corrêa et al., 2007), sementes de nabo forrageiro (Sousa et al., 2011), grãos de ervilha (Doymaz & Kocayigit, 2011), fatias de cebola (Kalse et al., 2012), folhas de hortelã e folhas de salsa (Zakipour & Hamidi, 2011), pimentão (Taheri-Garavand et al., 2011), cereja doce (Doymaz & Ismail, 2011), fatias de tomate (Abano et al., 2011), azeitona russa (Abbaszadeh et al., 2012), entre outros.

Os tempos de secagem da farinha de grãos residuais de urucum com óleo foram de 1140 min (40°C), 420 min (50°C), 135 min (60°C) e 70 min (70°C), enquanto que para a farinha sem óleo apresentaram tempos de desidratações de 900 min (40°C), 360 min (50°C), 110 min (60°C) e 50 min (70°C).

A partir da Tabela 1, constata-se efeito significativo ($p < 0,01$) para as difusividades efetivas das diferentes farinhas de grãos residuais de urucum (FCO e FSO), determinadas durante as secagens nas temperaturas de 40 a 70°C, indicando que tanto a natureza da amostra quanto as diferentes condições do ar de secagem influenciaram significativamente nos valores obtidos.

Tem-se na Tabela 2, os valores médios

de difusividade efetiva obtidos na secagem das farinhas com e sem óleo em diferentes condições do ar de secagem.

Tabela 1. Valores do Teste F obtidos através da análise de variância da difusividade efetiva das amostras de farinhas de grãos residuais, com óleo (FCO) e sem óleo (FSO), desidratadas nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Fontes de variação	Teste F
Temperatura de secagem (T)	184640,29**
Tipo de amostra (A)	102520,77**
T x A	27660,89**

** Significativo a 1% de probabilidade.

Tabela 2. Valores médios da difusividade efetiva ($m^2 s^{-1}$), obtidos na secagem das farinhas de grãos residuais de urucum com óleo (FCO) e sem óleo (FSO) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Temperatura (°C)	FCO	FSO
40	$0,23 \times 10^{-11}$ dB	$0,66 \times 10^{-11}$ dA
50	$0,57 \times 10^{-11}$ cB	$1,11 \times 10^{-11}$ cA
60	$1,51 \times 10^{-11}$ bB	$2,03 \times 10^{-11}$ bA
70	$2,24 \times 10^{-11}$ aB	$4,89 \times 10^{-11}$ aA

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; DMS para colunas = $0,179 \times 10^{-12}$; DMS para linhas = $0,134 \times 10^{-12}$.

Constatam-se diferenças estatisticamente significativas entre todas as médias a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. As difusividades efetivas apresentaram-se no intervalo de $0,23$ a $4,89 \times 10^{-11} m^2 s^{-1}$, resultados que se aproximam dos obtidos por Goneli et al. (2007), na desidratação de grãos de trigo, Gazor & Mohsenimanesh (2010), na secagem de sementes de canola, Costa et al. (2011), no estudo da secagem de sementes de crame e por Jittanit (2011), na investigação da desidratação de sementes de abóbora. Os autores citados também verificaram difusividades efetivas na ordem de $10^{-11} m^2 s^{-1}$. De acordo com Madamba et al. (1996), os valores da difusividade efetiva para secagem de produtos agrícolas apresentam magnitudes na ordem de 10^{-9} a $10^{-11} m^2 s^{-1}$.

Analisando-se as diferentes amostras, observa-se que a farinha de grãos com óleo apresentou os menores valores de difusividade efetiva, o que pode estar relacionado à maior resistência à secagem promovida pelo óleo presente na amostra. Uma vez que a difusão líquida é o principal mecanismo de transporte de água e ocorre nos sólidos de estrutura fina, nos capilares, nos poros e nos pequenos orifícios ocupados pelo vapor, o óleo presente na amostra poderia formar uma fina camada entre os grânulos da farinha, dificultando a remoção de água. Essa variação nos valores da difusividade efetiva são justificadas por Martinazzo et al. (2007), que afirmam que esta

propriedade termodinâmica não é intrínseca do material, variando conforme mudam as condições de secagem e as características da amostra/material.

Segundo Ferreira et al. (2012), a difusividade efetiva determina a velocidade com que a água sai do produto, o que se confirma nas amostras FSO, que apresentaram os maiores resultados de difusividade efetiva, atingindo o teor de água desejado com maior velocidade, revelando, portanto, os menores tempos de secagem em relação às amostras FCO, conforme se vê nas curvas de secagem da Figura 1.

