

ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS CASCAS DE BANANAS DAS VARIEDADES NANICA E PRATA

P. O. R. BERTO¹, J. C. DALCOLLE¹, L. A. FERREIRA¹, C. A. CANCIAM², N. C. PEREIRA¹ e M. F. VIEIRA¹

¹ Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa, Departamento Acadêmico de Engenharia Química

E-mail para contato: pauloodone.rb@gmail.com

RESUMO – A cinética de secagem é importante para o dimensionamento e otimização de uma planta industrial de secagem. O objetivo desse trabalho foi estudar a cinética de secagem de cascas de bananas das variedades nanica e prata para posterior uso como bioadsorvente. Foram realizadas secagens a 40, 50, 60, 70 e 80°C. Observou-se que o tempo necessário para a secagem variou de 90 min, para a secagem a 80°C, até 330 min, para a secagem a 40°C. Constatou-se que a variedade da fruta não interferiu na cinética de secagem. Dentre os modelos matemáticos estudados, o modelo Logarítmico foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais na maioria das secagens realizadas.

1. INTRODUÇÃO

A banana é uma das frutas mais consumidas em regiões tropicais e subtropicais (Alkarkhi *et al.*, 2011) e também uma das frutas mais importantes no mundo, levando-se em conta a produção e a comercialização. Para alguns países, corresponde a um produto de exportação responsável por uma parte muito significativa da receita relativa à exportação agrícola (Fioravanço, 2003).

A casca de banana representa de 47 a 50% do peso total da fruta madura. Segundo Cruz *et al.* (2009), a casca de banana não apresenta aplicações de ordem industrial, sendo utilizada esporadicamente na alimentação animal.

A casca de banana pode ser processada e convertida em bioadsorvente, apresentando grande potencial de adsorção, pois apresenta elevada área superficial, grande capacidade de intumescimento e excelente resistência mecânica (Annadurai *et al.*, 2002).

Em estudos reportados na literatura, os bioadsorventes, em relação aos adsorventes sintéticos, são de origem natural, e por se tratarem de resíduos agrícolas, não apresentam valor comercial (Vaghetti *et al.*, 2002).

Cascas de banana secas e moídas foram empregadas como bioadsorvente na remoção de íons Pb^{+2} , Cd^{+2} e Cr^{+4} (Anwar *et al.*, 2010; Memon *et al.*, 2009). Também foram utilizadas na remoção de metais pesados, como Cu^{+2} , Zn^{+2} , Co^{+2} e Ni^{+2} (Annadurai *et al.*, 2002).

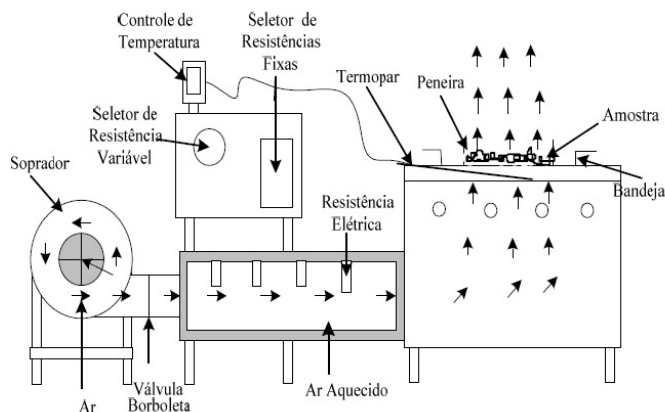
A secagem de materiais orgânicos consiste na remoção da umidade excessiva contida na estrutura do material por meio da evaporação, comumente utilizando convecção forçada de ar aquecido, visando permitir a manutenção de sua qualidade durante o armazenamento por longos períodos (Almeida *et al.*, 2009). No caso da produção de bioadsorventes, o processo de secagem, além de evitar a degradação do produto, permite que os poros do material estejam livres para que ocorra a adsorção.

