

## Secagem osmo-convectiva de fatias de melão: efeito das variáveis de processo sobre a cinética de secagem

### Osmo-convective of melon slices: effect of process variables on dry kinetics

Joel Fernando Nicoleti<sup>1</sup>

Hequel Donizete Fóz<sup>2</sup>

**Resumo:** O melão é uma fruta que contém compostos bioativos, caracterizando-o como um alimento funcional. Entretanto, estas substâncias geralmente são degradadas pelo calor durante a secagem convectiva por ar quente. A desidratação osmótica (DO) é uma técnica aplicada anteriormente à secagem convencional por contribuir com o aspecto sensorial e nutricional. O objetivo desse trabalho foi avaliar a cinética de secagem de fatias de melão pré-tratadas osmoticamente, aplicando um planejamento experimental considerando quatro variáveis de processo - temperatura do ar de secagem ( $T_{ar}$ ), temperatura ( $T_{DO}$ ), concentração ( $C_{DO}$ ) e tempo de contato ( $t_{DO}$ ) da solução osmótica. Avaliou-se o efeito destas variáveis sobre os parâmetros cinéticos considerando os modelos teórico-difusional de Ficke empírico de Page. Os resultados indicam que o modelo de Page descreveu melhor os dados experimentais avaliados pela qualidade estatística. Pela avaliação da análise de variância (ANOVA), modelos matemáticos foram determinados considerando somente os efeitos significativos ( $p \leq 0,05$ ) sobre os parâmetros “k” e “n” da equação de Page e, difusividade efetiva ( $D_{AB}$ ) de Fick. Constatou-se que as variáveis de processo, de alguma forma – seja linear, quadrático ou interação entre os fatores – apresentaram efeito significativo sobre estes parâmetros. Finalizando, buscou-se o tempo de secagem convectiva necessária para se alcançar um alimento seco de acordo com a legislação, onde verificou-se uma clara redução deste tempo para as amostras submetidas à desidratação osmótica anterior a secagem a ar quente.

<sup>1</sup> UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

<sup>2</sup> UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**Palavras-chave:** Melão; desidratação osmótica; difusividade mássica; secagem.

---

**Abstract:** Melon is a fruit that contains bioactive compounds, characterizing it as a functional food. However, these substances are generally degraded by heat during convective drying by hot air. Osmotic dehydration (OD) is a technique previously applied to conventional drying because it contributes to sensory and nutritional aspects. The objective of this work was to evaluate the drying kinetics of osmotically pretreated melon slices, applying an experimental design considering four process variables - drying air temperature ( $T_{\text{air}}$ ), temperature ( $T_{\text{DO}}$ ), concentration ( $C_{\text{DO}}$ ) and time ( $t_{\text{DO}}$ ) of the osmotic solution. The effect of these variables on the kinetic parameters was evaluated considering the theoretical diffusional Fick and empirical models of Page. The results indicate that the Page model better described the experimental data evaluated by the statistical quality. For the analysis of variance (ANOVA), mathematical models were determined considering only the significant effects ( $p \leq 0.05$ ) on the parameters "k" and "n" of the Page equation, Fick's effective diffusivity ( $D_{\text{AB}}$ ). It was found that these variables of some form - linear, quadratic or interaction between the factors - had some significant effect on these parameters. Finally, the convective drying time required to reach a dry food according to the legislation was obtained, where a clear reduction of this time was verified for the samples submitted to the osmotic dehydration prior to drying in hot air.

**Keywords:** Melon; osmotic dehydration; mass diffusivity; convective drying.

## 1. Introdução

O melão (*Cucumis melo L.*) é uma espécie originária da África e Ásia. A variedade mais difundida no Brasil pertence ao grupo *inodorus* tipo Amarelo, casca lisa ou levemente enrugada, coloração amarela, polpa espessa de tonalidade branca ou verde-claro e apresenta resistência ao transporte (Moreira *et al.*, 2009).

O maior produtor é a China. No cenário nacional em 2015, a produção em uma área de 20.762 hectares foi de aproximadamente 521.596 toneladas, com destaque à região nordeste, responsável por 94,72%, sendo que três estados somam 85,8% da produção nacional, que são Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia (IBGE, 2016).

A secagem de produtos agrícolas, dentre elas as frutas, é um processo simultâneo de transferência de calor e massa, que visa obter um produto com índice de atividade de água reduzido, inibindo desta forma o crescimento microbiano. Esta técnica é bastante eficiente por estender a vida útil dos alimentos, podendo ser armazenados por um longo período, a fim de amenizar as perdas pós-colheita (Silva, 2013).

Dentre os períodos de taxas de secagem: crescente, constante e decrescente – esta última é especialmente importante, pois nessa fase as partes externas do material já estão secas, enquanto o interior ainda pode conter quantidades significativas de água. É observado a partir daí a elevação da temperatura do produto próximo a temperatura de bulbo seco do ar de secagem e as características sensoriais e nutricionais do alimento podem ficar comprometidas, com sérios prejuízos ao produto caso não haja um controle efetivo das variáveis de processo. Na maioria da secagem de produtos agrícolas, somente o período de taxa decrescente é observado (Baptestini *et al.*, 2015; Catelam *et al.*; 2014; Fiorentin *et al.*, 2010), e a representação matemática, considerando este período de secagem, comumente é descrita pelo modelo teórico da 2ª Lei de Fick e por modelos empíricos como o de Page.

Segundo Holdsworth (1971), os principais fatores que afetam a taxa de secagem são as propriedades físicas, o arranjo geométrico do produto em relação à superfície de transferência de calor, as propriedades físicas do ambiente de secagem e a característica do equipamento. De acordo com Gouveia *et al.* (2002), a temperatura do ar de secagem é o principal fator que afeta a cinética de secagem de um alimento.