Os valores da difusividade efetiva aumentaram com a elevação da temperatura do ar de secagem (Tabela 2), o que evidencia uma redução da resistência à difusão de água com a elevação da temperatura. Segundo Goneli et al. (2009), com o aumento da temperatura, a viscosidade da água diminui e, sendo a viscosidade uma medida de resistência do fluido ao escoamento, variações dessa propriedade implicam alterações na difusão da água nos interstícios das amostras, favorecendo a movimentação da água no produto.

Outra hipótese para justificar o aumento da difusividade efetiva com a elevação da temperatura é que o nível vibratório das moléculas de água também aumenta, contribuindo para uma maior difusão do fluido no material. Sousa et al. (2011) também

mencionam menores resistências internas ao transporte de água nos produtos agrícolas em maiores temperaturas do ar de secagem. Autores diversos reportam a mesma observação em produtos agrícolas, como em grãos de café (Corrêa et al., 2010), fatias de maçã (Zhu et al., 2010), sementes de nabo forrageiro (Sousa et al., 2011), grãos de ervilha (Doymaz & Kocayigit, 2011), grãos de abóbora (Jittanit, 2011), oliva russa (Abbaszadeh et al., 2012), bagaço de uva

fermentado (Ferreira et al., 2012), entre outros.

Observa-se na Figura 2 a dependência da difusividade efetiva com relação à temperatura do ar de secagem, descrita pela equação de Arrhenius. Os resultados revelam a uniformidade de variação dos valores de difusividade efetiva com a variação da temperatura, o que evidencia constância na taxa de secagem na faixa de temperatura estudada.

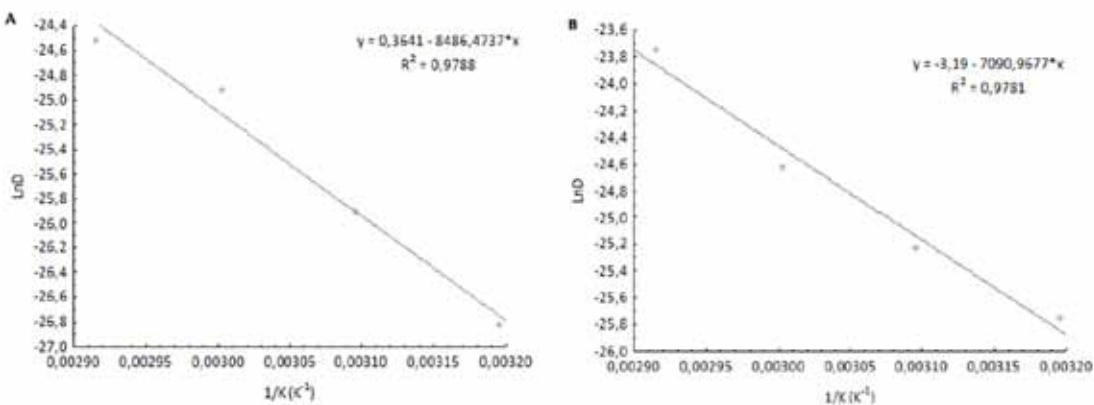


Figura 2. Representação de Arrhenius para a difusividade efetiva, em função da temperatura do ar de secagem para as farinhas de grãos residuais de urucum com óleo (A) e sem óleo (B).

Conforme a Tabela 3 nota-se efeito significativo ($p < 0,01$) para as energias de ativação nas duas farinhas de grãos residuais de urucum (FCO e FSO), nas secagens em temperaturas de 40 a 70°C. Observa-se menor energia de ativação para a amostra FSO, contudo, ambas as amostras apresentaram-se na faixa de energia de ativação característica de produtos agrícolas, que é, de acordo com Zogzas et al. (1996), de 12,7 a 110 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Tabela 3. Valores médios da energia de ativação, obtidos na secagem das farinhas de grãos residuais de urucum com óleo (FCO) e sem óleo (FSO) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C.

Amostra	Energia de ativação (KJ mol^{-1})
FCO	70,56 a
FSO	58,95 b
Teste F	20210,77**

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; DMS = 0,2269.

De acordo com Costa et al. (2011), a energia de ativação é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto, sendo diminuída com a elevação do teor de água

inicial do material submetido a secagem. Afirma o autor que a energia de ativação também é influenciada pela taxa de transferência de calor durante o processo de desidratação.

