

## *CINÉTICA DE SECAGEM EM CAMADA FINA DA BANANA VERDE (Musa spp.)*

*J. D. COSTA<sup>1</sup>, A. S. SILVA<sup>2</sup> e G.M.V. MARTINS<sup>3</sup>*

*<sup>1, 2, 3</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal, Unidade Acadêmica de Agronomia e Tecnologia de Alimentos.*

*E-mail para contato: georgiana.82@gmail.com.br*

*RESUMO – A banana (Musa spp.) fornecer quantidades significativas de vitaminas A e B, potássio e outros minerais. Existe muito interesse na criação de novos produtos a partir da banana com o objetivo de minimizar os desperdícios podendo enriquecer ao mesmo tempo outros alimentos. O objetivo foi de estudar a cinética de secagem da banana verde (Musa spp.) para obtenção de um extrato seco que possa vir a ser utilizado como suplemento alimentar, em estufa de circulação de ar, utilizando-se de planejamento experimental fatorial. A temperatura (50 a 70 °C) e a espessura (2 a 4 mm) são as variáveis do processo. Os modelos avaliados foram os da aproximação da difusão e Midilli. Como critério de avaliação destes utilizou-se o coeficiente de determinação e o desvio quadrático médio. Mediante os resultados obtidos observou-se que o aumento da temperatura diminuiu o tempo de secagem da banana verde. Dentre os modelos aplicados o de Midilli apresentou os maiores valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e os menores valores de DQM para a faixa de temperatura estudada.*

### *1. INTRODUÇÃO*

*A banana (Musa spp.) é um dos frutos mais cultivados em todo o mundo. Segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), o Brasil no ano de 2013 estava na 5ª posição no ranking dos maiores produtores mundiais de banana depois da Índia, China, Filipinas e Equador. O cultivo é realizado em todas as regiões do País, sendo que nesse ano a região que apresentou maior taxa de produção é o Nordeste, com 2. 748.646 toneladas e a cidade que apresentou a maior taxa de produção foi o Ceará com 440,810 toneladas e em segundo lugar ficando a Paraíba com 175.721 toneladas (IBGE, 2014).*

*Por apresentar um amadurecimento muito rápido, a banana apresenta uma quantidade de perdas pós-colheita muito elevada. Há dados que demonstram que até 40% da produção é perdida do período da colheita até a chegada do produto à mesa do consumidor (CAMPOS, VALENTE, PEREIRA, 2003).*

*Deste modo, é necessária a descoberta de alternativas que diminuam essas perdas. Uma alternativa que vem sendo estudada é a desidratação. O método mais comum é a secagem por convecção forçada (PONTES, 2009). A obtenção da cinética de secagem é de fundamental importância para a modelagem matemática da operação e para elaboração do projeto de secadores. É através deste estudo que se estabelecem as equações da umidade em função do tempo de secagem para os diferentes períodos e taxas de secagem. O estudo e a modelagem matemática tem despertado o interesse de vários pesquisadores para os mais diversos produtos Sousa et al.( 2011 ).*

*O objetivo desse trabalho é desidratar banana verde prata (Musa ssp.) em rodela com espessuras diferentes para estudar o processo de secagem, em estufa com circulação de ar, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C e estudar o ajuste de modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais.*

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

*O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Produtos Hortícolas – TPH e Laboratório de Análise de Alimentos do Centro de Ciências e Tecnologia de Alimentos – CCTA da Universidade Federal de Campina Grande –UFCG, Campus Pombal /PB.*

*Como matéria prima utilizou-se a banana verde cultivar Prata, proveniente do mercado público da cidade de Pombal-PB. As pencas de bananas foram selecionada em tamanho uniforme e no estado de maturação I de acordo com Li et al.(1997). As bananas foram lavadas, sanitizadas, descascadas e fatiadas em rodela, com facas de aço inox, nas espessuras de 2; 3; e 4 mm. Logo em seguida as amostras, depois de identificadas, foram dispostas em bandejas metálicas e encaminhadas para a estufa de circulação de ar. A secagem das amostras foi realizada em uma estufa de circulação de ar, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, seguindo um planejamento de experimento.*

*A Tabela 1 apresenta a matriz de planejamento fatorial  $2^2$ , totalizando em 7 experimentos, dentre os quais 4 ensaios distintos e mais 3 no ponto central, que são 3 ensaios idênticos com uma das finalidades de verificar a reprodução dos ensaios (verificação dos erros).*

*Tabela 1 - Matriz do Planejamento completo  $2^2 + 3$  para secagem convectiva da banana prata verde*