Apesar dos diversos benefícios e conveniência dos alimentos secos, há de se considerar que, devido às elevadas temperaturas de processo, eventuais danos são causados ao produto, ocasionando perda de qualidade ao produto final (Ribeiro, 2013). Neste sentido, pesquisas têm sido postas em práticas com o objetivo de minimizar ou contornar estes efeitos adversos do processo de secagem a ar quente sobre gêneros alimentícios, entre estas estão os trabalhos de Marfil *et al.*

(2008) e Nicoletti *et al.* (2001). A vantagem de se combinar outras técnicas com a secagem está em conseguir tempos de processamento reduzidos, melhoria de produto e flexibilidade na produção (Zhang *et al.*, 2006). Diversos autores relacionam o emprego da desidratação osmótica como um tratamento prévio à secagem por apresentar melhoria nas características sensoriais e nutricionais do produto final, além de reduzir o tempo subsequente de processamento como a secagem convencional a ar quente (Osorio *et al.*, 2007; Heredia *et al.*, 2007).

A desidratação osmótica consiste em submergir um alimento em uma solução bastante concentrada em sólidos solúveis, geralmente de açúcares, e em alguns casos, combinado com sais. É uma operação baseada na transferência de massa, em que ocorre saída de água do produto para a solução hipertônica e entrada de soluto da solução para o alimento devido ao gradiente de concentração (Queiroz *et al.*, 2010). Apesar de ocorrer a redução de umidade do alimento, tanto pela saída de água quanto pela incorporação de sólidos, esta técnica isolada não garante estabilidade microbiológica, necessitando de processos em conjunto, como a secagem, para se alcançar um alimento realmente seguro ao consumo (Peiró-Mena *et al.*, 2007).

Neste sentido, o objetivo da presente proposta foi investigar o efeito da desidratação osmótica considerando as variáveis – tempo de contato, temperatura e concentração da solução osmótica – em combinação com a temperatura do ar de secagem sobre a cinética de secagem de fatias de melão.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1. Preparação das amostras**

Os melões da variedade Amarelo, foram adquiridos em mercado local da cidade de Apucarana/PR e selecionados visualmente pela cor, tamanho e grau de firmeza. Na preparação das amostras, o melão foi lavado, cortado ao meio no sentido longitudinal, em seguida, as sementes e a casca removidas. Cada metade foi fatiada em três ou quatro seções longitudinal, dependendo do diâmetro do melão, e posteriormente, estas fatias foram cortadas transversalmente em espessura de 6,7 mm com fatiador de legumes manual. As amostras obtidas assemelharam-se a uma placa de geometria trapezoidal.

O grau de maturação foi verificado pela leitura de °Brix em refratômetro (ABBE, Q767B) e o conteúdo de umidade foi quantificado pelo método gravimétrico em estufa a 105°C por 4 horas (AOAC, 1997).

## 2.2.Planejamento experimental

Os ensaios seguiram um planejamento composto rotacional de 2ª ordem (Box *et al.*, 1978), com três pontos centrais (Tabela 1) sendo as variáveis independentes a temperatura do ar de secagem ( $T_{AR}$ ), temperatura da solução osmótica ( $T_{DO}$ ), concentração da solução ( $C_{DO}$ ) e o tempo de contato ( $t_{DO}$ ) entre a amostra e a solução osmótica.

**Tabela 1** - Planejamento composto rotacional de 2º ordem.

Ensaio	Variáveis independentes			
	$T_{AR}$ (°C)	$T_{DO}$ (°C)	$C_{DO}$ (p/p) (%)	$t_{DO}$ (h)
1	46	46	56	2,6
2	64	34	44	2,6
3	46	34	56	1,4
4	64	46	56	1,4
5	46	46	44	2,6
6	70	40	50	2
7	64	46	44	1,4
8	64	34	56	2,6
9	55	40	60	2
10	55	30	50	2
11	55	40	50	3
12	55	40	50	1
13	40	40	50	2
14	55	40	40	2
15	46	34	44	1,4
16	55	40	50	2
17	55	50	50	2
18	55	40	50	2
19	55	40	50	2

Além das amostras submetidas ao pré-tratamento osmótico, também se avaliou o comportamento cinético das fatias de melão sem o pré-tratamento nas mesmas temperaturas do ar de secagem proposto pelo planejamento experimental.

Os efeitos das variáveis independente ( $T_{AR}$ ,  $T_{DO}$ ,  $C_{DO}$  e  $t_{DO}$ ) sobre os parâmetros cinéticos das equações de Page e da solução analítica da 2ª Lei de Fick foram avaliados por análise de

variância (ANOVA) considerando o grau de significância de 95% ( $p \leq 0,05$ ). De acordo com estes resultados, modelos matemáticos foram obtidos com auxílio do *software Statistica7.0*.

### 2.3.Desidratação osmótica

Soluções de sacarose refinada comercial nas concentrações de 40, 50 e 60% (p/p) foram preparadas com água destilada, em seguida, em um erlenmeyer, amostras de melão com a massa conhecida foram inseridas em seu interior e a solução adicionada fixando-se a proporção de amostra/solução de 1:10 (p/p). Posteriormente, o conjunto foi transferido a uma câmara incubadora shaker sob agitação (250 rpm) com temperatura controlada. A combinação do tempo de contato ( $t_{DO}$ ) da amostra com a solução, da concentração da solução ( $C_{DO}$ ) e da temperatura da desidratação osmótica controlada pela câmara, seguiu conforme as combinações apresentadas na Tabela 1.

### 2.4.Secagem convectiva

As amostras submetidas à desidratação osmótica foram passadas em água corrente e enxugadas em papel absorvente. Posteriormente, as fatias de melão foram dispostas sobre bandejas perfuradas de plástico e levadas à secagem em estufa de convecção forçada juntamente com as amostras frescas. Em intervalos de tempo pré-determinados, as bandejas eram pesadas para posterior obtenção das curvas de cinética de secagem.

