

CINÉTICA DE SECAGEM CONVECTIVA E LIOFILIZAÇÃO DE RAMOS DE COENTRO (*Coriandrum sativum* L.): ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS EM SUA COLORAÇÃO

Geânderson dos Santos¹; Danilo Santos Souza²; Alessandra Almeida Castro³;

RESUMO

O coentro (*Coriandrum sativum* L.) é uma planta olerícola de considerável valor e importância comercial em diversas regiões do Brasil. O objetivo desse trabalho foi avaliar os ajustes dos modelos matemáticos e o efeito do método de secagem sobre a cinética do processo da folha de coentro e analisar o comportamento da cor do material. Os ramos de coentro foram selecionados e lavados em água corrente e acondicionados em bandejas de aço inox para secagem em secador de bandeja a 50°C com ar a 0,6m/s e em liofilizador com pressão de 130µHg. A cor instrumental das amostras foi avaliada por meio de leitura direta. O produto desidratado em secador convectivo obteve uma maior taxa de secagem e consequentemente alcançou a umidade de equilíbrio (0,02g_{água}/g_{s.s.}) em um menor tempo quando comparado com o produto liofilizado (0,01g_{água}/g_{s.s.}). Todos os modelos utilizados no estudo são apropriados para descrever os dados de secagem dos ramos de coentro levando em consideração que os valores do coeficiente de correlação (R²) foram superiores a 0,99. Os parâmetros a*, b* e C dos ramos de coentro não sofreram alterações com os métodos de secagem utilizados. Entretanto, os parâmetros h° e luminosidade (L*) foram influenciados.

Palavras-chave: secagem, congelamento, liofilização, cor.

DETERMINATION OF CONVECTIVE DRYING KINETICS AND LYOPHILIZING SPRIGS OF CORIANDER (*Coriandrum sativum* L.): STUDY INFLUENCE OF PROCESSES IN THEIR COLORING

ABSTRACT

Coriander (*Coriandrum sativum* L.) is a vegetable crop plant and of considerable commercial importance in several regions of Brazil. The aim of this study was to evaluate the settings of mathematical models and the effect of drying method on the process kinetics of coriander leaf and analyze the behavior of the color of the material. The sprigs of coriander were selected and washed in tap water and packed in trays of stainless steel drying tray dryer at 50 ° C with air at 0.6 m / s at a pressure of 130µHg lyophilizer. The instrumental color of the samples was evaluated by direct reading. The product dried in a dryer with a larger convective drying rate and consequently reached the equilibrium moisture content (0.02g_{water}/g_{d.m.}) In a shorter time compared to the lyophilized product (0.01g_{water}/g_{d.m.}). All models used in the study are appropriate to describe the drying data of sprigs of coriander taking into account the values of the correlation coefficient (R²) were above 0.99. The parameters a*, b* and C of the sprigs of coriander were not altered by the drying methods used. However, the parameters h° and lightness (L*) were influenced.

Keywords: drying, freezing, freeze-drying, color.

¹Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão – SE.

²Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão – SE.

³Professora Dra do Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão – SE.

INTRODUÇÃO

O coentro provém da família Umbelliferae, parente da salsinha, o que explica o fato dele também ser conhecido por salsinha chinesa. É uma planta herbácea, de origem egípcia, com o nome científico de *Coriandrum sativum* L., de caule cilíndrico, folhas verdes e brilhantes, flores brancas ou rosadas e frutos de cor vermelha ou marrom. As folhas frescas e os frutos secos são usados como condimentos. É uma planta olerícola de considerável valor e importância comercial em diversas regiões do Brasil, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, em que é muito consumido e está presente na alimentação diária (Marques & Lorencetti, 1999). Devido ao seu aroma e sabor característicos, aliado a uma tendência cada vez maior de se consumir alimentos industrializados muito próximos ao similar natural, tem-se buscado formas de processamento que possibilitem a obtenção de alimentos com qualidade nutricional e com elevado tempo de prateleira (Silva, 2010).

