

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE SECAGEM DOS FRUTOS DE AÇAIRANA (*Miconia ciliata* (RICH) DC.)

L. B. VIEIRA, I. L. S. PEREIRA, R. O. PINHEIRO, E. B. SANTANA e C. M. L. COSTA.

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Química
E-mail para contato: leticiavieirabah@gmail.com

RESUMO – A açairana (*Miconia ciliata* (Rich.) DC.) é um fruto com ocorrência na região Amazônica, de cor violeta, devido à grande concentração de antocianinas, ela, ainda, apresenta relatos de aplicação medicinal e fonte de consumo não convencional. Esta pesquisa tem a finalidade de avaliar a secagem de dois tipos de secadores de leito fixo convectivo com circulações de ar diferentes: um com ar ascendente e outro com corrente de ar paralela à amostra, visando avaliar a cinética de secagem dos frutos de açairana. Para a condução do experimento foram obtidas as curvas de secagem nas temperaturas de 55, 65 e 75°C. A umidade média inicial do fruto *in natura* correspondeu a 356,85%b.s, enquanto a umidade final do material seco em secador de leito fixo com circulação de ar paralela foi de 10,22; 6,19 e 5,54 %b.s, e em secador com circulação de ar ascendente foi: 64,25; 63,09 e 45,22%b.s para as respectivas temperaturas de 55, 65 e 75 °C. A análise estatística indicou que o modelo Page foi adequado para descrever a cinética de secagem no leito fixo convectivo com corrente de ar ascendente, enquanto que para o sistema com ar em paralelo Midilli *et al.* foi o que melhor descreveu o comportamento cinético nas três temperaturas.

1. INTRODUÇÃO

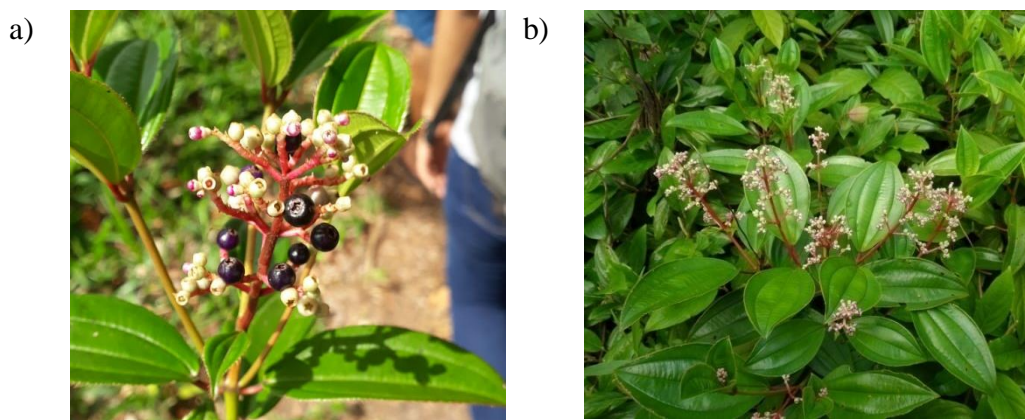
Miconia é o maior gênero em número de espécies de Melastomataceae com mais de mil espécies. No Brasil ocorrem 276 espécies de *Miconia*, e destas 121 são endêmicas (FORZZA *et al.*, 2010). *Miconia ciliata* (Rich.) DC, conhecida popularmente como açairana ou “chumbinho”, é uma espécie arbustiva que atinge cerca de 1,8 a 2,0 metros de altura, e ocorre predominantemente em áreas úmidas. Apresenta floração contínua, estendendo-se por 11 meses, embora os meses em que ocorrem a maior floração e frutificação correspondem ao período chuvoso da região (PEÇANHA JUNIOR, 2005). Segundo Radünz *et al.* (2002), a secagem de plantas é um processo fundamental, a qual visa adequá-las a baixos teores de umidade, o que permite a conservação adequada das mesmas, mantendo sua qualidade física e química por mais tempo. A partir da análise de secagem pode-se estimar o dimensionamento dos equipamentos, assim como as melhores condições operacionais para o processo (VILELA e ARTUR, 2008). O objetivo deste trabalho é analisar a cinética de secagem dos frutos de *Miconia ciliata* em dois secadores de leito fixo convectivo (com corrente de ar ascendente e paralela à amostra), ajustando os dados experimentais a cinco modelos descritos na literatura e, avaliando-os por meio da análise dos parâmetros estatísticos como: coeficiente de determinação, erro médio relativo e erro médio estimado, com a finalidade de selecionar o melhor modelo para a descrição das cinéticas executadas neste trabalho.