### 2.5.Modelos matemáticos

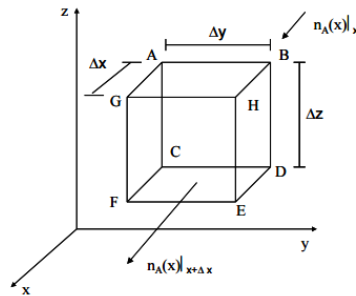
#### 2.5.1.Modeloteórico da difusão de Fick

O modelo de difusão baseia-se na hipótese de que o fluxo de matéria ( $\text{kg/s.m}^2$ ) do componente A ( $n_A$ ) é proporcional ao gradiente de concentração tomado em uma seção normal (eq. 1).

$$n_A = -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial x} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde  $D_{AB}$  assume a constante de proporcionalidade e representa a difusividade mássica ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) do componente A em um meio B,  $\rho_A$  é a massa específica de A e x a coordenada espacial. O sinal negativo da equação (1) é devido ao fluxo de matéria ocorrer em direção oposta ao aumento de concentração da espécie A.

A representação esquemática em coordenadas cartesianas do fluxo  $n_A$  que atravessa as faces de área ( $\Delta y \cdot \Delta z$ ) de um volume de controle (VC) de dimensões  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$  está ilustrada na Imagem 1.



**Imagem 1** - fluxo de mássico da espécie A através de um volume de controle em coordenadas cartesianas.

Para um sistema onde não há reação química (a espécie A não é gerada e nem consumida), o balanço de massa da espécie A pode ser escrita conforme Equação 2, onde o acúmulo de material no volume de controle se dá pela diferença das taxas mássicas de entrada e saída da espécie A isto é, três faces de entrada (x, y e z) e três faces de saída ( $x+\Delta x$ ,  $y+\Delta y$  e  $z+\Delta z$ ).

$$\left[ \frac{\partial m_A}{\partial t} \right]_{ac} = [\dot{m}_A]_e - [\dot{m}_A]_s \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde o acúmulo em VC é:

$$\left[ \frac{\partial m_A}{\partial t} \right]_{ac} = \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot \frac{\partial \rho_A}{\partial t} \quad (\text{Eq. 3})$$

As taxas mássicas de A na entrada das três faces de VC, nas direções x, y e z são:

$$x: [\dot{m}_A]_e = n_A|_x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \quad (\text{Eq. 4})$$

$$y: [\dot{m}_A]_e = n_A|_y \cdot \Delta x \cdot \Delta z \quad (\text{Eq. 5})$$

$$z: [\dot{m}_A]_e = n_A|_z \cdot \Delta x \cdot \Delta y \quad (\text{Eq. 6})$$

Na saída, as taxas mássicas do elemento A em VC fica:

$$x: [\dot{m}_A]_s = n_A|_{x+\Delta x} \cdot \Delta y \cdot \Delta z \quad (\text{Eq. 7})$$

$$y: [\dot{m}_A]_s = n_A|_{y+\Delta y} \cdot \Delta x \cdot \Delta z \quad (\text{Eq. 8})$$

$$z: [\dot{m}_A]_s = n_A|_{z+\Delta z} \cdot \Delta x \cdot \Delta y \quad (\text{Eq. 9})$$

A taxa mássica total de entrada e saída em VC é a soma nas três direções, que substituindo o conjunto de equações acima (3 a 9) na equação (2), e dividindo a equação resultante pelo volume de controle ( $\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$ ) tem-se a equação (10).

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} = - \frac{\partial n_A}{\partial x} - \frac{\partial n_A}{\partial y} - \frac{\partial n_A}{\partial z} \quad (\text{Eq. 10})$$

Substituindo o fluxo mássico ( $n_A$ ) de acordo com a Eq. 1 na Eq. 10, obtém-se a Equação 11:

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left( -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( -D_{AB} \frac{\partial \rho_A}{\partial z} \right) \quad (\text{Eq. 11})$$

Assumindo a difusividade mássica ( $D_{AB}$ ) constante, a equação 11 é reescrita conforme equação 12:

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} = D_{AB} \left( \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial z^2} \right) \quad (\text{Eq. 12})$$

Para difusão de matéria em regime transiente e unidimensional (em  $x$ ), a Eq. (12) é simplificada de acordo com a Eq. (13).

$$\frac{\partial \rho_A}{\partial t} = D_{AB} \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial x^2} \quad (\text{Eq. 13})$$

A equação acima é conhecida como a 2ª Lei de Fick e descreve o perfil de concentração mássica da espécie A em um meio B.

Considerando a massa específica da mistura ( $\rho$ ), na qual o componente A faz parte, a fração mássica deste elemento ( $x_A$ ) é obtida por:

$$x_A = \frac{\rho_A}{\rho} \quad (\text{Eq. 14})$$

Substituindo a Eq. 14 na Eq. 13 e, assumindo a massa específica ( $\rho$ ) constante, chega-se a Eq. (15).

$$\frac{\partial x_A}{\partial t} = D_{AB} \frac{\partial^2 x_A}{\partial x^2} \quad (\text{Eq. 15})$$

Desta forma, assumindo que as fatias de melão de meia espessura  $L = 3,35$  mm aproximam-se de uma placa plana infinita (fluxo unidimensional), encolhimento desprezível ( $L$  constante), resistência à transferência de calor e massa externa inexistente, temperatura no interior da amostra uniforme, e, aplicando as condições inicial (CI) e de contornos (CC):

$$\text{CI: } t=0, \quad -L \leq x \leq L \quad x_A = x_{A0}$$

$$\text{CC 1: } t > 0 \quad x = -L \quad x_A = x_{Aeq}$$

$$\text{CC 2: } t > 0 \quad x = L \quad x_A = x_{Aeq}$$

Onde  $x_{A0}$  é a fração mássica de água inicial das fatias de melão antes da secagem,  $x_{Aeq}$  é a fração de umidade de equilíbrio com o ar de secagem, ambos em base seca, obtém-se a solução analítica da Eq. (15), de acordo com a eq. (16) (Crank, 1975).

$$\frac{x_A - x_{Aeq}}{x_{A0} - x_{Aeq}} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \exp\left(\frac{-D_{AB}(2n+1)^2\pi^2 t}{4L^2}\right) \cos\left(\frac{(2n+1)\pi x}{2L}\right) \quad (\text{Eq. 16})$$