Ensaio	Temperatura (codificada)	Espessura (codificado)	Temperatura (real, °C)	Espessura (real, mm)
1	-1	-1	50	2
2	+1	-1	70	2
3	-1	+1	50	4
4	+1	+1	70	4
5	0	0	60	3
6	0	0	60	3
7	0	0	60	3

O teor de água inicial foi determinado pelo método padrão da estufa a  $105 \pm 3$  °C, utilizando três sub-amostras de 10 g da banana verde acondicionados em recipientes de vidro, onde permaneceram durante 24 h. Após esse período, foram retirados da estufa, resfriados em dessecador durante 15 minutos e pesados em balança analítica com precisão de 0,0001.

O teor de água inicial do produto foi determinado pelo método gravimétrico, utilizando-se estufa a  $105 \pm 3$  °C, durante 24 h, até peso constante, em três repetições de acordo com (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

As amostras com teor de água inicial de  $60,75 \pm \%$  (b.u), foram secas em camada fina em uma estufa com circulação forçada de ar, ajustado para operar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. O experimento foi realizado em triplicata, sendo as pesagens das rodela de banana verde realizadas em balança semi-analítica até obtenção do equilíbrio.

O teor de água de equilíbrio foi determinado através de pesagens consecutivas realizadas seguindo intervalos de tempo, iniciando-se a cada 10 minutos até que as amostras atingissem o equilíbrio. Após a obtenção das massas, calculou-se o teor de água em base úmida, em base seca e a razão de teor água para as amostras em cada temperatura e intervalo de tempo.

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional razão de teor de água (RX). Para determinação da razão de teor de água da banana verde para as diferentes condições de secagem foi utilizada a seguinte equação 1:

$$RX = \frac{x - x_e}{x_0 - x_e} \quad (1)$$

em que:  $RX$  - razão de umidade ou umidade adimensional ;  $X$  - umidade absoluta,  $bu$  ;  $Xo$  - umidade inicial,  $bu$  e  $Xe$  - umidade de equilíbrio,  $bu$ .

A análise e a representação dos dados experimentais do processo de secagem foram realizadas utilizando-se os modelos da aproximação da difusão e Midilli. Os parâmetros dos modelos utilizados foram obtidos mediante aplicação dos dados experimentais ao pacote de análise utilizando-se a análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, empregando-se o programa computacional Statistica 5.0®.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e desvio quadrático médio (DQM).

As Equações 2 e 3 estão representados os modelos matemáticos para secagem em camada fina:

Aproximação da difusão

$$RU = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt) t \quad (2)$$

Midilli

$$RU = a \exp(-kt^n) + bt \quad (3)$$

Onde,

$RU$  - razão de teor de água;  $a$ ,  $b$ ,  $n$  - coeficiente dos modelos;  $k$ ,  $k_0$ ,  $k_1$ , constantes de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ); tempo ( $\text{min}$ )

Como critério de seleção do modelo que melhor representa o processo de secagem da banana maçã, utilizou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio quadrático médio (DQM) (Ertekin & Yaldiz, 2004), em que quanto menor o valor de DQM melhor é a representação do modelo.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se, na Figura 1, as curvas de secagem para os experimentos realizados da matriz experimental.

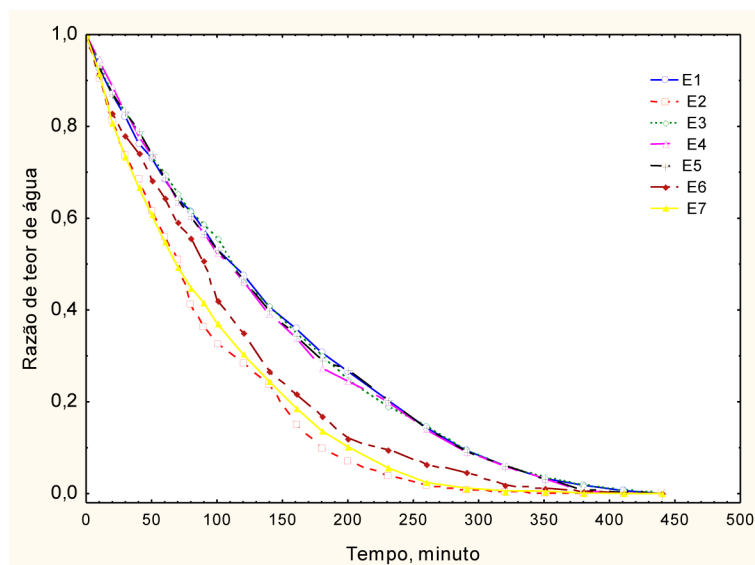


Figura 1 - Curvas da razão de teor de água (RU) em função do tempo para as secagens da matriz experimental. E1 = 50°C e 2mm ; E2 = 70°C e 2mm ; E3 = 50°C e 4mm; E4 = 70°C e 4mm; E5 = 60°C e 3mm; E6 = 60°C e 3mm; E7 = 60°C e 3mm.