Como ambas as amostras (FCO e FSO) iniciaram a secagem com teores de água de aproximadamente 20% b.u., e as secagens foram processadas nas mesmas condições de temperatura do ar, as diferenças entre as energias de ativação devem ser atribuídas à presença e ausência de óleo, como já relatado, confirmando maiores energias para a amostra FCO. A amostra de farinha sem óleo, que apresentou os maiores valores de difusividade (Tabela 2), apresentou o menor valor de energia de ativação (Tabela 3), consequência da correlação entre essas propriedades. Os valores mais baixos de energia de ativação respondem por aumento na taxa de secagem e, dessa forma, obtenção de menores tempos de desidratação, o que contribui na redução de custos de processamento. Esses resultados são corroborados por Corrêa et al. (2010), que afirmam que nos processos de secagem, quanto menor for a energia de ativação maior será a

difusividade da água no produto, ou menor será a energia necessária para que a transformação física ocorra, neste caso a transformação da água livre líquida em vapor. Diferenças nos valores de energia de ativação também foram observados por Martinazzo et al., (2007) que, em estudo da secagem de folhas de erva-cidreira (*Cymbopogon citratus*) submetidas a diferentes comprimentos de corte, reportaram que as folhas com os maiores comprimentos de corte apresentaram as maiores energias de ativação.

Conclusão

O maior valor de difusividade efetiva foi determinado na farinha de grãos residuais de urucum sem óleo, na temperatura de 70°C ($4,89 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$); a menor difusividade foi revelada na secagem da amostra com óleo na temperatura de 40°C ($0,23 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$). O aumento da temperatura de secagem promoveu elevação da difusividade efetiva, tanto nas amostras de farinhas com óleo, quanto nas amostras sem óleo. A menor energia de ativação foi de 58,95 KJ mol⁻¹, determinada na amostra sem óleo. A farinha da qual foi eliminado o óleo apresentou a maior taxa de secagem, a maior difusividade efetiva e a menor energia de ativação, sugestivos de menores custos energéticos e de tempo no processo de secagem.

Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq, pelo auxílio financeiro, e à Indústria alimentícia Maratá, pela doação dos grãos residuais de urucum.

Referências

Abano, E.E., Ma, H., Qu, W. 2011. Influence of air temperature on the drying kinetics and quality of tomato slices. *Journal of Food Processing & Technology* 2: 1-9.

Abbaszadeh, A., Motevali, A., Ghobadian, B., Khoshtaghaza, M.H., Minaei, S. 2012. Effect of air velocity and temperature on energy and effective moisture diffusivity for russian olive (*Elaeagnus gastifolial* L.) in thin-layer drying. *Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering* 31: 75-79.

Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Samimi-Akhijahani, H. 2008. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of beriberi fruit (Berberidaceae). *Energy Conversion and Management* 49: 2865-

2871.

Association of Official Analytical Chemists - AOAC. 2010. *Official Methods of Analysis*. Washington, USA, 18th ed, 3th Review. 1094 p.

Corrêa, P.C., Resende, O., Martinazzo, A.P., Goneli, A.L.D., Botelho, F.M. 2007. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. *Engenharia Agrícola* 27: 501-510.

Corrêa, P.C., Oliveira, G.H.H., Botelho, F.M., Goneli, A.L.D., Carvalho, F.M. 2010. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revista Ceres* 57: 595-601.

Costa, L.M., Resende, O., Sousa, K.A., Gonçalves, D.N. 2011. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15: 1089-1096.

Doymaz, I., Ismail, O. 2011. Drying characteristics of sweet cherry. *Food and Bioproducts Processing* 89: 31-38.

Doymaz, I., Kocayigit, F. 2011. Drying and rehydration behaviors of convection drying of green peas. *Drying Technology* 29: 1273-1282.

Faria, R.Q., Teixeira, I.R., Devilla, I.A., Ascheri, D.P.R., Resende, O. 2012. Cinética de secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16: 573-583.

Ferreira, L.F.D., Pirozi, M.R., Ramos, A.M., Pereira, J.A.M. 2012. Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47: 855-862.

Garcia, E.A., Molino, A.B., Gonçalves, H.C., Junqueira, O.M., Pelícia, K., Osera, R.H., Duarte, K.F. 2010. Ground annatto seeds (*Bixa orellana* L.) in sorghum-based commercial layer diets and their effects on performance, egg quality, and yolk pigmentation. *Brazilian Journal of Poultry Science* 12: 259-264.

Gazor, H.R., Mohsenimanesh, A. 2010. Modelling the drying kinetics of canola in fluidised bed dryer. *Czech Journal of Food Sciences* 28: 531-537.