Neste sentido, o objetivo desse trabalho foi determinar experimentalmente as curvas de secagem para as cascas de banana das variedades nanica e prata e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, em função da temperatura do ar de secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As bananas foram adquiridas no comércio local. Suas cascas foram cortadas em quadrados de aproximadamente 2x2 cm e secadas em um módulo experimental disponível no Laboratório de Engenharia Química 2 da Universidade Estadual de Maringá. O módulo consiste em um secador convectivo de fluxo de ar ascendente, aquecido por meio de resistências elétricas, com vazão ajustada. A bandeja é de fundo telado com dimensões 46x46 cm. O ar aquecido passa pela amostra em sentido perpendicular a mesma, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Módulo experimental de secagem convectiva



A secagem das cascas foi realizada com velocidade de ar constante de $(1,3 \pm 0,2) \text{ m.s}^{-1}$ e as temperaturas do ar aquecido foram de 40, 50, 60, 70 e 80°C. Para cada uma das temperaturas do ar aquecido foram utilizadas em torno de 200g de cascas de bananas nanica e prata. Cada variedade de casca de banana foi colocada em uma peneira laboratorial, Tyler 12, com 20,0 cm de diâmetro. A cada secagem, duas peneiras eram dispostas na bandeja de secagem, uma com as cascas de banana nanica e outra com cascas de banana prata. A área restante na bandeja foi preenchida com papelão de modo que todo ar aquecido passasse pelas amostras a serem secas.

Durante cada secagem, as amostras foram pesadas, em balança analítica com precisão de 0,01g. A primeira medição da massa de banana nanica foi feita com 2 min de secagem, enquanto que para a casca de banana prata foi com 3 min. Após isso, a cada 2 min foram

realizadas as pesagens das massas das cascas durante a secagem até que se atingisse o equilíbrio mássico. Cada pesagem levou em torno de 10 s. Para que o efeito das condições ambientais seja o mesmo durante o processo de secagem, as secagens das cascas de banana nanica e prata foram realizadas simultaneamente.

Para obtenção da massa seca (m_{seca}) empregou-se o método do peso constante em estufa a 105°C por um período de 24 horas, em triplicata. A Equação 1 determina a umidade em base seca (X).

$$X = (m_{úmida} - m_{seca}) / m_{seca} \quad (1)$$

A Equação 2 indica a umidade adimensional (Y). As curvas de secagem para cada temperatura estudada serão dadas pelo gráfico da umidade adimensional *versus* o tempo (Coelho e Pinto, 2011).

$$Y = X(t) / X_0 \quad (2)$$

Nesse trabalho foram considerados os modelos de Newton e Lawis (Equação 3), Page (Equação 4), Henderson e Pabis (Equação 5), Logarítmico (Equação 6), Dois Termos (Equação 7) e Henderson e Pabis Modificado (Equação 8). Essas equações foram sugeridas por Ndapeu *et al.* (2013).

$$Y = \exp(-k \cdot t) \quad (3)$$

$$Y = \exp(-k \cdot t^n) \quad (4)$$

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

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

$$Y = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t) \quad (7)$$

$$Y = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-g \cdot t) + c \cdot \exp(-h \cdot t) \quad (8)$$

Com base nos dados experimentais e nas Equações 3, 4, 5, 6, 7 e 8 foi utilizado o programa OriginPro 8.0 para determinar os parâmetros dos modelos a partir da análise de regressão não linear. Considerou-se como critério estatístico, o coeficiente de determinação (R^2), ou seja, quanto mais próximo da unidade for esse coeficiente, melhor é o ajuste do modelo aos dados experimentais. No caso de mais de um modelo apresentar o mesmo valor de coeficiente de determinação, serão calculadas a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e a raiz quadrada dos erros (SSE). De maneira que, quanto menor esses parâmetros, melhor é o ajuste do modelo em relação aos dados experimentais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade inicial, em base seca, para as cascas de banana nanica foi de $(9,4448 \pm 0,2077)$ g água/ g massa seca. Para as cascas de banana prata, a umidade inicial, em base seca, foi de $(7,5087 \pm 0,1596)$ g água/ g massa seca.

A Figura 2 ilustra as curvas de secagem para as cascas de banana da variedade nanica, enquanto que a Figura 3, para a variedade prata.