2. METODOLOGIA

2.1. Coleta e Armazenamento dos frutos

Foram feitos registros fotográficos da planta de *M. ciliata* (Figura 1). Os frutos *in natura* foram colhidos durante dezembro de 2018, na vila Baltazar, localizada no km 25 da estrada do município de Acará – PA (S 01° 33' 26,9"; W 48° 20' 59,7") e armazenados em freezer convencional a -18 °C. A Identificação Botânica foi realizada na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) sob o número de registro: 197972.

Figura 1. Planta de *M. ciliata* (Rich.) DC: a) Flor e frutos, b) Arbusto



2.2. Secagem

A secagem com corrente de ar paralela aos frutos inteiros de açairana foi realizada em estufa Quimis Microprocessada com circulação de ar forçada, Modelo Q314M222, empregando-se 40 g de frutos dispostos em uma placa de *Petri* com diâmetro de 5 cm.

Enquanto que, em secador convectivo de leito fixo com circulação de ar ascendente foram utilizados 100 g de frutos, quantidade suficiente para garantir as condições iniciais de espessura da secagem realizada em estufa, em torno de 1,5 cm de altura. Este secador é composto de um duto de 25,4 cm de seção quadrada, contendo um soprador centrífugo com controle de velocidade. Compõem ainda o secador dois pares de resistências elétricas de 2 kW e 1 kW cada, que propiciam o aquecimento do ar. Adaptado a esta unidade, encontra-se o corpo do secador constituído de vidro pirex. O equipamento dispõe ainda de um cesto cilíndrico telado de diâmetro interno 12,5 cm e altura 25,5 cm, em aço inoxidável que fica suspenso no interior do corpo cilíndrico de vidro, adaptado a uma balança eletrônica, que indica continuamente o decréscimo da massa do material, no qual foram depositados os frutos de açairana, ficando sujeitos ao contato do ar de secagem a partir de sua base.

Os experimentos ocorreram nas temperaturas de 55, 65 e 75 °C durante 6 horas, no Laboratório de Secagem e Recobrimento de Partículas (LSRP) da Faculdade de Engenharia Química da UFPA, onde ambos os sistemas de secagem estão localizados. A construção das curvas de secagem foi realizada com o auxílio das Equações 1 e 2, que representam a umidade em base seca (X_{bs}) e a razão de umidade (X_r), respectivamente:

$$X_{bs} = \frac{m_t - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (1)$$

$$X_r = \frac{X_{bs}}{X_0} \quad (2)$$

Em que, m_t é a massa total da amostra, m_{ss} é a massa de sólido seco, e X_0 é a umidade inicial do material. Por meio dos valores de razão de umidade e tempo de secagem foi feito o ajuste matemático aos modelos descritos pelas Equações 3 a 7, representados por Page (1949), Midilli *et al.* (2002), Henderson & Pabis (1961), Dois termos e Aproximação da difusão, respectivamente, e sumarizados em Sampaio *et al.* (2015), analisados com auxílio do programa computacional Statistica 7.0.

$$X_r = \exp(-k \cdot t^n) \quad (3)$$

$$X_r = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t \quad (4)$$

$$X_r = a \cdot \exp(-k \cdot t) \quad (5)$$

$$X_r = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t) \quad (6)$$

$$X_r = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \cdot \exp(-k_1 \cdot t \cdot b) \quad (7)$$

Os critérios usados para se avaliar a excelência dos ajustes foram os valores de coeficiente de determinação (R^2), o erro médio relativo (EMR) (Equação 8) e o erro médio estimado (EME) (Equação 9). Sendo, n o número de observações, Y o valor observado e, Y_0 o valor estimado pelo modelo e GLM o grau de liberdade do modelo.