A secagem de materiais biológicos favorece a agregação de valor econômico ao vegetal, devido ao maior aproveitamento tecnológico com a elaboração de novos produtos. Também contribui para o aumento de seu período de conservação (Karathanos, 1999).

Dentre os processos de secagem o método de secagem em estufa é o mais tradicional, pois é prático e relativamente barato. Normalmente esse processo é realizado em estufas com circulação forçada de ar ou “secador-de-bandeja” com regulação de temperatura (Silva & Queiroz, 2002). O processo de secagem neste método se dá pela evaporação da água da amostra submetida ao ar quente. Com a circulação forçada, a água evaporada é dispersada para o ambiente externo, impedindo assim, o retorno da mesma para a amostra.

A liofilização é o processo de secagem em que a água livre contida no produto, passa do estado sólido para o estado gasoso pelo fenômeno de sublimação (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 1999). A conservação de alimentos por liofilização permite que o produto tenha uma maior vida de prateleira devido à redução da atividade de água, o que é associado à redução no custo de transporte e armazenamento, devido à leveza e compactação, combinadas aos efeitos benéficos da estabilidade microbiológica e química dos alimentos (Fellows, 1994).

Segundo Gava (1994) quando se compara os dois processos de secagem a liofilização apresenta algumas vantagens. A secagem em estufa é uma técnica de custo relativamente baixo, porém, pode provocar alguns danos como perdas de vitaminas e outros componentes, enquanto que a liofilização é um processo de desidratação de produtos em condições de pressão e temperatura, tais que a água previamente congelada, passa do estado sólido para o estado gasoso por sublimação, como esse é realizado a baixa temperatura e ausência do ar atmosférico permite que as propriedades químicas e organolépticas praticamente não se alterem.

A cor pode ser utilizada como um índice de transformações naturais de alimentos frescos ou de mudanças ocorridas durante o processamento industrial, sendo assim um importante parâmetro de qualidade. Instrumentalmente, a intensidade da cor é representada por a^* e b^* , ao passo que L^* indica a luminosidade da amostra (Chitarra & Alves, 2001; Sato & Cunha, 2005). Os termos C e h° indicam cromaticidade e ângulo *hue*, respectivamente. Os valores de h° apresentam cores da superfície do tecido vegetal (0°/vermelho, 90°/amarelo, 180°/verde e 270°/azul) permitindo quantificar o teor de clorofilas em folhas (Amarante *et al.*, 2008).

Desta forma, esta pesquisa teve como objetivo avaliar os ajustes dos modelos matemáticos e o efeito do método de secagem sobre a cinética do processo do ramo de coentro e analisar o comportamento da cor do material antes e após a desidratação.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção e preparo das amostras

Como matéria-prima utilizou-se coentro (*Coriandrum sativum* L.) do cultivar “verdão” provenientes do Centro de Abastecimento – CEASA, localizado na cidade de Aracaju-SE, Brasil.

As amostras foram imediatamente transportadas ao Laboratório de Análises de Alimentos-LAA, do Departamento de Tecnologia de Alimentos – UFS, para serem processadas.

O coentro, ao ser recebido no LAA, foi previamente limpo e lavado em água corrente, para a remoção do excesso de terra, sendo, posteriormente, sanitizado com uma solução de hipoclorito de sódio a 15ppm por 10 min e, em

seguida, separado em folha e caule, desprezando-se a raiz, sendo denominados ramos.

Amostras foram coletadas e submetidas ao ensaio de umidade em estufa a 105°C até peso constante (IAL, 2004).

O congelamento das amostras direcionadas à liofilização foi realizado em um freezer vertical com temperatura de -22±2°C.

