

# SECAGEM CONVECTIVA DA BANANA PACOVAN NO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO VERDE

J. L. A. CORREIA<sup>1</sup>, R. M. S. SOUZA<sup>2</sup>, F. L. H. SILVA<sup>3</sup>, K. M. de A. dos SANTOS<sup>4</sup>, O. M. MARQUES<sup>5</sup> e V. C. F. PIRES<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

<sup>3</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química

<sup>4</sup> Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

<sup>5</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química

<sup>6</sup> Universidade Estadual da Paraíba, Departamento de Química

E-mail para contato: jackellinecorreia@hotmail.com

**RESUMO** – O Nordeste do Brasil é responsável pela maior produção de bananas do país, com cerca de 2,862 milhões de toneladas em 2012, entretanto, as altas temperaturas da região são responsáveis por expressivas perdas deste fruto *in natura*. Este trabalho apresenta os parâmetros cinéticos envolvidos na secagem convectiva da banana Pacovan no estádio de maturação verde. Foi realizado um planejamento fatorial completo ( $2^2$ ) com número de experimentos de  $2^n + 3$ , resultando em sete tratamentos. As variáveis reais foram temperatura (50; 60 e 70 °C) e espessura (5,0; 7,5 e 10,0 mm) e para análise dos resultados, foi utilizada a metodologia da superfície de resposta. Foram aplicados os modelos de Page e de Henderson & Pabis para os parâmetros cinéticos da secagem. Os modelos foram representativos para cinco dos sete tratamentos. As respostas (teor de água final e tempo de secagem) foram estatisticamente significativas ao nível de 95% de confiança, mediante comparação entre  $F_{calculado}$  e o  $F_{tabelado}$  quando calculado a ANOVA. Para espessura em 5,0 mm e temperatura a 70 °C obtém-se os menores tempos de equilíbrio na secagem.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o quinto maior produtor mundial de banana, com 7,329 milhões de toneladas, atrás do Equador, Filipinas, China e Índia. A região Nordeste é a maior produtora de bananas, com cerca de 2,862 milhões de toneladas e a produção da Paraíba em 2011 foi de 202.791 ton (IBGE, 2012). Este fruto é altamente perecível e extremamente sensível a danos mecânicos e ao etileno, em especial, no estádio de maturação maduro.

A banana é um alimento prebiótico, possui fibras dietéticas e fruto-oligossacarídeos, cujas ações no nosso organismo são a de melhoria na função intestinal, o retardo e esvaziamento gástrico e a diminuição do índice de colesterol sanguíneo. Na banana verde, o principal componente é o amido, podendo corresponder de 55 a 93% do teor de sólidos totais (Bezerra *et al.*, 2013).

A secagem ou desidratação é uma técnica utilizada para a conservação de alimentos onde a extração parcial ou total de água de um alimento implicará na inibição do crescimento microbiano, na prevenção de reações bioquímicas responsáveis pela deterioração, redução de peso e volume, ocasionando em menores custos de transporte, embalagem e estocagem (Ordóñez *et al.*, 2007). A secagem convectiva é uma das mais recomendadas para a banana verde e vários modelos matemáticos são utilizados para a representação do comportamento da secagem de produtos agrícolas, entre eles os de Page (1949) e de Henderson e Pabis (1961), são os modelos empíricos mais utilizados para a representação da secagem de produtos agrícolas (Azoubel *et al.*, 2010; Tribess *et al.*, 2009).

A banana desidratada no estágio de maturação verde tem como produto, após trituração, a farinha de banana verde (FBV) e a industrialização deste produto minimiza as perdas pós-colheita, agrega valor econômico ao seu cultivo podendo ser consumida pura ou incorporada a alimentos (Borges *et al.*, 2009; Leite *et al.*, 2007).

Este trabalho apresenta a secagem convectiva da banana Pacovan, no estágio de maturação verde, onde foram aplicados os modelos de Page e de Henderson & Pabis para os parâmetros cinéticos da secagem.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Matéria- prima e Local de Execução**

A matéria-prima utilizada foi a banana Pacovan (*Musa sapientum*), adquirida no comércio local de frutas do município de Campina Grande (PB), no estágio de maturação verde que foi indicado pela coloração da casca, variando entre totalmente verde e verde com traços amarelos. As bananas foram transportadas até o Laboratório de Análises de Alimentos do Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos (NUPEA), do Departamento de Química, no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba onde foram selecionadas e separadas do engaço manualmente com o auxílio de faca em inox.