Figura 2 – Curvas de secagem de casca de banana nanica

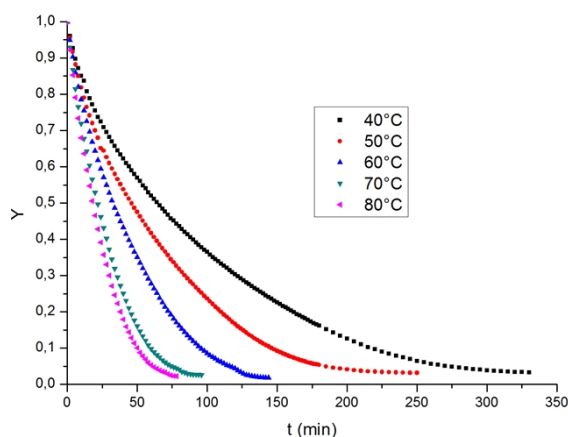
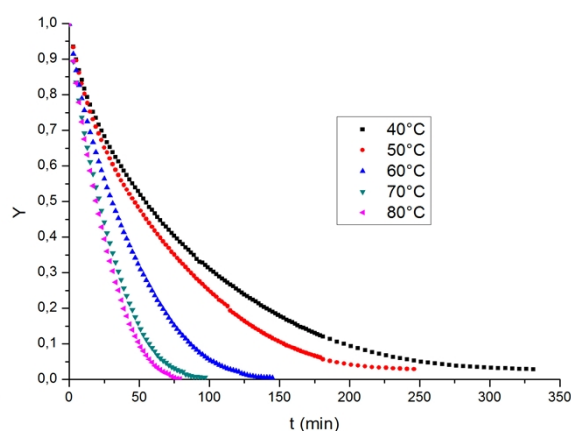


Figura 3- Curvas de secagem de casca de banana prata



Nessas figuras, observa-se que a cinética de secagem foi fortemente influenciada pela temperatura. Os resultados constataam que a aplicação de uma temperatura mais elevada reduziu significativamente o tempo de secagem. Altas taxas de secagem são alcançadas quando se eleva a temperatura do ar, pois ocorre um aumento no coeficiente de difusão da umidade.

As Tabelas 1 e 2 relacionam, respectivamente, os coeficientes de determinação dos modelos estudados para os dados experimentais de secagem das cascas das variedades nanica e prata.

Tabela 1 – Coeficientes de determinação (R^2) para a variedade nanica

Modelo	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
Newton e Lawis	0,9915	0,9952	0,9951	0,9948	0,9941
Page	0,9961	0,9960	0,9963	0,9983	0,9983
Henderson e Pabis	0,9974	0,9970	0,9951	0,9955	0,9950
Logarítmico	0,9977	0,9976	0,9992	0,9982	0,9986
Dois Termos	0,9973	0,9969	0,9950	0,9953	0,9947
Henderson e Pabis Modificado	0,9973	0,9969	0,9948	0,9951	0,9944

Observa-se na Tabela 1 que o modelo Logarítmico apresentou o maior valor para o coeficiente de determinação nas temperaturas de secagem de 40, 50, 60 e 80°C; indicando que

para essas temperaturas de secagem, o modelo Logarítmico ajustou-se melhor aos dados experimentais. Na temperatura de secagem de 70°C, o modelo de Page apresentou o maior valor para o coeficiente de determinação.

Tabela 2 – Coeficientes de determinação (R^2) para a variedade prata

Modelo	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
Newton e Lawis	0,9903	0,9939	0,9926	0,9900	0,9863
Page	0,9977	0,9957	0,9951	0,9959	0,9962
Henderson e Pabis	0,9980	0,9970	0,9927	0,9911	0,9888
Logarítmico	0,9980	0,9978	0,9986	0,9978	0,9983
Dois Termos	0,9979	0,9970	0,9925	0,9907	0,9882
Henderson e Pabis Modificado	0,9979	0,9969	0,9922	0,9903	0,9875

Na Tabela 2, o modelo Logarítmico apresentou o maior valor para o coeficiente de determinação nas temperaturas de secagem de 50, 60, 70 e 80°C; indicando que para essas temperaturas de secagem, o modelo Logarítmico ajustou-se melhor aos dados experimentais. A 40°C, os modelos de Henderson e Pabis e Logarítmico obtiveram o mesmo valor para o coeficiente de determinação. Para o modelo de Henderson e Pabis, a raiz do erro quadrático médio (RMSE) foi igual a $1,0982 \times 10^{-2}$ e a raiz quadrada dos erros (SSE) foi de $1,2260 \times 10^{-4}$. Para o modelo Logarítmico, a raiz do erro quadrático médio foi de $1,0982 \times 10^{-2}$ e a raiz quadrada dos erros equivalente a $1,2360 \times 10^{-4}$. Dessa forma, os resultados indicam que para a temperatura de 40°C, o modelo de Henderson e Pabis ajusta-se melhor aos dados experimentais.