Cinética de secagem por convecção em “secador-de-bandejas”

Na secagem utilizou-se secador de bandejas a 60°C com fluxo de ar de 0,6 m/s. Para obtenção da curva de secagem, realizaram-se pesagens em um intervalo de tempo de 30 minutos durante um período total de secagem até alcançar umidade final de equilíbrio.

Cinética de secagem por liofilização

Depois de congeladas, a desidratação das amostras foi realizada em um liofilizador da marca Christ a uma pressão de vácuo de aproximadamente 130μHg com temperatura do condensador de -50 ± 2°C. Para a determinação da cinética de secagem, as amostras foram pesadas em um intervalo de tempo de 60 minutos, até peso constante.

Modelagem do processo de secagem

Os estudos cinéticos foram realizados para determinação das curvas das isotermas de dessorção do coentro, ajustando-se aos dados experimentais de secagem, através das equações descritas na Tabela 1 que correspondem aos modelos semi-empíricos análogos ao resfriamento de Newton (Marques *et al.*, 2009).

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para ajustar os dados experimentais de secagem de coentro.

Modelos	Equações Matemáticas	Equação
Modelo de Lewis	$RU = \exp(-kt)$	(1)
Modelo de Brooker	$RU = C\exp(-kt)$	(2)
Modelo de Page	$RU = C\exp(-kt^n)$	(3)
Modelo Logarítmico	$RU = C\exp(-kt) + b$	(4)

A razão de umidade (RU) foi calculada pela Equação 5 abaixo:

$$RU = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (5)$$

O X_0 representa o conteúdo de umidade inicial (g.g⁻¹, massa seca) e X é o conteúdo de umidade no tempo (g.g⁻¹, massa seca). X_e é o conteúdo de umidade de equilíbrio (g.g⁻¹, massa seca). Nas equações, o C é o coeficiente dependente da temperatura e do processo, k e b são constantes de secagem (min⁻¹) e t é o tempo de secagem (min);

Análise de cor

A cor instrumental das amostras foi avaliada por meio de leitura direta dos ramos com colorímetro da marca Konica Minolta®. As coordenadas retangulares foram registradas no próprio aparelho conforme a CIE (Commission Internationale de Eclairage), onde

a^* varia do verde (-) ao vermelho (+), b^* do azul (-) ao amarelo (+) e L^* do preto (0) ao branco (100).

Análise estatística

O software Statistica® versão 8.0 para Windows foi utilizado para ajustar as equações dos dados experimentais. O coeficiente de correlação R^2 foi utilizado para descrever o melhor ajuste das equações de cinética de secagem. Todo o experimento foi realizado em três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas da cinética de secagem pelo processo de secagem convectiva e por liofilização do coentro e os ajustes para as equações de Lewis, Brooker, Page e Logarítmica estão apresentadas na Figura 1.