A equação (16) representa o perfil de concentração de umidade (base seca) no interior das fatias de melão considerando a posição espacial ( $x$ ) e temporal ( $t$ ) durante a secagem. Entretanto, considerando a fração de água média ( $\bar{x}_A$ ) das fatias de melão, sem levar em consideração a posição espacial, em intervalos de tempo de secagem pré-estabelecidos, a solução analítica da 2ª Lei de Fick, em termos de fração mássica do elemento A, é apresentada pela equação (17).



$$\frac{\bar{x}_A - x_{Aeq}}{x_{A0} - x_{Aeq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(\frac{-D_{AB}(2n+1)^2 \pi^2 t}{4L^2}\right) \quad (\text{Eq. 17})$$

### 2.5.2. Modelos semiteórico e empírico

Alguns modelos são baseados na teoria da difusão, assumindo que a resistência ocorre numa fina camada na superfície das partículas, como o modelo de Lewis, que na sua forma integrada é comumente chamada de modelo exponencial (Equação 18) e o modelo de Page (Equação 19). Sendo que modelo de Lewis estabelece que a taxa de secagem seja proporcional ao teor de água livre (Parry, 1985).

$$MR = \exp(-kt) \quad (\text{Eq. 18})$$

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (\text{Eq. 19})$$

Onde MR corresponde a umidade adimensional  $(x_A - x_{Aeq}) / (x_{A0} - x_{Aeq})$ , k e n constantes da equação e t o tempo.

### 2.5.3. Parâmetros de qualidade

A qualidade estatística dos ajustes dos modelos foi avaliada pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro relativo médio (MRE) (Equação 20) e a *root meansquare* (RMS) (Equação 21).

$$MRE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X_e - X_t|}{X_e} \quad (\text{Eq. 20})$$

$$MRS = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(X_e - X_t)^2]}{N}} \quad (\text{Eq. 21})$$

Onde  $X_t$  significa os valores teóricos e  $X_e$  aos valores experimentais e N o número total pontos observados.

## 3. Resultados e discussão

Em relação à caracterização do melão fresco, estes apresentaram, em média, 93,88 % de conteúdo de umidade inicial e sólidos solúveis totais de 6,9 °Brix. Resultado semelhante foi encontrado por Silva *et al.* (2011) para o melão amarelo ouro com 94,94% de umidade.

De acordo com Santos *et al.* (2011), o teor de sólidos solúveis totais mínimo aceitável para o consumo é acima de 9°Brix. Os valores encontrados no presente trabalho sugerem que as amostras avaliadas não estavam apropriadas para o consumo em sua forma fresca, sendo o mesmo verificado por (Júnior *et al.*, 2005). Porém, quando este melão é seco, os sólidos solúveis são

concentrados devido à eliminação da água, conferindo um produto final com qualidades sensoriais bastante apreciáveis.

A Tabela 2 apresenta os conteúdos de umidade, em base úmida, das fatias de melão após o pré-tratamento osmótico, de acordo com a temperatura, concentração e tempo de contato da solução.

**Tabela 2** - Teores de umidade (X) de fatias de melão amarelo após desidratação osmótica em função da temperatura ( $T_{DO}$ ), concentração ( $C_{DO}$ ) e tempo de contato ( $t_{DO}$ ).

Ensaio (DO)			X Umidade
$T_{DO}$ (°C)	$C_{DO}$ (%)	$t_{DO}$ (h)	X (BU)
30	50	2	0,7012
	44	1,4	0,7599
34	44	2,6	0,7238
	56	1,4	0,7318
	56	2,6	0,6775
	40	2	0,7706
	50	1	0,7465
40	50	2	0,7373
	50	3	0,6422
	60	2	0,6781
	44	1,4	0,7064
46	44	2,6	0,6897
	56	1,4	0,6810
	56	2,6	0,5882
50	50	2	0,6646

Comparando o teor de umidade inicial do fruto fresco com os submetidos à desidratação osmótica (Tabela 2), observa-se uma acentuada redução do conteúdo de umidade após o alimento ser submetido à DO. Houve uma queda de 17,91% até 37,34% do teor de umidade inicial das fatias de melão para as amostras submetidas a DO quando comparado com a umidade do melão fresco (93,88%). Ainda pode-se notar pela Tabela 2 que há certa tendência no abaixamento do conteúdo de umidade das amostras conforme estas são submetidas a desidratação osmótica em condições superiores de temperatura, concentração da solução e tempo de contato.

De acordo com Mendes *et al.* (2013), o aumento na concentração da solução de 30 para 60 °Brix proporcionou um aumento na perda de água e maior incorporação de solutos em amostras de

laranja. A perda de água do alimento ocorre pela diferença de pressão osmótica e a transferência de massa de moléculas de açúcar é devido ao inchaço da membrana, o que favorece a permeabilidade da membrana celular (Akbarian *et al.*, 2015).

Segundo Silva *et al.* (2012), em estudo com acerola utilizando sacarose como agente osmótico para avaliar proporções fruto-solução em 1:4, 1:10 e 1:15, a relação ideal que os pesquisadores obtiveram os melhores valores para perda de água, ganho de sólidos e redução de peso foi na proporção de fruto-solução de 1:10 (p/p), sendo esta razão fixada nestes experimentos.

O modelo teórico baseado na solução analítica da Segunda Lei de Fick (Eq. 17) e o modelo empírico de Page (Eq. 19) foram testados aos resultados experimentais. A Tabela 3 apresenta os valores obtidos para os parâmetros  $k$  e  $n$  da Equação de Page, bem como a qualidade estatística do ajuste do modelo avaliada pelos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro relativo médio (MRE) e o (*root meansquare*), ambos calculados pelas Equações (20) e (21).