Goneli, A.L.D., Corrêa, P.C., Resende, O., Reis Neto, A.S. 2007. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 27: 135-140.

Goneli, A.L.D., Corrêa, P.C., Afonso Júnior, P.C., Oliveira, G.H.H. 2009. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada

- delgada. *Revista Brasileira de Armazenamento* 11: 64-73.
- Gutierrez, R.M.P., Baez, E.G., Cortez, M.S.L., Cárdenas, S.A. 2011. Extracts of bixa inhibit glycation and AGEs formation *in vitro*. *Journal of Medicinal Plants Research* 5: 942-948.
- Jittanit, W. 2011. Kinetics and temperature dependent moisture diffusivities of pumpkin seeds during drying. *Kasetsart Journal: Natural Science* 45: 147-158.
- Kalse, S.B., Patil, M.M., Jain, S.K. 2012. Microwave drying of onion slices. *Research Journal of Chemical Sciences* 2: 57-60.
- Madamba, P.S., Driscoll, R.H., Buckle, K.A. 1996. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering* 29: 75-97.
- Martinazzo, A.P., Corrêa, P.C., Melo, E.C., Barbosa, F.F. 2007. Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. *Revista Brasileira Plantas Mediciniais* 9: 68-72.
- Mendes, A.M.S., Figueiredo, A.F., Silva, J.F. 2006. Crescimento e maturação dos frutos e sementes de urucum. *Revista Brasileira de Sementes* 28: 133-141.
- Milczarek, R.R., Dai, A.A., Otoni, C.G., McHugh, T.H. 2011. Effect of shrinkage on isothermal drying behavior of 2-phase olive mill waste. *Journal of Food Engineering* 103: 434-441.
- Ojediran, J.O., Raji, A.O. 2010. Thin layer drying of millet and effect of temperature on drying characteristics. *International Food Research Journal* 17: 1095-1106.
- Rohde, D.C., Silveira, S.O., Vargas, V.R.A. 2006. O uso do corante urucum (*Bixa orellana* L.) na técnica de coloração histológica. *Revista Brasileira de Análises Clínicas* 38: 119-121.
- Santana, K.C., Guedes, P.A., Rebouças, T.N.H., São José, A.R., Lemos, O.L., Vila, M.T.R., Souza, M.J.L. 2008. Teores de bixina em urucum (*Bixa orellana*) 'Piave Vermelha', em diferentes acondicionamentos e temperaturas. *Tecnologia & Ciência Agropecuária* 2: 19-22.
- Santos, D.C., Queiroz, A.J.M., Figueirêdo, R.M.F., Oliveira, E.N.A. Cinética de secagem de farinha de grãos residuais de urucum. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17: 223-231.
- Silva, J.H.V., Silva, E.L., Jordão Filho, J., Ribeiro, M.L.G. 2005. Efeitos da Inclusão do Resíduo da semente de urucum (*Bixa orellana* L.) na dieta para frangos de corte: desempenho e características de carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia* 34: 1606-1613.
- Silva, J.H.V., Silva, E.L., Jordão Filho, J., Ribeiro, M.L.R., Costa, F.G.P. 2006. Resíduo da semente de urucum (*Bixa orellana* L.) como corante da gema, pele bico e ovário de poedeiras avaliado por dois métodos analíticos. *Ciência e Agrotecnologia* 30: 988-994.
- Silva, P.I., Nachtigall, A.M., Stringheta, P.C. 2010. Eficiência de solventes na obtenção e caracterização de corantes de urucum (*Bixa orellana* L.). *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos* 28: 115-124.
- Sousa, K.A., Resende, O., Chaves, T.H., Costa, L.M. 2011. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). *Revista Ciência Agrônômica* 42: 883-892.
- Taheri-Garavand, A., Rafiee, S., Keyhani, A. 2011. Study on effective moisture diffusivity, activation energy and mathematical modeling of thin layer drying kinetics of bell pepper. *Australian Journal of Crop Science* 5: 128-131.
- Zakipour, E., Hamidi, Z. 2011. Vacuum Drying Characteristics of Some Vegetables. *Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering* 30: 97-107.
- Zhu, Y., Pan, Z., McHugh, T.H., Barrett, D.M. 2010. Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. *Journal of Food Engineering* 97: 8-16.
- Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B., Marinos-Kouris, D. 1996. Moisture diffusivity data compilation in foods tuffs. *Drying Technology* 14: 2225-2253.