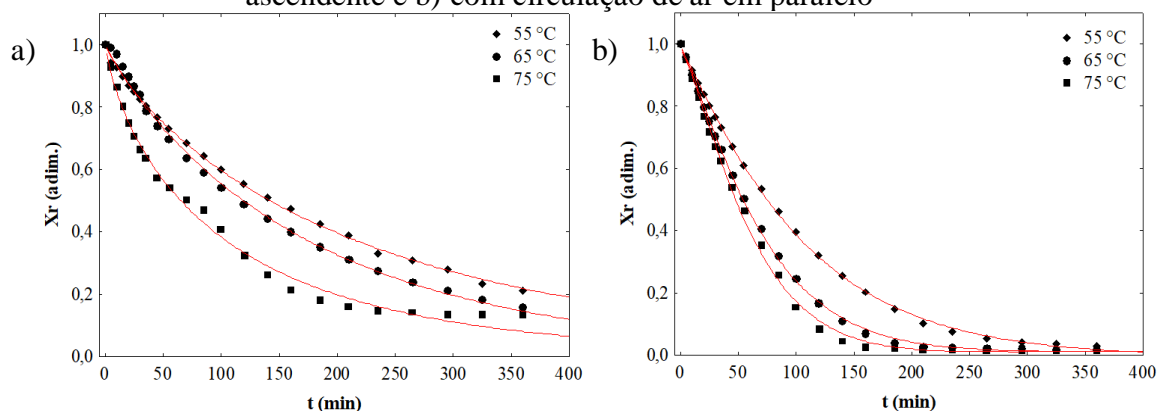
$$EMR = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (8)$$

$$EME = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_0)^2}{GLM}} \quad (9)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de secagem para os frutos de açairana nos distintos sistemas em leito fixo convectivo, nas temperaturas de 55, 65 e 75 °C.

Figura 2. Curvas de secagem ajustadas para os secadores a) com circulação de ar ascendente e b) com circulação de ar em paralelo



Nota-se a partir da análise das curvas de secagem dos frutos de açairana nos sistemas avaliados, que a umidade diminui continuamente com o tempo e com o aumento da temperatura do ar de secagem, concordando assim com os fundamentos teóricos de secagem

(STRUMILLO e KUDRA, 1986). Pode-se constatar o efeito significativo da temperatura sobre as curvas de secagem dos frutos, ou seja, com o aumento da temperatura ocorre maior taxa de remoção de água do produto, fato observado por diversos pesquisadores para inúmeros produtos agrícolas/alimentícios como Zielinska *et al.* (2016) e Sampaio *et al.* (2015) que analisaram a cinética de secagem de frutos com alto teor de umidade.

Ainda de acordo com a Figura 2, percebe-se que a secagem de açairana ocorre com maior eficiência no processo em leito fixo com circulação de ar em paralelo, alcançando a condição de equilíbrio com o ambiente com cerca de 185 min de operação para as temperaturas de 65 e 75 °C, atingindo conteúdo de umidade final de 6,19 e 5,54%b.s para respectivas temperaturas. Observa-se também que durante o primeiro período de secagem que as curvas apresentam um comportamento linear o que pode ser justificado pela perda de umidade superficial, já que o material apresenta umidade inicial elevada (356,85%b.s).