**Tabela 3** - Parâmetros da equação de Page ( $k$  e  $n$ ) em função das variáveis de processo.

$T_{AR}$ (°C)	$T_{DO}$ (°C)	$C_{DO}$ (%)	$t_{DO}$ (h)	Parâmetros – Page		$R^2$	MRE %	RMS %
				$k \cdot 10^4$	$n$			
40				0,0035	1,4867	0,998	19,76	1,62
46				0,1	1,1914	0,996	29,99	6,01
55		<i>In natura</i>		0,1	1,222	0,994	15,84	3,38
64				0,087	1,2710	0,994	28,3	2,83
70				0,1	1,269	0,998	20,89	4,17
40	40	50	2	0,0629	1,2901	0,999	20,64	0,81
46	46	56	2,6	0,7	1,0596	0,996	41,64	2,36
46	34	56	1,4	0,2	1,1736	0,998	22,36	3,45
46	46	44	2,6	0,015	1,5042	0,997	66,17	5,64
46	34	44	1,4	0,083	1,267	0,998	22,16	1,71
55	40	60	2	3,3	0,9244	0,996	32,04	1,91
55	30	50	2	0,3	1,1948	0,995	37,52	2,42
55	40	50	3	0,2	1,214	0,993	39,06	4,52
55	40	50	1	0,2	1,2419	0,999	35,20	5,64
55	40	40	2	0,2	1,2353	0,999	48,53	4,31
55	40	50	2	0,2	1,2381	0,998	22,92	1,96
55	50	50	2	1,0	1,0662	0,996	36,56	1,96
55	40	50	2	0,6	1,1110	0,999	39,76	1,31

55	40	50	2	1,2	1,0428	0,999	13,91	1,20
64	34	44	2,6	1,1	1,0890	0,998	33,12	1,46
64	46	56	1,4	5,1	0,9324	0,997	27,44	1,74
64	46	44	1,4	0,3	1,2093	0,998	15,19	1,88
64	34	56	2,6	5,2	0,9172	0,999	18,37	0,66
70	40	50	2	1,6	1,0367	0,998	36,52	1,58

Considerando os resultados de qualidade estatística, os coeficientes de determinação encontrados estão todos acima de 0,992, enquanto que o RMS maior foi de 6,01%, confirmando ser o modelo de Page satisfatório para descrever a cinética de secagem. Os autores que conduziram pesquisas enfocando a secagem de carambola (Santos *et al.*; 2010) e uva (Porto *et al.*, 2014) também encontraram que o modelo de Page pode ser adequadamente empregado, verificado pelos bons resultados da qualidade estatística avaliada.

Pelo *software Statistica 7.0* foi possível verificar o grau de significância das variáveis controladas ou independentes – temperatura do ar de secagem ( $T_{AR}$ ), temperatura da solução osmótica ( $T_{DO}$ ), concentração da solução ( $C_{DO}$ ) e do tempo de contato ( $t_{DO}$ ) da solução com a amostra – sobre os parâmetros  $n$  (Tabela 4) e  $k$  (Tabela 5) da equação de Page por meio da análise de variância (ANOVA). Com auxílio deste mesmo *software*, também se obteve as equações que descrevem o comportamento de cada fator.

Apenas os efeitos lineares da temperatura do ar e da concentração da solução osmótica foram significativos ( $p \leq 0,05$ ) sobre o parâmetro  $n$  (Tabela 4).

**Tabela 4** - Nível de significância ( $p$ ) dos efeitos das variáveis de processo sobre o parâmetro  $n$  do modelo de Page.

Efeitos ( $n$ )	$p \leq 0,05$
$T_{AR}(L)$	0,018867
$T_{AR}(Q)$	0,835308
$C_{DO}(L)$	0,003333
$C_{DO}(Q)$	0,393273
$T_{DO}(L)$	0,981921
$T_{DO}(Q)$	0,768047
$t_{DO}(L)$	0,914693
$t_{DO}(Q)$	0,391111
$T_{AR}(L)$ by $C_{DO}(L)$	0,711253
$T_{AR}(L)$ by $T_{DO}(L)$	0,882320

$T_{AR}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,515010
$T_{DO}(L)$ by $C_{DO}(L)$	0,241049
$C_{DO}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,486570
$T_{DO}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,077321

Desta forma, eliminando aqueles efeitos que não contribuem significativamente na evolução do fator n, foi obtida a Equação 22.

$$n = 2,0436 - 0,006288 \cdot T_{AR} - 0,0111 \cdot C_{DO} \quad (\text{Eq. 22})$$

Onde as unidades das variáveis da Equação (22) devem ser  $T_{AR}$  (°C) e  $C_{DO}$  adimensional (p/p).

Em relação aos valores encontrados para a constante k, além dos efeitos significativos lineares da temperatura do ar e da concentração da solução osmótica, conforme observados para o parâmetro n, também apresentaram grau de significância ( $p \leq 0,05$ ) o termo quadrático da concentração e a interação linear entre os fatores temperatura do ar e concentração da DO ( $T_{AR} \times C_{DO}$ ) e a temperatura da DO e o tempo da DO ( $T_{DO} \times t_{DO}$ ), conforme Tabela 5. A Equação 23 descreve o comportamento do parâmetro k em função das variáveis independentes considerando seus efeitos significativos.

**Tabela 5** - Nível de significância (p) dos efeitos das variáveis de processo sobre o parâmetro k do modelo de Page.

Efeitos (k)	$p \leq 0,05$
$T_{AR}(L)$	0,028632
$T_{AR}(Q)$	0,585634
$C_{DO}(L)$	0,009739
$C_{DO}(Q)$	0,008396
$T_{DO}(L)$	0,905226
$T_{DO}(Q)$	0,824521
$t_{DO}(L)$	0,826338
$t_{DO}(Q)$	0,838288
$T_{AR}(L)$ by $C_{DO}(L)$	0,000599
$T_{AR}(L)$ by $T_{DO}(L)$	0,755597
$T_{AR}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,919337
$T_{DO}(L)$ by $C_{DO}(L)$	0,770651
$C_{DO}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,974585
$T_{DO}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,032229

$$k \cdot 10^4 = 15,1 - 0,18 \cdot T_{AR} - 0,52 \cdot C_{DO} + 0,0035 \cdot C_{DO}^2 + 0,00475 \cdot T_{AR} \cdot C_{DO} + 0,0001225 \cdot T_{DO} \cdot t_{DO} \quad (\text{Eq. 23})$$

No qual as unidades das variáveis da Equação (23) devem ser  $T_{AR}$  (°C),  $T_{DO}$  (°C),  $t_{DO}$  (h) e  $C_{DO}$  adimensional (p/p).