Os frutos passaram por um processo de lavagem em água corrente e detergente neutro, sendo eliminadas as sujidades da superfície, sanitizadas por imersão em solução de hipoclorito de sódio na concentração 150 ppm e as cascas foram descartadas. A polpa foi cortada, separadamente, em rodela com diferentes espessuras (5,0; 7,5 e 10 mm) com o uso de faca com ajuste manual de espessura. As fatias foram submetidas a tratamento antioxidante em solução de ácido cítrico e ácido ascórbico, nas concentrações de 1% para cada composto, por cerca de 30 minutos, sendo em seguida escorridas e submetidas a branqueamento por 3 minutos no vapor de água. Após este pré-processo as fatias foram enxutas em papel toalha, dispostas em bandejas de telas e colocadas em estufa com circulação de ar.

As determinações de umidade foram feitas em estufa a 105<sup>0</sup>C, até peso constante e em triplicata, de acordo com a metodologia proposta do Instituto Adolfo Lutz (1985).

## 2.2. Planejamento Experimental Fatorial para Secagem

A desidratação da banana Pacovan verde foi realizada em estufa com circulação de ar definindo-se a temperatura do ar de secagem e a espessura do corte da banana verde como as variáveis de entrada do processo de secagem de acordo com o apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Valores reais e níveis dos fatores do planejamento fatorial completo ( $2^2$ )

| Variáveis        | Níveis |     |      |
|------------------|--------|-----|------|
|                  | -1     | 0   | +1   |
| Temperatura (°C) | 50     | 60  | 70   |
| Espessura (mm)   | 5,0    | 7,5 | 10,0 |

O número de experimentos foi  $2^n + 3$ , onde “n” corresponde ao número de variáveis e o “número três” representa as três repetições no ponto central. A Tabela 2 apresenta a matriz do planejamento dos experimentos.

Tabela 2. Matriz do planejamento dos experimentos

| Ensaio | Temperatura (T) |           | Espessura (E) |           |
|--------|-----------------|-----------|---------------|-----------|
|        | Codificada      | Real (°C) | Codificada    | Real (mm) |
| 1      | -               | 50        | -             | 5,0       |
| 2      | +               | 70        | -             | 5,0       |
| 3      | -               | 50        | +             | 10,0      |
| 4      | +               | 70        | +             | 10,0      |
| 5      | 0               | 60        | 0             | 7,5       |
| 6      | 0               | 60        | 0             | 7,5       |
| 7      | 0               | 60        | 0             | 7,5       |

Os parâmetros: teor de água de equilíbrio, base seca e o tempo de equilíbrio foram as respostas avaliadas estatisticamente. Para a análise dos resultados obtidos, foi utilizada a metodologia da superfície de resposta através do software Statistic for Windows versão 5.0.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento cinético durante a secagem da banana Pacovan verde está representado nas Figuras 1 e 2, que mostra as curvas de secagem sob as diversas condições operacionais de espessuras e temperaturas, conforme planejamento fatorial.

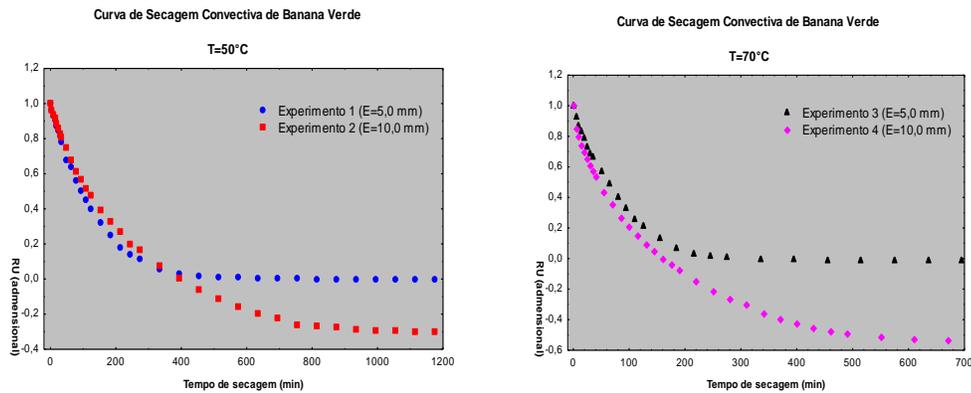


Figura 1 – Curva de secagem da banana verde cv. Pacovan para duas espessuras diferentes nas temperaturas de 50°C e de 70°C

