

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA CINÉTICA DE SECAGEM DE FARINHA INTEGRAL E DESENGORDURADA DA AMÊNDOA DE BARU**DOUGLAS RODRIGUES DOS REIS¹, ALEXANDRE GONÇALVES PORTO², EDUARDO JOSÉ OENNING-SOARES³, FABRÍCIO SCHWANZ DA SILVA⁴, LUIZ CARLOS PASCUALI⁵**¹ Engenheiro de Alimentos, Mestrando em Engenharia de Alimentos, UFSC, Florianópolis – SC, dougrrreis@hotmail.com² Engenheiro Agrícola, Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Alimentos, UNEMAT, Barra do Bugres – MT, (65) 3361-3596, e-mail: agporto@unemat.br³ Engenheiro de Produção Agroindustrial, Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial, UNEMAT, Barra do Bugres – MT, (65) 3361-3596, e-mail: eduardo.oenning@unemat.br⁴ Engenheiro Agrícola, Professor Adjunto, Departamento de Engenharias e Exatas, UFPR, Palotina – PR, (44) 3211-1374, e-mail: fabricio.silva@ufpr.br⁵ Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Produção Agroindustrial, UNEMAT, Barra do Bugres – MT, (65) 3361-3596, e-mail: pascuali@unemat.brApresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: Vários tipos de sementes têm sido introduzidos como ingrediente em formulações na indústria alimentícia, graças ao grande potencial que as proteínas vegetais apresentam. O fruto do baru (*Dipteryx alata*), disseminado no bioma cerrado, apresenta em sua castanha um alto valor nutricional. O presente trabalho possui como objetivo determinar a cinética de secagem da farinha integral e desengordurada da amêndoa do baru em diferentes temperaturas. Após a moagem das amêndoas, a farinha resultante foi desengordurada por éter de petróleo. As secagens foram realizadas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C. Os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos de Page, Henderson e Pabis, Midilli e Kucuk, Thompson e Aproximação da difusão. Os resultados demonstraram notável efeito da temperatura do ar na cinética de secagem da farinha integral e desengordurada da amêndoa do baru. A farinha da amêndoa integral apresentou perdas de umidade mais lentas do que a farinha desengordurada. Os modelos de Midilli e Kucuk e Page foram os que se ajustaram melhor aos dados experimentais. Os valores de difusividade efetiva encontrados variam de $8,02 \times 10^{-10}$ a $19,90 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ e a energia de ativação foi de 22,39 e 39,37 kJ mol⁻¹ para a amêndoa integral e desengordurada, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Castanha, Midilli e Kucuk, Page.

INFLUENCE OF TEMPERATURE IN THE DRYING KINETICS OF INTEGRAL AND DEGREASED FLOUR OF THE BARU ALMOND

ABSTRACT: Several types of seeds have been introduced as an ingredient in formulations in the food industry due to the great potential that vegetable proteins show. The baru fruit (*Dipteryx alata*), common in the cerrado (the Brazilian savanna), presents in its chestnut a high nutritional value. The present work aims to determine the drying kinetics of the integral and defatted almonds flour of baru in different temperatures. After grinding the almonds, the resulting flour was defatted with petroleum ether. Drying was performed at temperatures at 40, 50 and 60°C. The experimental data were adjusted to the mathematical models of Page, Henderson and Pabis, Midilli and Kucuk, Thompson and Diffusion Approximation. The results showed a remarkable effect of the air temperature on the drying kinetics of the integral and defatted almonds flour of baru. The integral flour had slower moisture losses than defatted flour. The models of Midilli and Kucuk and Page were the ones that best fit the experimental data. The values of effective diffusivity found ranged from $8,02 \times 10^{-10}$ to $19,90 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ and activation energy was 22,39 and 39,37 kJ mol⁻¹ for the integral and defatted almond flour of baru, respectively.

KEYWORDS: Chestnut, Midilli and Kucuk, Page.

