



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**BEATRIZ SANTOS DA SILVA**

**ESTUDO CINÉTICO DE SECAGEM DE ABÓBORA (*Cucurbita moschata*) *in natura* E  
SUBMETIDA AO CONGELAMENTO**

JOÃO PESSOA

2016

BEATRIZ SANTOS DA SILVA

**ESTUDO CINÉTICO DE SECAGEM DE ABÓBORA (*Cucurbita moschata*) in natura E  
SUBMETIDA AO CONGELAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso Engenharia de  
Alimentos do Centro de Tecnologia da  
Universidade Federal da Paraíba, como parte  
dos requisitos para obtenção do título de  
Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Dr.<sup>a</sup> Joselma Araújo de Amorim

JOÃO PESSOA

2016

S586e Silva , Beatriz Santos da

Estudo cinético de secagem de abóbora (Cucurbita moschata) in natura e submetida ao congelamento./ Beatriz Santos da Silva./ - João Pessoa, 2016.

55f. il.:

Orientador: Profa. Joselma Araújo de Amorim

Monografia ( Curso de Graduação em Engenharia Alimento)  
CGEA./ Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba

1. Abóbora 2. Cinética 3. Secagem I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 664 (043)

BEATRIZ SANTOS DA SILVA

**ESTUDO CINÉTICO DE SECAGEM DE ABÓBORA (*Cucurbita moschata*) in natura E  
SUBMETIDA AO CONGELAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Data: 30/05/2016

Resultado: *Aprovada*

**Banca examinadora**

  
Prof.ª Dr.ª Joselma Araújo de Amorim  
(Orientadora)

  
Prof. Dr. Geraldo Dantas Silvestre Filho  
(Examinador)

  
Prof.ª Dr.ª Marta Célia Dantas Silva  
(Examinadora)

JOÃO PESSOA

2016

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por ter me dado forças para superar todos os momentos difíceis pelos quais passei e por tudo o que foi conquistado até aqui.

Agradeço aos meus pais, Carlos e Letícia, e a minha tia Joseane pela confiança em mim depositada e pelo apoio recebido durante toda essa jornada.

Agradeço à Professora Dr<sup>a</sup> Joselma Araújo de Amorim por sua orientação ao longo deste trabalho, por compartilhar o seu conhecimento e experiência, com paciência, dedicação e carinho.

Agradeço aos Professores Geraldo Dantas Silvestre Filho e Marta Célia Dantas Silva por fazerem parte da banca, contribuindo com sugestões para enriquecer este trabalho.

Agradeço à Professora Helenice Duarte de Holanda por ceder gentilmente seu laboratório e seus equipamentos para realização deste trabalho.

Agradeço ao meu amado, Ophir, por ser muito mais que um companheiro. Obrigada pelo amor, compreensão e suporte durante esta fase da minha vida.

Agradeço à Gabriela, por ter dividido bons e maus momentos durante a nossa jornada acadêmica e pela amizade.

Agradeço aos meus “bestinhos” de curso Érika, Jéssica, Jacinta e Matheus pelo companheirismo e pelos momentos de estudos, de diversão e de alegria.

Agradeço à Elany por sua companhia, amizade e irmandade. Obrigada por sempre me fazer rir.

Agradeço aos técnicos: Chico, Thayze e Diógenes pelo auxílio nos experimentos.

A todos o meu sincero obrigada!

## RESUMO

A abóbora, um vegetal da família da *Cucurbitaceae*, se destaca por sua riqueza em carotenoides (precursor da vitamina A), minerais, fibra alimentar e proteínas, além de ser um fruto de baixo valor calórico e de fácil digestão. Sob a forma desidratada, apresenta maior tempo de conservação e diversidade de utilização em preparações alimentícias. O presente trabalho teve como finalidade estudar a cinética de secagem de abóbora (*Cucurbita moschata*) *in natura* e pré-tratada por congelamento, bem como, avaliar a composição química das melhores condições pós-secagem. O processo de secagem foi conduzido em estufa de circulação e renovação de ar, tendo como variáveis de entrada a temperatura do ar (50, 60 e 70°C) e a dimensão das amostras ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ). Também foi estudada a influência dessas variáveis, assim como os pré-tratamentos utilizados, sobre a cinética de secagem e encolhimento das amostras. Para o ajuste matemático dos dados experimentais, foram usados os modelos de Lewis, Page, Dois Termos e Henderson e Pabis; as magnitudes do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do erro médio estimado (SE) foram usadas para analisar o grau de ajuste dos modelos. Os resultados obtidos revelaram que a combinação alta temperatura e menor dimensão das amostras favoreceu a redução do tempo de secagem da abóbora tanto *in natura* quanto congelada. Quanto ao tipo de tratamento adotado, as amostras submetidas ao congelamento apresentaram maior velocidade de secagem e encolhimento final. O modelo matemático de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem. Em relação à composição química das amostras pós-processo, os teores de umidade encontrados (<18%) são suficientes para a conservação dos produtos. Além disso, tais produtos apresentaram bons percentuais de proteínas e de minerais, tornando-os uma opção para obtenção de outros produtos, como, sopa desidratada, abóbora em flocos, entre outros.