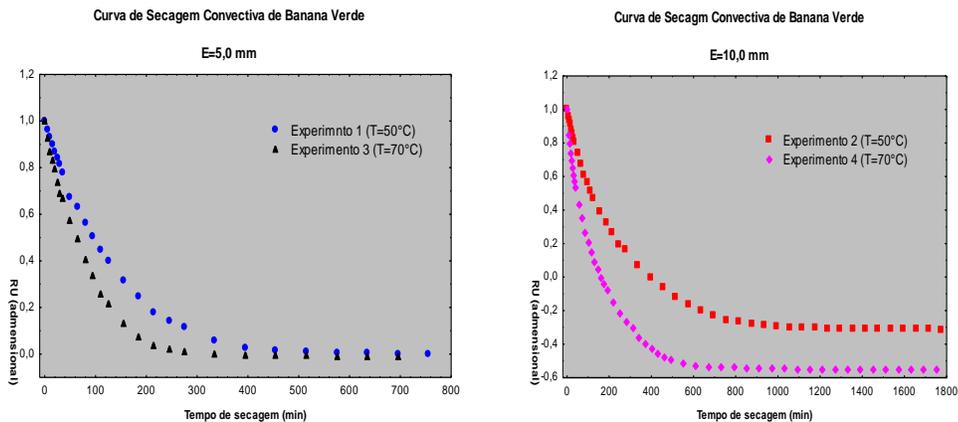


Figura 2 – Curva de secagem da banana verde cv. Pacovan para duas temperaturas diferentes nas espessuras de 5,0 e 10,0 mm

As curvas de secagem mostram que a cinética define bem o processo característico da secagem da banana verde. Na Figura 1, verifica-se que a taxa de secagem aumenta com a diminuição da espessura, portanto o tempo de secagem foi diferente para cada curva de secagem. No entanto, na Figura 2 observa-se que para um mesmo tempo, quanto maior for a temperatura do ar, maior é a taxa de secagem e que a perda do conteúdo de umidade é mais rápida no início do processo de secagem, tendendo a estabilização.

O cálculo dos parâmetros de ajustes e a avaliação do modelo são importantes, uma vez que podem servir para futuro estudo de modelagem e simulação por computador do processo. Os valores destes parâmetros foram calculados utilizando-se os modelos matemáticos de Page e de Henderson & Pabis e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de ajustes e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos modelos de secagem

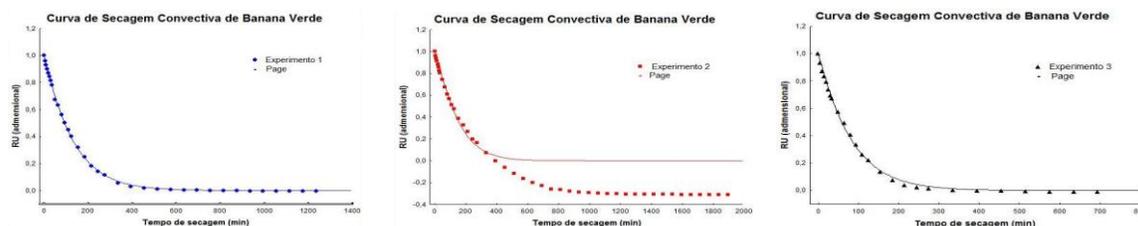
| Modelos | T | E | Parâmetros | $R^2$ | DQM |
|---------|---|---|------------|-------|-----|
|---------|---|---|------------|-------|-----|

|                         | (°C) | (mm) | K      | A      | N      |        |         |
|-------------------------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Page                    | 50   | 5,0  | 0,0056 | -      | 1,0599 | 0,9998 | 0,05191 |
|                         | 50   | 10,0 | 0,0027 | -      | 1,1758 | 0,8998 | 0,44408 |
|                         | 70   | 5,0  | 0,0095 | -      | 1,0549 | 0,9988 | 0,07241 |
|                         | 70   | 10,0 | 0,0115 | -      | 1,1009 | 0,5988 | 0,65778 |
|                         | 60   | 7,5  | 0,0040 | -      | 1,2132 | 0,9562 | 0,28035 |
|                         | 60   | 7,5  | 0,0039 | -      | 1,1350 | 0,9956 | 0,14698 |
|                         | 60   | 7,5  | 0,0178 | -      | 0,8595 | 0,9982 | 0,08220 |
| Henderson<br>&<br>Pabis | 50   | 5,0  | 0,0076 | 1,0118 | -      | 0,9996 | 0,0583  |
|                         | 50   | 10,0 | 0,0070 | 1,0270 | -      | 0,8984 | 0,43996 |
|                         | 70   | 5,0  | 0,0121 | 1,0021 | -      | 0,9986 | 0,06983 |
|                         | 70   | 10,0 | 0,0176 | 0,9952 | -      | 0,5982 | 0,65511 |
|                         | 60   | 7,5  | 0,0113 | 1,0426 | -      | 0,9543 | 0,27919 |
|                         | 60   | 7,5  | 0,0078 | 1,0292 | -      | 0,9948 | 0,15073 |
|                         | 60   | 7,5  | 0,0083 | 0,9339 | -      | 0,9983 | 0,08575 |