Aplicando um teste t para comparação dos valores do coeficiente de determinação constatou-se que nas Tabelas 1 e 2 os valores do coeficiente de determinação não apresentam diferença significativa ao nível de 5% de significância.

A Tabela 3 relaciona as constantes encontradas pela análise de regressão não linear para os modelos matemáticos que melhor se ajustaram aos dados experimentais.

Tabelas 3 – Constantes dos melhores modelos ajustados aos dados experimentais

Variedade (Temperatura)	a	b	k	n	Modelo
Nanica (40°C)	0,93213	$-5,49742 \times 10^{-5}$	0,00941	---	Logarítmico
Prata (40°C)	0,92568	---	0,01113	---	Henderson e Pabis
Nanica (50°C)	0,95286	$-8,2647 \times 10^{-5}$	0,01396	---	Logarítmico
Prata (50°C)	0,94004	$-9,98725 \times 10^{-5}$	0,01328	---	Logarítmico
Nanica (60°C)	0,97982	$-3,69131 \times 10^{-4}$	0,02006	---	Logarítmico
Prata (60°C)	0,98285	$-3,97468 \times 10^{-4}$	0,02196	---	Logarítmico
Nanica (70°C)	---	---	0,02361	1,10909	Page
Prata (70°C)	1,00352	$-6,38627 \times 10^{-4}$	0,03277	---	Logarítmico
Nanica (80°C)	1,00826	$-6,20886 \times 10^{-4}$	0,03872	---	Logarítmico
Prata (80°C)	1,01313	$-1,03 \times 10^{-3}$	0,03614	---	Logarítmico

4. CONCLUSÃO

A cinética de secagem das cascas de bananas das variedades nanica e prata são fortemente influenciadas pela temperatura do ar aquecido. Os resultados indicam que a aplicação de uma temperatura mais elevada reduziu significativamente o tempo de secagem.

Observou-se que o tempo necessário para a secagem das cascas das variedades nanica e prata variou de 90 min (para o ar aquecido a 80°C) a 330 min (para o ar aquecido a 40°C).

O modelo Logarítmico foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais na maioria das secagens realizadas.

5. REFERÊNCIAS

- ALKARKHI, A. F. M.; RAMLI, S.; YONG, Y. S.; EASA, A. M.; Comparing physicochemical properties of banana pulp and peel flours prepared from green and ripe fruits. *Food Chemistry*, v. 129, p. 312-318, 2011.
- ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C.; SALES, J. F. Cinética de secagem do feijão adzuki. *Global Science and Technology*, v. 2, p. 72–83, 2009.
- ANNADURAI, G.; JUANG, R. S.; LEE, D. J.; Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels. *Water Science and Technology*, v. 47, p. 185-190, 2002.
- ANWAR, J.; SHAFIQUE, U.; ZAMAN, W. U., SALMAN, M.; DAR, A.; ANWAR, S. Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 1752–1755, 2010.
- COELHO, K. D.; PINTO, L. A. A. Caracterização da secagem convectiva de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) em camada delgada. *Vetor*, v. 21, p. 5-21, 2011.
- CRUZ, M. A. R. F. da Utilização da casca de banana como bioissorvente. 67p., Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.
- FIORAVANÇO, J. C. Mercado mundial de banana: produção, comércio e participação brasileira. *Informações Econômicas*, v. 33, n. 10, 2003.
- MEMON, J.R.; MEMON, S.Q. BHANGER, M.I.; EL-TURKI, A.; HALLAM, K.R.; ALLEN, G.C. Banana peel: A green and economical sorbent for the selective removal of Cr (VI) from industrial wastewater. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 70, p. 232-237, 2009.
- NDAPEU, D.; NJEUGNA, E.; BISTAC, S. B.; DREAN, J. Y.; FOGUE, M.; FOBA, J. N. Experimental study of the drying kinetics of the coconut of Cameroon. *Materials Sciences and Applications*, v. 4, p. 822-830, 2013.
- VAGHETTI, J. C. P. Utilização de bioissorventes para remediação de efluentes aquosos contaminados com íons metálicos. 99p., Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.