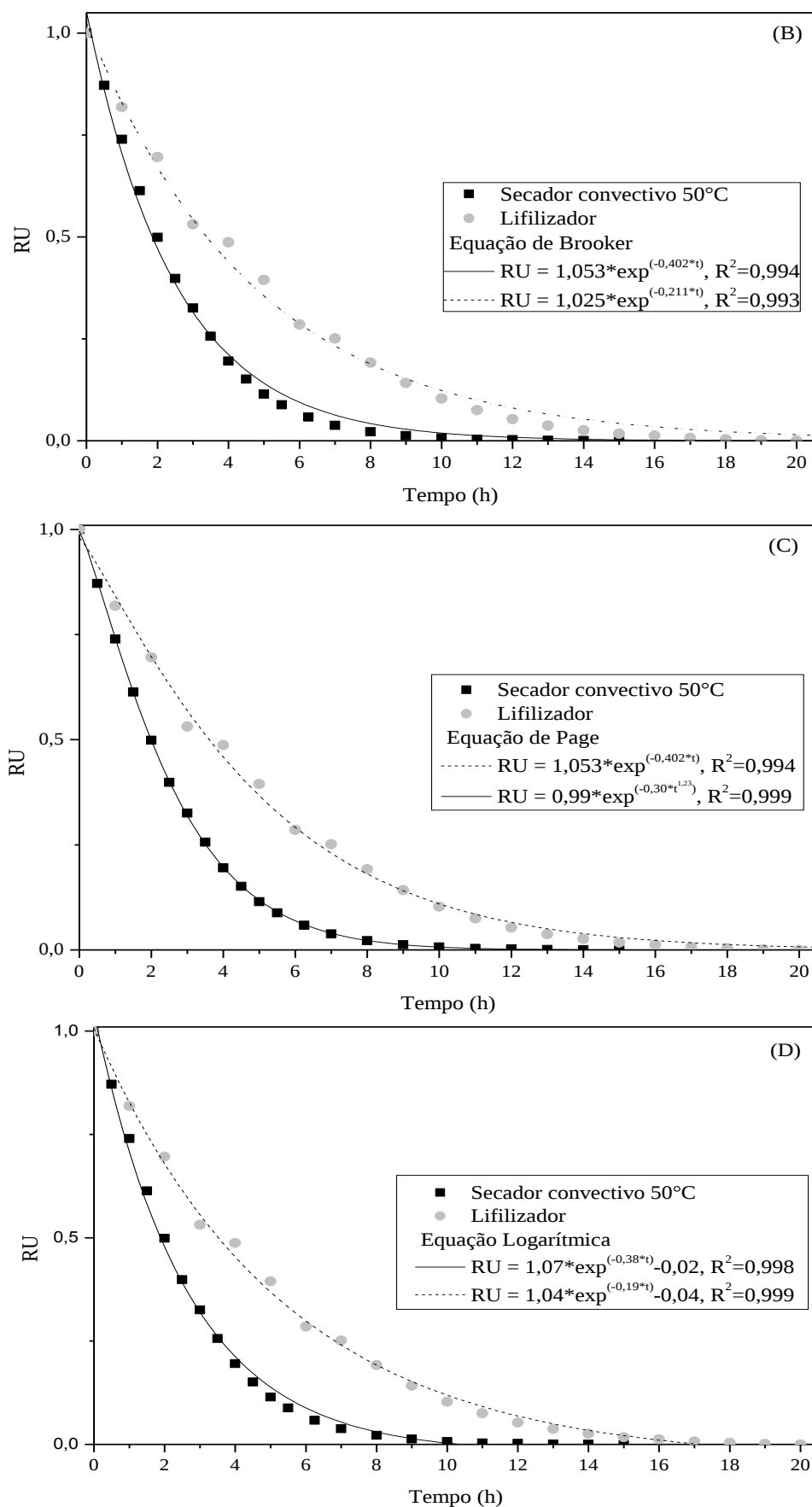


Figura 1. Conteúdo de umidade adimensional (base seca) versus tempo ajustado às Equações de Lewis (A), Brooker (B), Page (C) e Logarítmica (D) para diferentes métodos de secagem do coentro.

É possível verificar que o tempo necessário para desidratar o coentro até a umidade de equilíbrio é diretamente influenciado pelo método de secagem utilizado. Observa-se que o produto desidratado em secador convectivo obteve uma maior taxa de secagem e consequentemente alcançou a umidade de equilíbrio ($0,02\text{g}_{\text{água}}/\text{g}_{\text{s.s.}}$) em um menor tempo (15 horas) quando comparado com o produto liofilizado ($0,01\text{g}_{\text{água}}/\text{g}_{\text{s.s.}}$) em 20 horas. Segundo Queiroz & Nebra (2001) *apud* Borges *et al.* (2008) as altas taxas de secagem são alcançadas quando se eleva a temperatura ou velocidade do ar na secagem convectiva, ocasionando um aumento no coeficiente de difusão da umidade, alcançado-se mais rapidamente o conteúdo de umidade desejado. Entretanto, de acordo com Marques (2008) o processo de liofilização se mostra eficiente frente características sensoriais dos produtos, apesar de proporcionar maiores tempos de secagem.