Os experimentos 1, 3, 5, 6 e 7 apresentaram valores altos para  $R^2$  e baixos para o DQM indicando que os modelos representam bem estes processos de secagem. Entretanto, os experimentos 2 ( $T= 50\text{ }^\circ\text{C}$  e  $E= 10,0\text{ mm}$ ) e 4 ( $T=70\text{ }^\circ\text{C}$  e  $E=10,0\text{ mm}$ ) não representam bem o processo de secagem para os dois modelos estudados, visto que estes apresentaram valores baixos para  $R^2$  ( $< 0,9$ ) e altos para o DQM ( $> 0,4$ ). Tal fato deve está relacionado à espessura das fatias podendo ter ocorrido contração do material ou formação de película na superfície do material parcialmente seco. Estudando a secagem da banana a  $50^\circ\text{C}$ , Dandamrongrak e colaboradores (2003) obtiveram para K o valor de 0,999 e DQM inferior a 0,015 para o modelo de Page.

Os modelos matemáticos utilizados neste trabalho são amplamente aplicados na secagem convectiva de diversos frutos e os resultados são similares, entre eles pode-se citar: Santos et al., (2010) na secagem da carambola e Tellis et al., (2006) com a uva rubi, obtiveram valores de  $R^2 > 0,96$  para o modelo de Page. Ainda aplicando Page, Machado et al. (2012), na secagem convectiva do abacaxi pérola, em faixas de temperatura entre  $40$  e  $70^\circ\text{C}$ , obtiveram  $R^2 > 0,99$ .

As diferenças entre as curvas de secagem são causadas pelas diferenças nas temperaturas e nas espessuras das fatias de bananas conforme as condições experimentais. Nas Figuras 3 e 4 estão apresentadas as curvas de secagem da banana verde, com ajustes pelos modelos de Page e Henderson.