Estes resultados observados no sistema de secagem com circulação de ar paralelo sugerem que a remoção de umidade nestas condições apresentou maior eficiência, o que pode ser compreendida pelo fato da corrente de ar quente passar na superfície superior e inferior da camada de sólidos submetidos à secagem, bem como pode ter sido ainda favorecida pela passagem do ar através do leito, pois a bandeja em que os frutos foram expostos era perfurada, permitindo assim um contato mais intenso sólido-fluido, uniformizando a distribuição de temperatura no interior do leito/secador e consequentemente favorecendo altas taxas de transferência de calor e massa. A umidade média inicial dos frutos *in natura* utilizados no estudo da cinética de secagem foi de 356,85%b.s, enquanto a umidade final do material seco no secador de leito fixo com circulação de ar paralela à amostra foi de 10,22; 6,19 e 5,54%b.s e em secador convectivo de leito fixo com corrente de ar ascendente foi: 64,25; 63,09 e 45,22%b.s para as respectivas temperaturas de 55, 65 e 75 °C. Verifica-se que o sistema de secagem com ar em paralelo proporcionou conteúdos de umidade final abaixo de 11%bs, para todas as temperaturas avaliadas, indicando que os valores alcançados são satisfatórios à manutenção/armazenagem do produto final por longos períodos de tempo, podendo inibir a proliferação de fungos e microrganismos.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os valores obtidos para os parâmetros dos diferentes modelos matemáticos utilizados para avaliar o comportamento da secagem dos frutos de açairana em leito fixo com circulação de ar ascendente e com circulação de ar em paralelo, respectivamente, e os valores dos parâmetros estatísticos: erro médio relativo (EMR), coeficiente de determinação (R^2) e erro médio estimado (EME). Observa-se que três modelos apresentaram valores para os parâmetros estatísticos satisfatórios, inferiores a 10%, de acordo com Mohapatra & Rao (2005), na descrição da secagem em leito fixo convectivo com circulação de ar ascendente, são eles: Page (1949), Midilli *et al.* (2002) e Dois Termos, por apresentar coeficientes de determinação (R^2) próximos a unidade, erros médios estimados (EME) menores que 0,1 e erros médios relativos (EMR) variando de 0,011 a 1,277%, para todas as temperaturas analisadas, demonstrando a excelência dos ajustes matemáticos. No entanto, por se tratar de um modelo cinético com fundamentação teórica de secagem, o modelo de Page (1949) condensa as condições satisfatórias para descrever o comportamento cinético dos frutos de açairana em leito fixo com vazão de ar de secagem circulando ascendente através do leito de sólidos.

Tabela 1. Avaliação dos parâmetros estatísticos para a secagem em leito fixo convectivo com circulação de ar ascendente ao leito da amostra

Modelo matemático	T (°C)	R ²	EMR (%)	EME	Parâmetros dos modelos matemáticos				
					a	b	n	k	k1
Page (1949)	55	0,999	0,327	0,033	-	-	0,844	0,011	-
	65	0,997	0,990	0,076	-	-	0,927	0,008	-
	75	0,992	1,277	0,118	-	-	0,757	0,029	-
Midilli <i>et al.</i> (2002)	55	0,999	0,018	0,015	0,996	-0,000	0,814	0,011	-
	65	0,998	0,044	0,030	1,026	0,000	0,920	0,009	-
	75	0,994	0,673	0,058	0,996	0,000	0,835	0,022	-
Henderson & Pabis (1961)	55	0,996	0,653	0,072	0,955	-	-	0,004	-
	65	0,997	1,929	0,098	0,993	-	-	0,006	-
	75	0,978	7,656	0,202	0,916	-	-	0,008	-
Dois termos	55	0,999	0,011	0,016	0,088	0,904	-	0,042	0,004
	65	0,999	0,040	0,025	0,285	0,740	-	0,015	0,004
	75	0,992	0,581	0,070	0,122	0,835	-	0,000	0,012
Aproximação da difusão	55	0,999	0,016	0,020	0,091	0,082	-	0,050	0,050
	65	0,998	0,305	0,042	0,556	0,360	-	0,009	0,009
	75	0,991	1,392	0,089	0,287	0,157	-	0,040	0,040

Tabela 2. Avaliação dos parâmetros estatísticos para secagem em leito fixo convectivo com circulação de ar paralela à amostra

Modelo matemático	T (°C)	R ²	EMR (%)	EME	Parâmetros dos modelos matemáticos				
					a	b	n	k	k1
Page (1949)	55	0,999	1,373	0,041	-	-	1,083	0,006	-
	65	0,999	8,721	0,047	-	-	1,174	0,006	-
	75	0,998	11,10	0,082	-	-	1,234	0,006	-
Midilli <i>et al.</i> (2002)	55	0,999	0,825	0,020	0,987	0,000	1,106	0,006	-
	65	0,999	0,709	0,024	0,988	0,000	1,214	0,005	-
	75	0,998	0,334	0,043	0,978	0,000	1,299	0,004	-
Henderson & Pabis (1961)	55	0,998	7,447	0,071	1,017	-	-	0,010	-
	65	0,996	11,05	0,107	1,044	-	-	0,014	-
	75	0,992	20,64	0,151	1,052	-	-	0,016	-
Dois termos	55	0,998	7,447	0,041	0,509	0,509	-	0,010	0,010
	65	0,996	11,05	0,062	0,522	0,522	-	0,014	0,014
	75	0,992	20,64	0,087	0,526	0,526	-	0,016	0,016
Aproximação da difusão	55	0,999	0,305	0,022	-17,01	0,976	-	0,014	0,014
	65	0,999	9,568	0,030	-71,38	0,992	-	0,023	0,023
	75	0,998	9,204	0,056	-186,8	0,996	-	0,028	0,028