INTRODUÇÃO: Os frutos nativos do cerrado brasileiro, tais como o baru (*Dipteryx alata*) tem se destacado por apresentar potencial nutritivo com forte apelo sensorial e econômico, constituindo matéria-prima disponível para formulação de novos produtos alimentícios. Sua castanha é

rica em lipídeos e proteínas, sendo muito valorizada no mercado consumidor externo (FERNANDES et al., 2010). A secagem dos alimentos proporciona condições desfavoráveis à continuidade de suas atividades metabólicas e ao desenvolvimento de microrganismos, aumentando sua conservação graças à remoção de água do produto (MARTINAZZO et al., 2007). Tal processo é definido como uma operação unitária que remove água ou alguma substância volátil de um produto sólido por evaporação, com transferência de calor e umidade, acarretando assim, uma redução de massa do produto. Quando realizada em alimentos, tem como principal objetivo a obtenção de um alimento com maior longevidade (GAVA, SILVA, FRIAS, 2009). São diversas as vantagens associadas à secagem, como o aumento da vida útil do produto, aumento do conteúdo de diversos nutrientes devido à perda de água, facilidade no transporte e comercialização (FELLOWS, 2009). A cinética de secagem, mostra a rapidez com que o produto perde umidade, sendo essa controlada através das características da matriz do alimento e pelas variáveis: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar (CELESTINO, 2010). Uma ferramenta utilizada para representar a cinética de secagem é a modelagem, a qual os modelos são utilizados para estimar o tempo de secagem de diferentes produtos através da obtenção das curvas durante o processo (MIDILLI et al., 2002). O presente trabalho teve como objetivo determinar a cinética de secagem da farinha integral e desengordurada da amêndoa do baru em diferentes temperaturas.

MATERIAL E MÉTODOS: A matéria-prima utilizada foi a amêndoa do baru, adquirida do comércio regional da região sudoeste mato-grossense. A moagem das amêndoas ocorreu por meio de um processador de alimentos e em seguida, a farinha resultante foi desengordurada por éter de petróleo e submetidas a um processo de lavagem com água destilada objetivando-se a remoção de frações solúveis não proteicas. As secagens foram realizadas em condições controladas de temperatura do ar nas temperaturas de 40, 50 e 60°C, todas em triplicata. Para o cálculo da razão de umidade (RU), durante as secagens nas diferentes condições, utilizou-se a equação 1.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

Onde: U – teor de água do produto, decimal b.s.; U_i – teor de água inicial do produto, decimal b.s.; e U_e – teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.

Para a representação das curvas de secagem, utilizaram-se cinco modelos matemáticos (Page, Henderson e Pabis, Midilli e Kucuk, Thompson e Aproximação da difusão), ajustados por regressão não linear mediante o programa estatístico XLSTAT (Addinsoft, 2016).

Para o ajuste dos modelos, foram realizadas análises de regressão não linear, pelo método Quase Newton. O grau de ajuste de cada modelo levou em consideração a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e o erro médio estimado (SE).

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (RU_{pre} - RU_{exp})^2}{N}} \quad (2)$$

Onde: RU_{pre} é a razão de umidade predita pelo modelo, RU_{exp} é a razão de umidade experimental e N é o número de observações realizadas ao longo do experimento.

Os valores da difusividade efetiva média de umidade foram determinados pela solução analítica da Lei de Fick para a difusão de água líquida em um sólido, levando em consideração as condições do material em análise. A energia de ativação (E_a) foi obtida a partir da dependência da difusividade efetiva (D_{ef}) com a temperatura analisada pela equação do tipo Arrhenius, equação 3.

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

Onde: D_0 – 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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Figura 1 as curvas de secagem das farinhas, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