Para cada condição operacional, pelo ajuste não linear da solução analítica da Segunda Lei de Fick (Eq. 17), considerando os quatro primeiros termos da série, foi possível obter os valores da difusividade efetiva mássica ( $D_{AB}$ ) na qual estão listados na Tabela 6 juntamente com os respectivos parâmetros de qualidade estatística ( $R^2$ , MRE e RMS). Estes fatores de qualidade deixam claro que para o modelo difusional de Fick houve um desvio superior comparado aos resultados encontrados para o modelo de Page. Este comportamento pode ser explicado devido às hipóteses assumidas para obtenção da solução analítica da 2ª Lei de Fick, principalmente em considerar o não encolhimento da amostra, uma vez que a secagem de materiais biológicos promove, em sua maioria, a redução significativa de seu volume.

**Tabela 6-** Difusividade efetiva da água em função das variáveis de processo.

$T_{AR}$ (°C)	$T_{DO}$ (°C)	$C_{DO}$ (p/p)	$t_{DO}$ (h)	$D_{AB} \cdot 10^{10}$ ( $m^2 s^{-1}$ )	$R^2$	MRE%	RMS%
40				1,41	0,8981	22,39	11,93
46				2,56	0,9533	36,52	9,04
55		<i>In natura</i>		2,99	0,9428	34,56	9,13
64				3,67	0,9416	68,00	9,19
70				4,49	0,9515	35,61	8,79
40	40	50	2	3,32	0,9480	62,97	8,38
46	46	56	2,6	4,42	0,9756	37,84	5,24
46	34	56	1,4	3,89	0,9668	60,54	7,08
46	46	44	2,6	3,9	0,9350	50,14	10,27
46	34	44	1,4	3,42	0,9542	70,63	8,53
55	40	60	2	6,05	0,9902	31,97	3,34
55	30	50	2	5,92	0,9649	35,63	6,62
55	40	50	3	5,11	0,9673	30,31	6,99
55	40	50	1	4,44	0,9642	39,24	8,95
55	40	40	2	4,53	0,9634	77,45	7,16
55	40	50	2	5,29	0,9688	83,58	7,35
55	50	50	2	6,46	0,9794	36,71	4,64
55	40	50	2	5,3	0,9775	28,10	5,66
55	40	50	2	5,98	0,9847	27,00	4,83
64	34	44	2,6	8,31	0,9821	38,75	4,32

64	46	56	1,4	10,76	0,9927	29,38	2,74
64	46	44	1,4	6,61	0,9687	65,27	6,63
64	34	56	2,6	9,63	0,9949	23,30	2,30
70	40	50	2	7,81	0,9853	39,91	3,70

Comparando os valores de  $D_{AB}$  das fatias de melão *in natura* com aqueles na qual as fatias foram submetidas ao pré-tratamento osmótico anterior à secagem convectiva, observa-se um real aumento quando as amostras passam pela desidratação osmótica. Resultados inversos foram encontrados por Rahman *et al.*(2012)na secagem de rambutan precedida pela DO em concentração de 40% de sacarose (p/p), sendo os valores da  $D_{AB}$ reportados de  $2,99 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para as amostras pré-tratadas e  $3,11 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para as amostras frescas.

A elevação da temperatura do ar de secagem é uma variável que contribuiu significativamente para o aumento da difusividade efetiva, sendo este efeito bastante comum com diversos relatos na literatura como para carambola, farinha de grãos de urucum e pimenta cambuci (Santos *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2014; Derlan *et al.*, 2013).

De acordo com o resultado ANOVA, a Tabela 7 traz três fatores com grau de significância ( $p \leq 0,05$ ) sobre o parâmetro  $D_{AB}$ , sendo eles, os efeitos lineares da temperatura do ar, da concentração da solução osmótica e da interação tempo de contato e temperatura da solução osmótica. O modelo matemático que leva em consideração estas variáveis e seus efeitos significativos seguem conforme Equação (24).

**Tabela 7** - Nível de significância (p) dos efeitos das variáveis de processo sobre a difusividade ( $D_{AB}$ ).

Efeitos ( $D_{AB}$ )	$p \leq 0,05$
$T_{AR}(L)$	0,000029
$T_{AR}(Q)$	0,514791
$C_{DO}(L)$	0,027931
$C_{DO}(Q)$	0,823909
$T_{DO}(L)$	0,800687
$T_{DO}(Q)$	0,293348
$t_{DO}(L)$	0,654399
$t_{DO}(Q)$	0,802901
$T_{AR}(L)$ by $C_{DO}(L)$	0,132808
$T_{AR}(L)$ by $T_{DO}(L)$	0,594544
$T_{AR}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,903211

$T_{DO}(L)$ by $C_{DO}(L)$	0,698789
$C_{DO}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,675472
$T_{DO}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,000225

$$D_{AB} \cdot 10^{10} = -4,746 + 0,16698 \cdot T_{AR} + 0,027625 \cdot C_{DO} + 3,895 \cdot 10^{-4} \cdot T_{DO} \cdot t_{DO} \quad (\text{Eq. 24})$$

Para a unidade de  $D_{AB}$  ser obtida em ( $m^2 s^{-1}$ ),  $T_{AR}$  deverá estar em ( $^{\circ}C$ ),  $T_{DO}$  ( $^{\circ}C$ ),  $t_{DO}$  (h) e  $C_{DO}$  adimensional (p/p).

De acordo com a resolução ANVISA/MS RDC n $^{\circ}$  272/05 (ANVISA, 2005), que estabelece os padrões de qualidade para os alimentos desidratados em pedaços ou inteiros, o teor máximo de umidade que estes produtos podem apresentar é de 25%, em base úmida, equivalente à 33,33% em base seca. Pelo modelo de Page (Eq. 19) e os seus respectivos parâmetros encontrados para cada condição operacional juntamente com os valores de  $X_o$  (umidade inicial) e  $X_{eq}$  (umidade de equilíbrio) foi possível encontrar o tempo necessário de secagem para que a amostra atingisse este teor de umidade final (25%). A Tabela 8 expressa os valores dos tempos encontrados utilizando a equação Page para se atingir um conteúdo de umidade final de 0,333 (base seca).