Os comportamentos das curvas de secagem observados para o coentro, independente do método aplicado, são típicos de secagem de material biológico, em que a taxa de secagem ocorre inicialmente em período constante e decresce à medida que o volume de água vai diminuindo da matriz até atingir período constante (MARQUES, 2008; PARK *et al.*, 2001).

A Figura 2 mostra os resultados obtidos para os parâmetros das equações ajustados aos dados experimentais. Observa-se que todos os modelos utilizados são apropriados para descrever os dados de secagem de ambos os métodos de secagem, podendo ser utilizados nas estimativas de curva de secagem convectiva e de liofilização do ramo de coentro, levando em consideração que os valores do coeficiente de correlação (R^2) foram superiores a 0,99, o que aumenta o nível de confiança dos ajustes

Métodos de secagem	Parâmetros de secagem			
	Modelo de Lewis			
		$k \text{ (h}^{-1}\text{)}$		R^2
Secador 50°C		0,38(0,00)		0,996
Liofilizador		0,28(0,00)		0,996
	Modelo de Brooker			
	$c \text{ (-)}$	$k \text{ (h}^{-1}\text{)}$		R^2
Secador 50°C	1,05(0,01)	0,40 (0,00)		0,997
Liofilizador	1,03(0,01)	0,21(0,00)		0,996
	Modelo de Page			
	$c \text{ (-)}$	$k \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$n \text{ (-)}$	R^2
Secador 50°C	0,99(0,00)	0,29(0,00)	1,22(0,00)	0,999
Liofilizador	0,98(0,02)	0,15(0,01)	1,16(0,04)	0,998
	Modelo Logarítmico			
	$c \text{ (-)}$	$k \text{ (h}^{-1}\text{)}$	$b \text{ (-)}$	R^2
Secador 50°C	1,07(0,02)	0,38 (0,01)	-0,02(0,01)	0,998
Liofilizador	1,04(0,01)	0,19 (0,01)	-0,04(0,01)	0,999

Figura 2 - Valores dos parâmetros ajustados dos modelos de Lewis, Brooker, Page e Logarítmico e seus respectivos coeficientes de correlação para os diferentes métodos de secagem.

Os resultados da influência do método de secagem sobre a cor dos ramos de coentro estão apresentados na Tabela 2. Pode-se observar que não houve influência do método de secagem para os parâmetros a^* , b^* e cromaticidade (C) quando comparados com o coentro *in natura*, apresentando diferença significativa ($p < 0,05$) para estes valores. Por outro lado, a luminosidade (L^*) e o valor de h°

para o coentro desidratado em ambos os processos se mostraram significativamente diferentes dos valores apresentados pelo coentro fresco.

De acordo com o valor de h° que indica o ângulo de refletância da cor na superfície do material, observa-se uma redução significativa deste parâmetro, com valor aproximado de $106,9^\circ$ para o coentro desidratado em secador

convectivo e 108,4° para o produto liofilizado, enquanto que o coentro *in natura* possuía 114° aproximadamente. A temperatura de 50°C para a secagem convectiva e a baixa temperatura (-50°C) associada à pressão de vácuo requeridas no processo de liofilização podem ter influenciado no processo degradativo da clorofila abundante nas folhas de coentro. Esta redução está associada à degradação deste pigmento verde que possui estrutura química instável, ou seja, facilmente reativa. Segundo

Fennema (2000), ao submeter a clorofila ao processo de aquecimento ocorrerá a desnaturação das proteínas que a protegem, com perda de magnésio e formação da feofitina, gerando-se modificações da coloração. A redução da quantidade de clorofila é proporcional ao aumento da temperatura, existindo uma rápida transformação a 20° C em relação a temperaturas mais baixas, entre 0° C e 10° C (SCHWARTZ *et al.*, 1999).