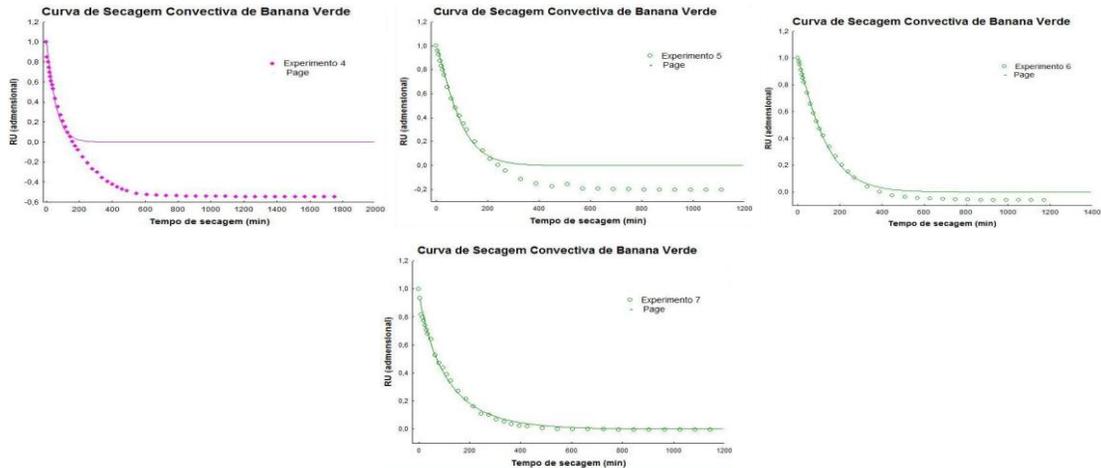


Figura 3 – Curvas de secagem com ajuste pelo modelo de Page

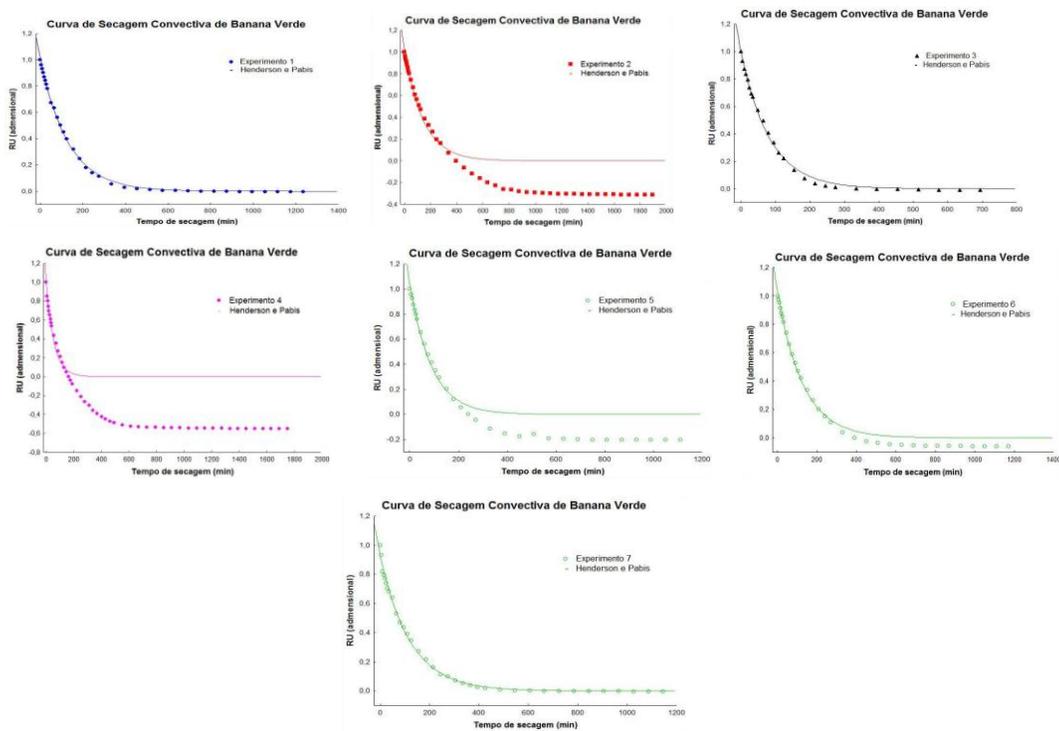


Figura 4 – Curvas de secagem com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis

Nestas curvas podem-se observar que os modelos ajustaram-se bem aos dados experimentais, tanto para Page como Henderson & Pabis, para os experimentos 1, 3, 5, 6 e 7, evidenciando os desvios para os experimentos 2 e 4. Entretanto, para se conhecer se o modelo empírico da regressão dos dados propostos possui significância estatística, deve-se realizar a ANOVA. Na análise de variância (ANOVA) para os valores do teor de água final em base seca e para o tempo de equilíbrio de secagem em horas observou-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi um pouco maior para a resposta teor de água final quando comparado com o do tempo de secagem. Os valores do F,

calculado para o teor de água final foi de 45,7 e 9,15 para o tempo de secagem. Estes valores quando comparados com o F tabelado 4,92 e 1,00, respectivamente, indicam que as respostas são estatisticamente significativas ao nível de 95% de confiança.

As Figuras 5 e 6 apresentam os gráficos da superfície de resposta mostrando os efeitos das variáveis: temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e espessura (mm) sobre o % teor de água final em base seca e sobre o tempo de equilíbrio de secagem em horas, respectivamente. Fixando-se a temperatura no nível + 1 ( $70^{\circ}\text{C}$ ), para qualquer valor de espessura se obtém os menores valores de teor de água final (RU) no produto, cerca de 3,0% em base seca. Para menor espessura das fatias (5,0 mm) e temperatura mais elevada ( $70^{\circ}\text{C}$ ) obtêm-se menores tempos de equilíbrio na secagem.