Com a finalidade de descrever este comportamento matematicamente, pela análise de variância (ANOVA), a Tabela 9 ilustra os valores significativos dos efeitos das variáveis e, de acordo com o grau de significância pré-estabelecido ( $p \leq 0,05$ ), alguns efeitos lineares foram encontrados, entre eles, o da temperatura do ar, temperatura e tempo da DO, e o efeito quadrático da temperatura do ar além das interações lineares entre alguns fatores.

**Tabela 8** - Tempo necessário para obter 25% de umidade, em base úmida nas fatias de melão, levando em consideração o modelo de Page.

$T_{AR}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{DO}$ ( $^{\circ}C$ )	$C_{DO}$ (p/p)	$t_{DO}$ (h)	$X_o$ ( $kg_{\text{água}}/kg_{ms}$ )	$X_{eq}$	$t_x$ (horas)
40				12,33	0,0000	14,50
46				8,62	0,0865	12,66
55		<i>In natura</i>		6,84	0,20419	10,56
64				13,70	0,11692	8,16
70				6,71	0,04089	5,96
40	40	50	2	3,81	0,0000	5,96
46	46	56	2,6	1,35	0,05869	3,53
46	34	56	1,4	2,56	0,06475	5,56
46	46	44	2,6	1,86	0,08241	3,24
46	34	44	1,4	2,51	0,01498	5,04



55	40	60	2	1,99	0,04265	3,27
55	30	50	2	1,88	0,03250	2,80
55	40	50	3	1,46	0,00000	2,86
55	40	50	1	2,29	0,00000	2,85
55	40	40	2	2,65	0,08262	3,52
55	40	50	2	1,96	0,04034	2,90
55	50	50	2	1,63	0,08621	2,78
55	40	50	2	2,06	0,04096	3,19
55	40	50	2	2,02	0,06563	3,10
64	34	44	2,6	2,41	0,04594	2,39
64	46	56	1,4	2,19	0,08921	2,16
64	46	44	1,4	2,11	0,01070	2,57
64	34	56	2,6	1,81	0,12405	2,38
70	40	50	2	2,28	0,01281	2,44

\*Corresponde que o valor de umidade  $X_{eq}$  foi considerado zero.

**Tabela 9** - Nível de significância (p) das variáveis para as amostras atingirem 25% de umidade, em base úmida.

Efeitos	$p \leq 0,05$
$T_{AR}(L)$	0,00000533
$T_{AR}(Q)$	0,0059
$C_{DO}(L)$	0,9914
$C_{DO}(Q)$	0,7025
$T_{DO}(L)$	0,0085
$T_{DO}(Q)$	0,4624
$t_{DO}(L)$	0,0094
$t_{DO}(Q)$	0,5238
$T_{AR}(L)$ by $C_{DO}(L)$	0,4514
$T_{AR}(L)$ by $T_{DO}(L)$	0,0018
$T_{AR}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,0013
$T_{DO}(L)$ by $C_{DO}(L)$	0,8839
$C_{DO}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,9614
$T_{DO}(L)$ by $t_{DO}(L)$	0,0076

A equação que descreve o tempo para as fatias de melão atingirem o teor de umidade final em 33,33 % (b.s.), considerando as parcelas significativas das variáveis independentes do processo, é expressa pela Equação 25.

$$t_x = 27,32 - 0,6285 \cdot T_{AR} + 0,0037 \cdot T_{AR}^2 - 1,347 \cdot t_{DO} - 0,134 \cdot T_{DO} - 0,0028 \cdot T_{DO} \cdot t_{DO} + 0,02225 \cdot T_{AR} \cdot t_{DO} + 0,0022 \cdot T_{AR} \cdot T_{DO} \text{ (Eq. 25)}$$

As unidades das variáveis da Equação (25) são  $t_x$  (h),  $T_{AR}$  (°C),  $T_{DO}$  (°C),  $t_{DO}$  (h) e  $C_{DO}$  adimensional (p/p).

#### 4. Conclusão

O modelo empírico de Page foi o que descreveu melhor a cinética de secagem de fatias de melão, entretanto, pelo modelo difusional foi possível obter os valores da difusividade efetiva mássica. Houve uma clara tendência de os valores da difusividade aumentarem com a elevação da temperatura do ar de secagem, além de sofrerem um incremento também quando as amostras eram submetidas à desidratação osmótica anterior à secagem convectiva.

Dentre as variáveis independentes, a temperatura do ar foi a que mais apresentou influência sobre o tempo de secagem, seguido da temperatura da solução e do tempo de contato da amostra com a solução osmótica.

Pela análise de variância foi possível obter o grau de significância dos fatores independentes sobre os parâmetros dos modelos matemáticos e apresentar as equações que os descrevem em função destas variáveis.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação Araucária pela concessão de bolsa PIBIC (2012-2013) e (2013-2014) de iniciação científica.

#### 5. Referências

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. 1997. *Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists International*, Washington.

AKBARIAN, M., GHANBARZADEH, B., SOWTI, M. & DEGHANNYA, J. 2015. Effects of pectin-cmc-based coating and osmotic dehydration pretreatments on microstructure and texture of the hot-air dried quince slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 260-269.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (2005). Resolução RDC n°272. 2005. Disponível em

1230

ENGEVISTA, V. 19, n.5, p. 1213-1233, Dezembro 2017.

Todas as informações e direitos sobre o presente artigo são de total e única responsabilidade do(s) autor(es).

ISSN: 1415-7314

ISSN online: 2317-6717

<[http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/RDC\\_272\\_2005.pdf/780ccab6-3244-4b2b-8e94-29a6233063df](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/RDC_272_2005.pdf/780ccab6-3244-4b2b-8e94-29a6233063df)> Acesso em 09/12/2016.

BAPTESTINI, F. M., CORRÊA, P. C., JUNQUEIRA, M. S., RAMOS, A. M., VANEGAS, J. D. B. & COSTA, C. F. (2015). Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19, 1203-1208.