Da análise dos dados sumarizados na Tabela 2, em especial os valores obtidos para os parâmetros estatísticos (R², EMR e EME), constata-se que o modelo de Midilli *et al.* (2002), para todas as temperaturas em estudo, foi o que melhor representa a secagem da açairana no secador de leito fixo com circulação de ar forçada paralela a camada de sólidos. Resultados semelhantes são relatados nos trabalhos de Sampaio *et al.* (2015) que trabalharam com a cinética de secagem de frutos de caqui (*Diospyros kaki*), fruto com alto teor de umidade, e, diferentemente do obtido por Zielinska *et al.* (2016), que estudaram a secagem convectiva de ar quente de mirtilos (*Vaccinium corymbosum* L.), espécie com características semelhantes à açairana, pois constataram que o modelo Henderson & Pabis foi adequado na descrição do processo de secagem.

4. CONCLUSÕES

A cinética de secagem dos frutos de açairana é função direta da temperatura do ar e do tempo de secagem, sendo descritas matematicamente pelos modelos de Page (1949) e de Midilli *et al.* (2002) para a secagem em leito fixo com circulação de ar forçada ascendente e paralela, respectivamente. Constatou-se que o equilíbrio termodinâmico entre o material e o ar atmosférico foi alcançado em aproximadamente 235 min de secagem, na temperatura de 75°C para a secagem com ar ascendente e em cerca de 185 min nas temperaturas de 65 e 75 °C com ar em paralelo aos sólidos. Constata-se que é possível secar os frutos de açairana mantendo-se de forma satisfatória as características desejadas do produto (umidade final), necessitando com isso continuar os estudos de secagem avaliando os princípios bioativos da açairana após a secagem nas condições estabelecidas neste trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- FORZZA, R. C.; BAUMGRATZ, J. F.; BICUDO, C.E.M.; CARVALHO JUNIOR, A.; COSTA, A.; COSTA, D. P.; HOPKINS, M. J. G.; LEITMAN, P.; LOHMANN, L. G.; MAIA, L. C.; MARTINELLI, G.; MENEZES, M.; MORIM, M. P.; COELHO, M. N.; PEIXOTO, A. L.; PIRANI, J. R.; PRADO, J.; QUEIROZ, L.P.; SOUZA, V. C.; STEHMANN, J.; SYLVESTRE, L.; WALTER, B.M.T.; ZAPPI, D. Catálogo das Plantas e Fungos do Brasil. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio & Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010, v. 1 e 2. p.1699.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *J. Food Eng.*, v.66, n.4, p.513-18, 2005.
- PEÇANHA JÚNIOR, F. B. Notas sobre a Fenologia e Visitantes Aorais de *Miconia ciliata* (Rich.) DC. (Melastomataceae). *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Ciências Naturais*, v.1. n.2. p. 57-60. maio-ago. Belém, 2005.
- RADÜNZ, L.L.; MELO, E.C.; MARTINS, P.M. Secagem de alecrim pimenta (*Lippiasidoides Cham.*) em secador de leito fixo. *Rev. Bras. Plant. Med.* 5: 79-82, 2002.
- SAMPAIO, R.M.; NETO, J.P.M.; PEREZ, V.H.; MARCOS, S.K.; BOIZAN, M.A.; SILVA, L.R. Mathematical modeling of drying kinetics of persimmon fruits (*Diospyros kaki* CV. FUYU). *J. Food Process. Pres.*, 2015.
- STRUMILLO, C.; KUDRA, T. Drying: principles, applications and design. *Switzerland: Gordon and Breach Science Publishers*. 1986.
- VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 28, n. 2, p. 387-394, 2008.
- ZIELINSKA, M.; SADOWSKI, P.; BŁASZCZAK, W. Combined hot air convective drying and microwave-vacuum drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.): Drying kinetics and quality characteristics. *Dry. Technol.*, v.34, n.6, p.665-684, 2016.