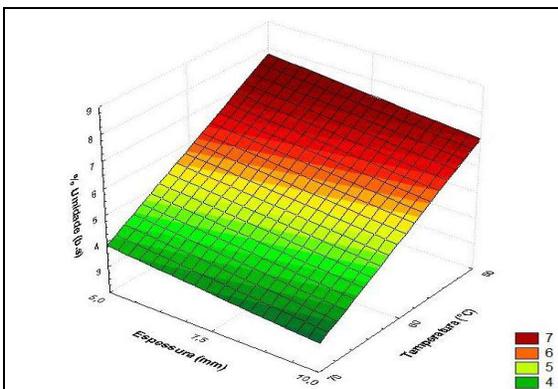


Figura 5 – Teor de água final em base seca ( $U_{bs}$ ) em função da temperatura (T) e espessura (E)

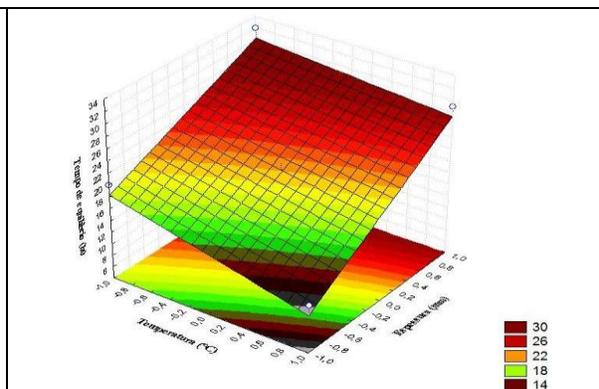


Figura 6 – Tempo de equilíbrio de secagem ( $t_{eq}$ ) em função da temperatura (T) e espessura (E)

## 4. CONCLUSÕES

A temperatura é o principal fator que afeta o processo de secagem da banana verde. Os experimentos 1,3,5,6 e 7 representam bem o processo de secagem devido aos altos valores de  $R^2$ . As respostas (teor de água final e tempo de secagem) foram estatisticamente significativas ao nível de 95% de confiança, mediante comparação entre  $F_{calculado}$  e o  $F_{tabelado}$  quando calculado a ANOVA. A técnica de secagem convectiva é viável para a banana verde Pacovan.

## 5. REFERÊNCIAS

- AZOUBEL, P. M.; BAIMA, M. do A. M.; AMORIM, M. da R. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, v. 97, p.194-198, 2010.
- BEZERRA, C. V.; AMANTE, E. R.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M. Green banana (*Musa cavendishii*) flour obtained in spouted bed functional and morphological

characteristics of the starch. *Industrial Crops Products*, Netherlands, v. 41, p. 241-249, 2013.

BORGES, A. M.; PEREIRA, J.; LUCENA, E. M. P. Green banana flour characterization, *Food Science Technology*, Cambridge, v. 2, p. 333-339, 2009.

DANDAMRONGRAK, R.; MASON, R.; YOUNG, G. The effect of pretreatments on the drying rate and quality of dried bananas. *Int. J. Food Sci. Technol.*, v. 38, p. 877-882, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Brasileira de banana. Disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/.../lspa/lspa\\_201202.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/.../lspa/lspa_201202.pdf)

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos. 3. ed. São Paulo, v. 1, 1985, 533 p.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.

LEITE, J. B.; MANCINI, M. C.; BORGES, S. V. Effect of drying temperature on the quality of dried bananas cv. prata and d'água. *Lebensmittel Wissenschaft und Technology*, v. 40, n. 2, p. 319-323, 2007.

MACHADO, A. M.; SOUZA, M. C.; JUNQUEIRA, M. S.; Cinéticas de secagem do abacaxi cv. Pérola. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 2012

ORDÓÑEZ, J. A. (organizador). *Tecnologia dos Alimentos*. Porto Alegre: Artmed, 2007 (reimpressão) 294p.

PAGE, G. E. *Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer*. Thesis dissertation (M.Sc.) – Purdue University, Indiana, 1949.

SANTOS, C.T.; BONOMO, R.F.; CHAVES, M.A.; FONTAN, R.C.I.; BONOMO, P. Cinética e modelagem da secagem de carambola (Averrhoa carambola L.) em secador de bandeja. *Acta Scientiarum. Technology*. v. 32, n. 3, p. 309-313, 2010.

TELIS, V.R.N.; LOURENÇON, V.A.; GABAS, A.L.; ROMERO, J.T. Taxas de secagem de uva rubi submetida a pré-tratamentos químicos para a produção de passas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.41, n.3, p.503-509, 2006.

TRIBESS, T. B.; HERNANDEZ-URIBE, J. P.; MENEZES, E.W.; BELLO-PEREZ, L. A.; Thermal properties and resistance starch content of green banana flour produced at different drying conditions. *Food Sc. Technol.*, London, v. 42, p.1022-1025, 2009.