Analisando as curvas de razão de teor de água, demonstrada na Figura 1, verifica-se que o aumento da temperatura favorece o processo de transferência de energia na forma calor para as amostras, consequentemente diminuindo o tempo necessário para a fruta atingir o equilíbrio, o mesmo comportamento foi observado por Doymaz (2005), Kaleemullah e Kailappan (2006), e Wang et al. (2007) e Santos et al. (2010).

Além disso, o processo de secagem ocorre na ausência do período da taxa constante de secagem, o que sugere o processo de difusão de umidade, do interior do produto para a superfície do mesmo, como o mecanismo físico predominante ao longo do processo. Concordantes com essa observação encontram-se os estudos realizados por Silva et al. (2009), para a secagem de banana maçã.

Conforme os resultados (Figura 1) verifica-se que o incremento na espessura apresenta efeito contrário na taxa de secagem, quando comparado com o aumento da temperatura, ou seja, a

taxa de secagem diminui com o aumento da espessura, efeito corroborando com os resultados de Silva et al. (2009), estudando a secagem da banana maçã em um secador de leito fixo.

Nas Tabelas 2 e 3, encontram-se os coeficientes das equações dos modelos da aproximação da difusão e Midilli, obtidos por regressão não linear, estimados pelo Método de Quase – Newton, utilizando o programa STATISTICA 5.0.

Nas Tabelas 2 a 3 são apresentados os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ , em %) e os desvios quadráticos médios (DQM, em decimal) para os modelos analisados (modelos da aproximação da difusão e Midilli) para as secagens da matriz experimental.

*Tabela 2. Parâmetros do modelo da aproximação da difusão obtidos através dos dados experimentais*

Ensaio	T(°C)	Espessura (mm)	A	b	k (min <sup>-1</sup> )	R	R <sup>2</sup>	DQM
1	50	2	0,9817	0,5189	0,0026	0,9991	0,9982	0,0023
2	70	2	0,9781	0,6491	0,0308	0,9989	0,9979	0,0024
3	50	4	0,9813	0,5423	0,0254	0,9993	0,9987	0,0021
4	70	4	0,9836	0,6033	0,0223	0,9990	0,9981	0,0023
5	60	3	0,9829	0,5672	0,0236	0,9981	0,9963	0,0032
6	60	3	0,9725	0,5072	0,0371	0,9983	0,9967	0,0029
7	60	3	0,9880	0,6106	0,0296	0,9993	0,9986	0,0019

*Tabela 3 - Parâmetros da Equação de Midilli e Kucuk obtidos através dos dados experimentais*

Ensaio	T(°C)	Espessura (mm)	a	b	k (min <sup>-1</sup> )	n	R	R <sup>2</sup>	DQM
1	50	2	0,9989	-0,0002	0,0048	1,0371	0,9995	0,9989	0,0017
2	70	2	0,9831	-0,00003	0,0051	1,1567	0,9989	0,9978	0,0026
3	50	4	0,9842	-0,0001	0,0035	1,1072	0,9995	0,9991	0,0016
4	70	4	0,9971	-0,0001	0,0044	1,0736	0,9997	0,9995	0,0012
5	60	3	0,9989	-0,0002	0,0048	1,0371	0,9995	0,9989	0,0017
6	60	3	0,9831	-0,00003	0,0051	1,1567	0,9989	0,9978	0,0026
7	60	3	0,9842	-0,0001	0,0035	1,1072	0,9995	0,9991	0,0016

Conforme pode ser observado nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que os modelos da aproximação da difusão e Midilli, apresentam ajustes com elevados coeficiente de determinação