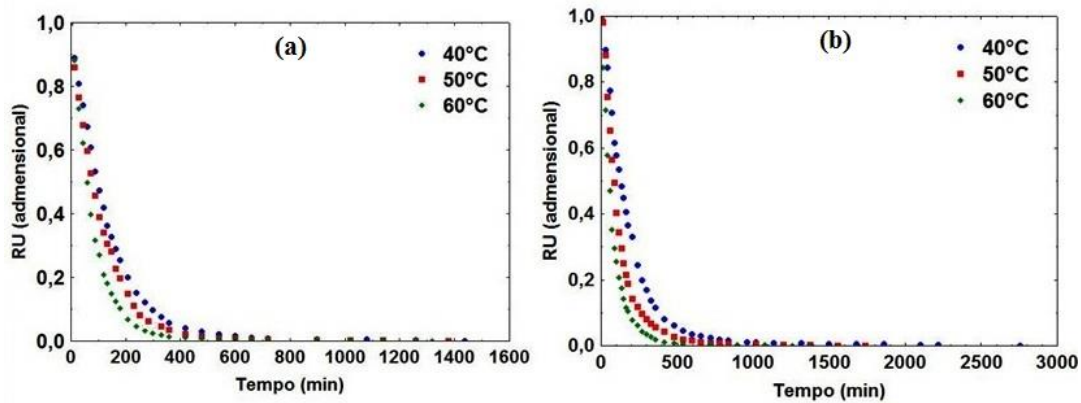


FIGURA 1. Curvas de secagem da amêndoa integral (a) e da amêndoa desengordurada (b) do baru nas três temperaturas avaliadas.

As curvas apresentadas na Figura 1 indicam o efeito causado pelo aumento da temperatura do ar sobre a cinética de secagem, favorecendo o processo de transferência de energia na forma de calor para as amostras, conseqüentemente promovendo uma maior taxa de remoção da água do produto. Tais resultados vêm ao encontro de outros trabalhos que abordam a temática da cinética de secagem, tais como Andrade et al. (2006) ao trabalhar com cinética de secagem de sementes de feijão, Costa (2011) com sementes de crambe, Santos et al. (2013) com farinha de urucum e Teixeira, Zuniga, Ribeiro (2015) com secagem de amêndoas inteiras do baru.

Os valores iniciais de umidade encontrados para amêndoa de baru integral e desengordurada foram de 3,22 e 3,51%, resultados os quais ficaram dentro da faixa daqueles encontrados por Vera et al., (2009) sendo de 2,93 a 5,07% e Fernandes et al., (2010) de 3,20 a 4,00%, os quais realizaram trabalhos de caracterização de amêndoas de baru. Após a etapa de lavagem com água destilada, a umidade situou-se ao redor de 68% para farinha integral e 70% para a desengordurada.

A Figura 2 apresenta a comparação das curvas de secagem das duas matérias primas em mesmas condições de temperatura.

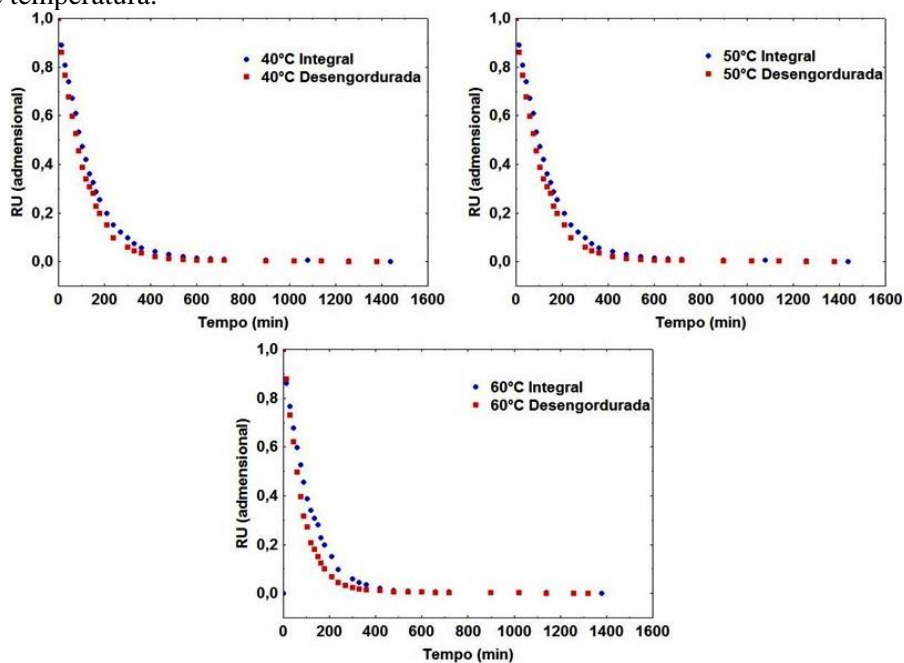


FIGURA 2. Comparação das curvas de secagem das duas farinhas nas mesmas condições de temperatura.

