

SECAGEM CONVECTIVA DA BANANA PACOVAN NO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO VERDE

J. L. A. CORREIA¹, R. M. S. SOUZA², F. L. H. SILVA³, K. M. de A. dos SANTOS⁴, O. M. MARQUES⁵ e V. C. F. PIRES⁶

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

² Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

³ Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Química

⁴ Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

⁵ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química

⁶ 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 estágio 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 $F_{\text{calculado}}$ 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 estágio 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 105⁰C, 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.

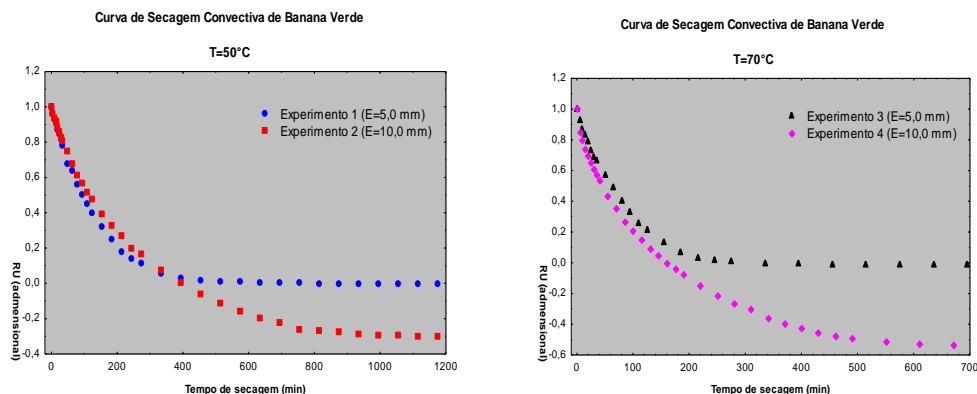


Figura 1 – Curva de secagem da banana verde cv. Pacovan para duas espessuras diferentes nas temperaturas de 50°C e de 70°C

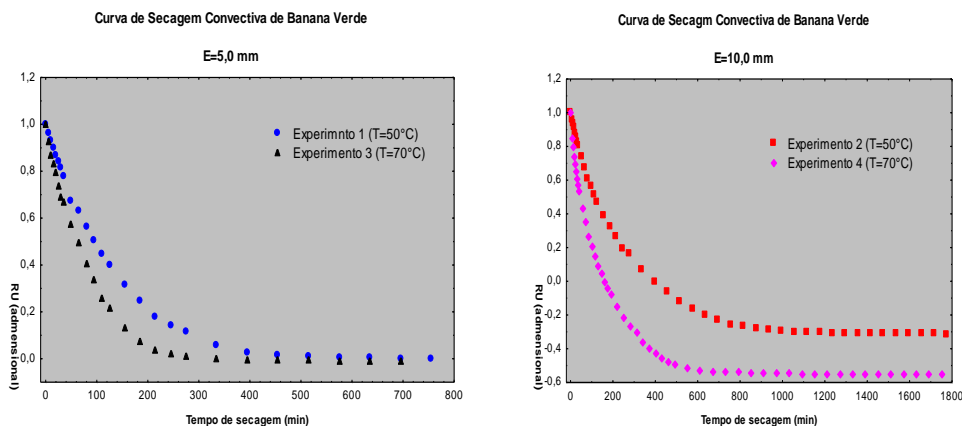


Figura 2 – Curva de secagem da banana verde cv. Pacovan para duas temperaturas diferentes nas espessuras de 5,0 e 10,0 mm

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

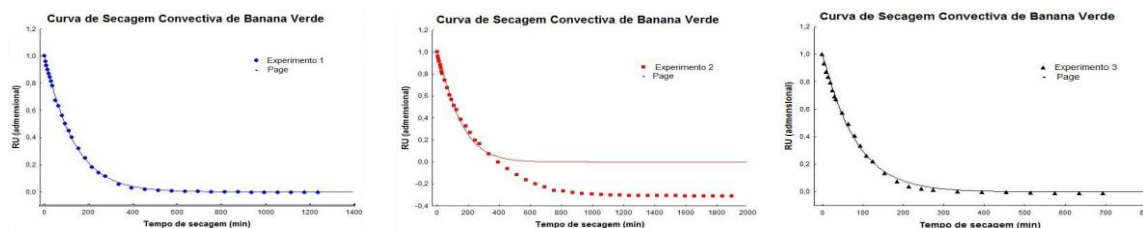
Modelos	T	E	Parâmetros	R^2	DQM
---------	---	---	------------	-------	-----

	(°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 & 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 ($T=50^\circ\text{C}$ e $E=10,0\text{ mm}$) e 4 ($T=70^\circ\text{C}$ 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 estar 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°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°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.