( $R^2$ ) superiores a 99% e baixos valores de desvios de quadráticos médios (DQM, em decimal) inferiores a 0,0032. Semelhantemente, Santos et al. (2010), ao estudar a influência de diferentes pré-tratamentos na cinética de secagem de banana da variedade Terra, o modelo de Midilli e Kucuk foi o que melhor se ajustou aos dados observados. Menges e Ertekin (2006) ao analisarem a cinética de secagem de maçãs douradas verificam que o modelo de Midilli e Kucuk ajustou-se com elevados valores de coeficiente de determinação. Com os modelos aplicados de Aproximação da difusão, Corrêa et al. (2010) e o de Midilli et al. (2002), Sousa et al. (2011), obtiveram os maiores valores de  $R^2$  e menores valores de DQM, ao ajustarem estes modelos à curva de secagem de polpa de Oiti nas temperaturas de 50, 60 e 70°C em estufa com circulação forçada de ar. Por outro lado, Silva et al. (2009) ao estudar a secagem em camada fina da maçã em secador de leito fixo, os modelos que melhor representaram o processo de secagem foi o de Henderson e Pabis e o Exponencial 2 termos. Já Borges et al. (2010) ao estudar a secagem de banana prata d'água por convecção em um mini secador de bandeja, o modelo que melhor representou foi o exponencial. No estudo de Alexandre et al. (2013) a cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido em leito e estático ajustaram aos dados experimentais os modelos de Page, Henderson & Pabis e Lewis.

#### 4. CONCLUSÕES

As equações de Midilli et al. (2002) e aproximação da difusão representaram satisfatoriamente os dados experimentais para a descrição da cinética de secagem da farinha de banana verde com coeficientes de determinação superiores a 99%. O tempo de secagem reduziu de forma mais rápida com o aumento da temperatura do ar de secagem.

#### 5. REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, H.V.; SILVA, F.L.H.; GOMES, J.P.G.; SILVA, O.S.; CARVALHO, J.P.D.; LIMA, E.E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. *Revist. Br. de Eng. Agríc. e Amb.* v.17, n.6, p.640–646, 2013.

BORGES, S.V.; MANCINI, M.C.; CORRÊA, J.L.G.; LEITE, J. Secagem de bananas prata e d'água por convecção forçada. *Ciênc. Tec. Alimentos, Campinas*, jul.-set. 2010.

CAMPOS, R.P; VALENTE, J.P; PEREIRA, W. E. Conservação pós-colheita de banana cv. *Revis. Bras. de Frutic.*, v. 25, n.1, p. 172-174, abr. 2003.

CORRÊA, P. C.; Oliveira, G. H. H.; Botelho, F. M.; Goneli, A. L. D.; Carvalho, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Revist Cer*, v.57, p.595-601, 2010.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. *Journal of Food Engineering*, v. 69, n. 2, p.161-165, 2005.

ERTEKIN, C., & YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, p.63, 2004.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. Rio de Janeiro v.25 n.02 p.1-84 fev. 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo, 533 p. 1985.

KALEEMULLAH S.; KAILAPPAN R. Modelling of thin-layer drying kinetics of red chillies, *Journal of Food Engineering*, v. 76, n. 4, p. 531–537, 2006.

LI, M.; SLAUGHTER, D.C.; THOMPSON, J.S . Optical chlorophyll sensing system for banana ripening. *Postharvest Biology and Technology*, 12, 1997.

MENGES, H. O.; ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. *Journal of Food Engineering*, v. 77, n. 1, p. 119–125, 2006.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. *Drying Technology*, v.20, p. 1503–1513, 2002.

PONTES, S. F. O; CARNEIRO, J. C. S; BONOMO, P; CHAVES, M. A. Processamento e qualidade de banana da terra (*musa sapientum*) desidratada. Dissertação (Mestrado em Engenharia de processos de alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 86 p. 2009.

SANTOS, P.; SILVA, F.S.; PORTO, A.G. SILVA, F.T.C.; FURTADO, G.F. Influência de pré-tratamentos na cinética de secagem em diferentes temperaturas de banana da variedade terra (*musa sapientum*, linneo). *Rev. Bra. de Tec. Agro.* v. 04, n. 02: p. 218-234, 2010.

SILVA, A.S.; Melo, K.S.; ALVES,N.M.C.; FERNANDES;T.K. S.T.;FARIAS, P.A.F. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. *Rev. Bra. de Prod. Agro., Campina Grande*, v.11, n.2, p.129-136, 2009.

SOUSA, F.C.; SOUSA, E.P.; SILVA,.; MARTINS, L.M.M.; GOMES, J.J.A; ROCHA, A.T.R. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. *Rev. Ed. Agríc. Sup.* v.26, n.2, p.108-112, 2011.

WANG, Z.; SUN, J.; LIAO, X.; CHEN, F.; ZHAO, G.; WU, J.; HU, X. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, v. 40, n. 01, p. 39–46, 2007.