Tabela 2. Valores médios da clorofila e dos parâmetros de cor do coentro *In natura*, seco em secador e liofilizado.

Parâmetros		<i>In natura</i>	Secador	Liofilizador
Cor	<i>a</i> *	-7,90 ± 1,11a	-6,17 ± 0,47a	-6,20 ± 0,4a
	<i>b</i> *	17,73 ± 2,46a	20,23 ± 1,11a	18,80 ± 2,5a
	C	19,43 ± 2,61a	21,13 ± 1,17a	19,83 ± 2,5a
	<i>h</i> °	114,07 ± 1,46a	106,93 ± 0,63b	108,43 ± 1,15b
	<i>L</i> *	18,43 ± 2,25b	34,90 ± 2,16a	28,90 ± 6,50a

*As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÃO

A secagem por convecção forçada conduziu a uma maior taxa de secagem que a secagem por liofilização, alcançando, conseqüentemente o teor final de umidade equilíbrio em um menor tempo.

As equações, de Lewis, Brooker, Page e Logarítmica usadas para ajustar o comportamento da cinética de secagem se mostraram eficientes com altos valores de coeficientes de correlação e podem ser utilizadas para descrever o processo de secagem do ramo de coentro.

As condições em que os métodos de secagem foram estudados neste trabalho não provocou alterações significativas ($p < 0,05$) na cor das folhas de coentro para os atributos *a**, *b** e C. Porém, acarretou em alterações nos parâmetros *h*° e luminosidade (*L**).

AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo incentivo financeiro para execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amarante C. V. T.; Bisognin D. A.; Steffens C.A.; Zanardi O. Z.; Alves E. O. Quantificação não destrutiva de clorofilas em folhas através de método colorimétrico.

Horticultura Brasileira. v.26, p471-475. 2008.

Borges, S. V.; Mancini, M. C.; Corrêa, J. L. G.; Nascimento, D. A.; Secagem de fatias de abóboras (*Curcubita moschata*, L.) por convecção natural e forçada. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, 28(Supl.): 245-251, dez. 2008.

Chitarra A. B; Alves R. E. *Tecnologia de pós-colheita para frutas tropicais*. Fortaleza: FRUTAL-SINDIFRUTA. 2001.

Fennema, O. R. *Química de los alimentos*. Zaragoza: Editorial Acribia, p. 778-799. 2000.

IAL. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 4ed. São Paulo: IMESP, 2004. 1004p.

Karathanos, V. T. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. **Journal of Food Engineering**, v.39, n. 4, 1999.

Marques, F.C.; Lorencetti, B.L. Avaliação de três cultivares de coentro (*Coriandrum sativum* L.) semeadas em duas épocas. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v. 5,n.2, p.265-270, 1999.

Marques, L.G., **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. 255f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR. São Carlos/SP.

Park, K. J.; Yado, M. K. M.; Brod, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus*

- sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.
- Queiroz, M. R.; Nebra, S. A. Theoretical and experimental analysis of drying kinetics of bananas. **Journal of Food Engineering**, v. 47, n. 2, p. 127-132, 2001.
- Sato, A. C. K.; Cunha, R. L. da; Avaliação da Cor, Textura e Transparência de Massa Durante o Processamento de Goiabas em Calda. **Braz. J. Food Technol.**, v.8, n.2, p. 149-156, 2005.
- Schwartz, M. M.; Nunez, K. H.; Munoz, A. A. M.; Efecto de la temperatura de concentración de pulpa de kiwi sobre el color, clorofila y ácido ascórbico. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v. 49, n. 1, p. 44-48, 1999.
- Silva, D.J.; Queiroz, A.C.; Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.
- Silva, A.S.A; Almeida, F.A.C; Alves, N.M.C; Melo, K.S;Gomes, J.P. Característica higroscópica e termodinâmica do coentro desidratado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 237-244, abr-jun, 2010.

Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais

Brazilian Journal of Agro-industrial Products