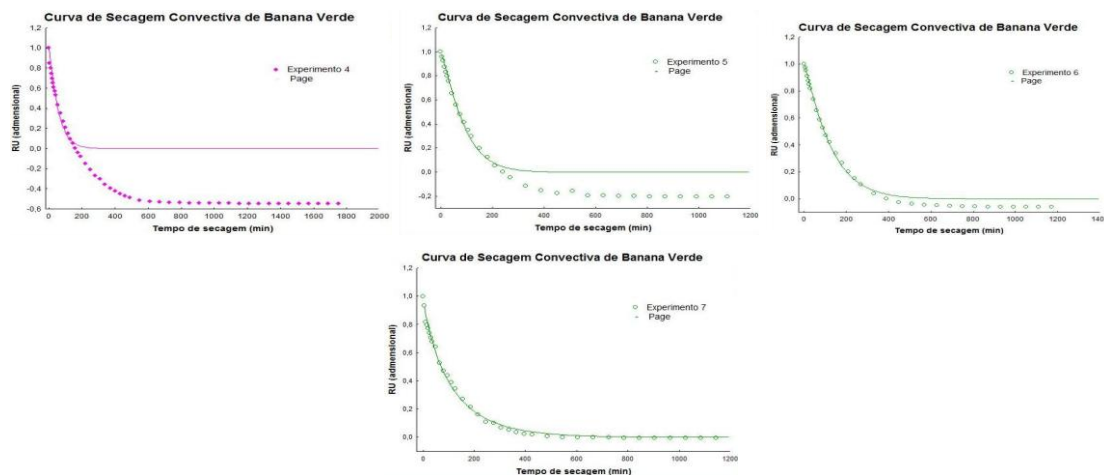


Figura 3 – Curvas de secagem com ajuste pelo modelo de Page

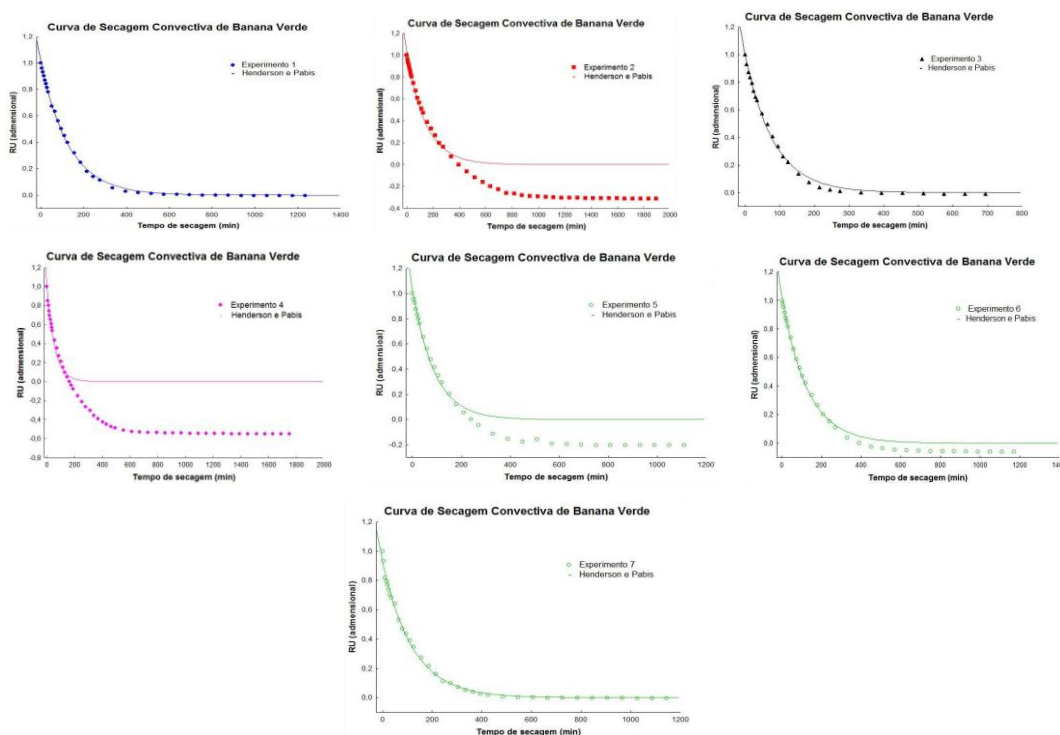
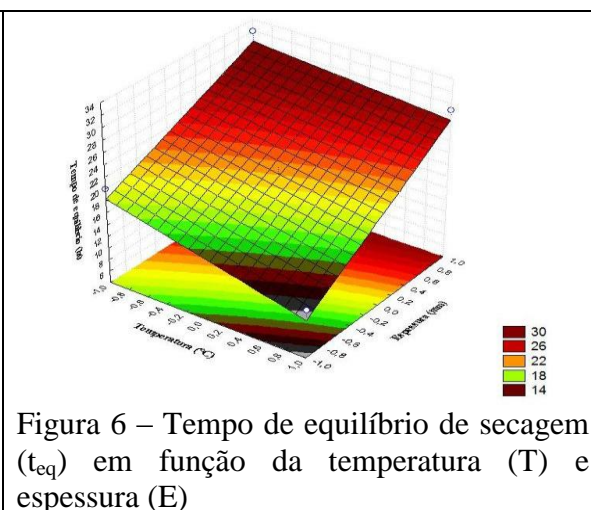
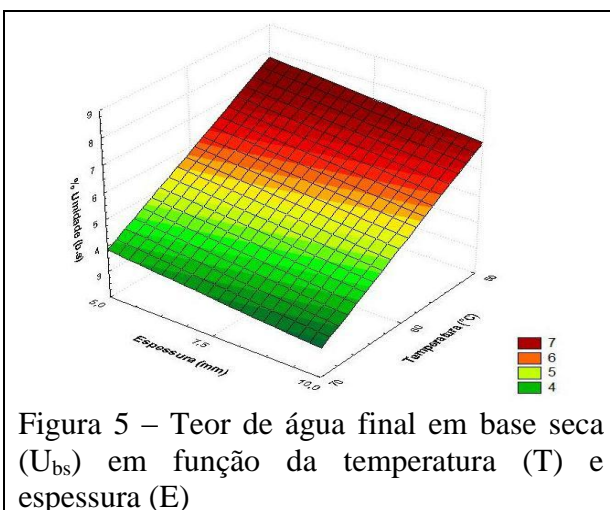


Figura 4 – Curvas de secagem com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis

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°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°C) obtêm-se menores tempos de equilíbrio na secagem.



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 $F_{\text{calculado}}$ 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

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.