BOX, G. E. P., HUNTER, W. G. & HUNTER, J. S. (1978). *Statistics for Experimenters: an Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*, New York.

CATELAM, K. T., NAKAMURA, M. M. N. & TELIS-ROMERO, J. 2014. Cinética de secagem e coeficiente de difusividade de pimentas malaguetas desidratadas em secado de leito fixo. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis/SC, Brasil. 1-8.

CRANK, J. 1975. *The mathematics of diffusion*, New York, Oxford University.

DERLAN, J. M., SILVA, F. S., PORTO, A. G., LEITE, A. L. M. P. & PASTRO, D. C. 2013. Análise da cinética de secagem de pimenta Cambuci em diferentes temperaturas e formas de processamento. *Enciclopédia Biosfera*, 9, 97-107.

FIorentin, L. D., MENON, B. T., ALVES, J. A., BARROS, S. T. D., PEREIRA, N. C. & MÓDENES, A. N. 2010. Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço da laranja. *Acta Scientiarum Technology*, 32, 147-152.

GOUVEIA, J. P. G., MOURA, R. S. F., ALMEIDA, F. A. C., OLIVEIRA, A. M. V. & SILVA, M. M. 2002. Avaliação da cinética de secagem de caju mediante um planejamento experimental. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6, 471-474.

HEREDIA, A., BARRERA, C. & ANDRÉS, A. 2007. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques. Comparison of kinetics and other related properties. *Journal of Food Engineering*, 80, 111-118.

HOLDSWORTH, S.D. 1971. Dehydration of food products. A review. *Journal of Food Technology*, 6, 331-370.

IBGE. Produção - Brasil. 2015. Disponível em: <<http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?t=2&z=t&o=11&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1>>. Acesso em 07 de dezembro de 2016.

JÚNIOR, R. S., ROCHA, J. M. M., MENDES, A. M. S., NUNES, G. H. S. & NASCIMENTO, M. T. 2005. A. Aspectos Qualitativos do Melão Exportado pelo Porto de Natal-RN. *Caatinga*, 18, 200-203.

MARFIL, P. H. M. SANTOS, E. M. & TELIS, V. R. N. 2008. Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *Food Science and Technology*, 41, 1642-1647.

ISSN: 1415-7314

ISSN online: 2317-6717

MENDES, G. R. L., FREITAS, C. H., SCAGLIONI, P. T., SCHMIDT, C. G. & FURLONG, E. B. 2013. Condições para desidratação osmótica de laranjas e as propriedades funcionais do produto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 1210-1216.

MOREIRA, S. R., MELO, A. M. T., PURQUERIO, L. F. V., TRANI, P. E. & NARITA, N. 2009. Melão (*Cucumis melo L.*). Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_3/melao/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/melao/index.htm)>. Acesso em 27 de março de 2015.

NICOLETI, J.F., TELIS-ROMERO, J. & TELIS, V.R.N. 2001. Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: Fixed air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. *Drying Technology*, 19, 2175-2191.

OSORIO, C., FRANCO, M.S., CASTAÑO, M.P., GONZÁLEZ-MIRET, M.L., HEREDIA, F.J. & MORALES, A.L. 2007. Color and flavour changes during osmotic dehydration of fruits. *Inovative Food Science and Emerging Technologies*, 8, 353-359.

PARRY, J.L. 1985. Mathematical modelling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying: a review. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32, 1-29.

PEIRÓ-MENA, R., CAMACHO, M.M. & MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. 2007. Compositional and physicochemical changes associated to successive osmodehydration cycles of pineapple (*Ananascomosus*). *Journal of Food Engineering*, 79, 842-849.

PORTO, M. A. L., GUERRA, N. B., VASCONCELOS, M. A. S., SIQUEIRA, A. M. O. & ANDRADE, S. A. C. 2014. Otimização da desidratação osmótica de uva *Crimson Seedless*. *Revista Ciência Agronômica*, 45, 249-256.

QUEIROZ, V. A. V., BERBERT, P. A., MOLINA, M. A. B., GRAVINA, G. A. & QUEIROZ, L. R. 2010. Mecanismos de transferência de massa na desidratação osmótica de goiaba em soluções de sacarose, sucralose e açúcar invertido. *Engenharia Agrícola*, 30, 715-725.

RAHMAN, S.N.F.S.A., WAHID, R. & RAHMAN, N. A. Drying kinetics of *Nephelium Lappaceum* (Rambutan) using Osmotic Dehydration. Symposium on Business, Engineering and industrial Applications, 2012, Bandug. Anais Bandug: Ministry of Higher Education Malaysia, p. 798-802

RIBEIRO, R. C. 2013. *Tomates semi desidratados obtidos por secagem micro-ondas convectiva precedida por desidratação osmótica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras.

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

SANTOS, A. F., COSTA, C. C., SILVA, F. V. G., SILVA, R. M. B. & MEDEIROS, L. L. 2011. Qualidade de Melão Rendilhado sob diferentes doses nutricionais. *Revista Verde*, 6, 134-145.

ISSN: 1415-7314

ISSN online: 2317-6717

SANTOS, D. C., QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIRÊDO, R. M. F. & OLIVEIRA, E. N. A. 2014. Difusividade efetiva e energia de ativação em farinhas de grãos residuais de urucum. *Comunicata Scientiae*, 5, 75-82.

SILVA, B. G. 2013. *Modelagem e simulação do processo de secagem dos frutos de aroeira-vermelha (Schinus terebinthifolius Raddi)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, L. M. M., FIGUEIRÊDO, R. M. F., SOUSA, F. C., SOUSA, E. P. & LIMA, A. K. V. O. 2011. Parâmetros químicos, físico e físico-químicos de três variedades de melão. *Revista Verde*, 6, 242-246.

SILVA, M. A. C., SILVA, Z. E., MARIANI, V. C. & DARCHE, S. 2012. Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 45, 246-252.

ZHANG, M., TANG, J., MUJUMDAR, A. S. & WANG, S. 2006. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 17, 524-534.