Verifica-se na Figura 2 uma diferença entre as duas farinhas nas três temperaturas avaliadas, onde a farinha desengordurada atingiu o equilíbrio em um menor tempo comparado a farinha integral. Atribui-se tal efeito ao maior conteúdo lipídico da farinha integral (45,55% base seca) em relação à farinha desengordurada (4,97% base seca), havendo neste sentido, maior dificuldade por parte da água

em ultrapassar a barreira hidrofóbica formada pelos lipídeos do meio, elevando assim o tempo de secagem. Tais resultados estão em acordo com aqueles encontrados por Cyprian et al. (2015), para a secagem de Capelin (*Mallotus villosus*), onde perdas de umidade mais lentas foram verificadas para aquelas amostras com maiores teores lipídicos. Dessa forma, o conteúdo lipídico atua como fator limitante durante a secagem, agindo como uma barreira física ao processo de evaporação da água, bem como à sua difusividade do interior para a superfície do alimento.

As energias de ativação para o processo de secagem foram de 22,39 e 39,37 KJ mol⁻¹ e o coeficiente de correlação de 99,95 e 99,98% para a amêndoa integral e desengordurada. Estando próximos ao valor encontrado por Resende et al. (2011) para sementes de pinhão-manso, sendo de 15,78 KJ mol⁻¹.

CONCLUSÕES: De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que: a temperatura do ar demonstrou grande efeito na secagem da farinha integral e desengordurada, o aumento da temperatura de secagem promoveu maiores taxas de remoção de água do produto; a farinha da amêndoa integral apresentou perdas de umidade mais lentas do que a farinha desengordurada, onde o conteúdo lipídico atuou como fator limitante durante a secagem; o modelo de Midilli e Kucuk foi o que obteve os melhores resultados para a farinha integral e o modelo de Page os melhores ajustes para a farinha desengordurada; o coeficiente de difusão efetiva aumentou com a elevação da temperatura, variando de $8,02 \times 10^{-10}$ a $19,90 \times 10^{-10}$ m²s⁻¹; e a energia de ativação encontrada foi de 22,39 e 39,37 KJ mol⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ADDINSOFT, (2016), XLSTAT: Core Statistical Software. Paris, France.
- CELESTINO, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Planaltina-DF, p.51, Embrapa Cerrados, 2010.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, S. D... Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p.1089-1096, 2011.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, S. D... Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p.1089-1096, 2011.
- CYPRIAN, O.; VAN NGUYEN, M.; SVEINSDOTTIR, K.; JONSSON, A.; THORKESSON, G.; ARASON, S. Influence of lipid content and blanching on capelin (*Mallotus villosus*) drying rate and lipid oxidation under low temperature drying. **Journal of Food Process Engineering**, 2015.
- FELLOWS, P. J. **Food Processing Technology: Principles and Practice**, 3rd Edition: CRC, Woodhead Publishing, Cambridge, England. 2009.
- FERNANDES, D. C.; FREITAS, J. B.; CZEDER, L. P.; NAVES, M. M. V. Nutritional composition and protein value of the baru (*Dipteryx alata Vog.*) almond from the Brazilian Savanna. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 10, p. 1650-1655, 2010.
- GAVA, A. J.; SILVA, C.A.B.S.; FRIAS, J.R.G. Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. São Paulo, SP: Nobel, 2009.
- MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, p. 1503–1513, 2002.
- RESENDE, O.; ULLMANN, R., SIQUEIRA, V. C., CHAVES, T. H., FERREIRA, L. U. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) durante a secagem. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1123-1135, 2011.
- 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**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 223-231, 2013.
- TEIXEIRA, P. C. M.; ZUNIGA, A. D. G.; RIBEIRO, L. Modelagem Matemática e cinética de secagem da amêndoa do baru (*Dipteryx alata Vog.*). **Enciclopédia Biosfera - Goiânia**, v.11 n.21; p. 1309-a1324, 2015.
- VERA, R.; JUNIOR, M. S. S.; NAVES, R. V.; SOUZA, E. D.; FERNANDES, E. P.; CALIARI, M.; LEANDRO, W. M. Características químicas de amêndoas de barueiros (*Dipteryx alata Vog.*) de ocorrência natural no Cerrado do Estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 01, p. 112-118, 2009.