**Palavra chave:** Abóbora; Congelamento; Encolhimento; Secagem.

## ABSTRACT

The pumpkin, a vegetable of the *Cucurbitaceae* family, stands out for being rich in carotenoids (precursor of the vitamin A), minerals, dietary fiber and proteins, besides being a low calorie fruit and easily digestible. In its dehydrated form, it has a longer time of conservation and a diversity of uses in food preparations. The following work had as objective study the drying kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) in nature and pre-treated by freezing, as well as evaluate the chemical composition of the best post-drying conditions. The drying process was realized in drying oven with air renovation and circulation, having as input variables air temperature (50, 60 and 70 °C) and sample dimensions ( $A_1$ ,  $A_2$  and  $A_3$ ). Also was studied the influence of these variables, as well as the pre-treated used, about the drying kinetics and shrinking of the samples. To make a mathematical adjustment of the experimental data, were used the models of Lewis, Page, Two Terms, and Henderson and Pabis; the magnitude of the determination coefficient ( $R^2$ ) and the estimated average error (SE) were used to analyse the degree of the adjustment in the models. The results achieved showed that the combination of high temperature and smaller dimensions of the samples favours the drying time reduction of the pumpkin in nature as frozen. As for the type of treatment used, the samples exposed to freeze showed a faster drying time and a high final shrinking. The mathematic model of Page was the one which better adjustment to the drying experimental data. For the chemical composition of the samples after process, the humidity levels found (<18%) were enough for the product conservation. Besides, such products showed good percentuals of proteins and minerals, making them an option for obtaining other products such as dehydrated soup, pumpkin flakes, among others.

**Key-words:** Pumpkin; Freezing; Shrinking; Drying.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Aboboreira.....	14
<b>Figura 4.1</b> Abóbora da variedade Jacaré.....	25
<b>Figura 5.1</b> Adimensional de umidade em função do tempo para secagem de abóbora <i>in natura</i> à temperatura de 50, 60 e 70°C a dimensão de A <sub>1</sub> (a), de A <sub>2</sub> (b) e de A <sub>3</sub> (c).....	31
<b>Figura 5.2</b> Adimensional de umidade em função do tempo para secagem de abóbora congelada à temperatura de 50, 60 e 70°C a dimensão de A <sub>1</sub> (a), de A <sub>2</sub> (b) e de A <sub>3</sub> (c).....	31
<b>Figura 5.3</b> Adimensional de umidade em função do tempo para secagem de abóbora <i>in natura</i> para diferentes áreas de exposição (A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> e A <sub>3</sub> ) à temperatura de 50 (a), de 60 (b) e de 70°C.....	33
<b>Figura 5.4</b> Adimensional de umidade em função do tempo para secagem de abóbora congelada para diferentes áreas de exposição (A <sub>1</sub> , A <sub>2</sub> e A <sub>3</sub> ) à temperatura de 50 (a), de 60 (b) e de 70°C.....	34
<b>Figura 5.5</b> Efeito do pré-tratamento sobre a cinética de secagem da abóbora a 50°C na área de exposição: (a) A <sub>1</sub> , (b) A <sub>2</sub> e (c) A <sub>3</sub> .....	36
<b>Figura 5.6</b> Efeito do pré-tratamento sobre a cinética de secagem da abóbora a 60°C na área de exposição: (a) A <sub>1</sub> , (b) A <sub>2</sub> e (c) A <sub>3</sub> .....	36
<b>Figura 5.7</b> Efeito do pré-tratamento sobre a cinética de secagem da abóbora a 70°C na área de exposição: (a) A <sub>1</sub> , (b) A <sub>2</sub> e (c) A <sub>3</sub> .....	37
<b>Figura 5.8</b> Curvas de taxa de secagem da abóbora <i>in natura</i> e pré-tratada por congelamento na temperatura de 50°C com área de exposição: (a) A <sub>1</sub> , (b) A <sub>2</sub> e (c) A <sub>3</sub> .....	38
<b>Figura 5.9</b> Curvas de taxa de secagem da abóbora <i>in natura</i> e pré-tratada por congelamento na temperatura de 60°C com área de exposição: (a) A <sub>1</sub> , (b) A <sub>2</sub> e (c) A <sub>3</sub> .....	39
<b>Figura 5.10</b> Curvas de taxa de secagem da abóbora <i>in natura</i> e pré-tratada por congelamento na temperatura de 70°C com área de exposição: (a) A <sub>1</sub> , (b) A <sub>2</sub> e (c) A <sub>3</sub> .....	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> Composição nutricional da abóbora.....	16
<b>Tabela 5.1</b> Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da abóbora ao modelo de Lewis.....	41
<b>Tabela 5.2</b> Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da abóbora ao modelo de Page.....	41
<b>Tabela 5.3</b> Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da abóbora ao modelo de Henderson e Pabis.....	42
<b>Tabela 5.4</b> Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da abóbora ao modelo de Dois Termos.....	42
<b>Tabela 5.5</b> Grau de encolhimento em abóbora <i>in natura</i> .....	44
<b>Tabela 5.6</b> Grau de encolhimento em abóbora congelada.....	44
<b>Tabela 5.7</b> Caracterização físico-química das amostras secas em base úmida.....	45

## LISTA DE SÍMBOLOS

a	Coeficiente do modelo de Dois Termos e Henderson e Pabis	adimensional
$A_1$	Área de exposição da amostra 1	$\text{cm}^2$
$A_2$	Área de exposição da amostra 2	$\text{cm}^2$
$A_3$	Área de exposição da amostra 3	$\text{cm}^2$
GLR	Graus de liberdade do modelo	-
k	Constante de secagem	$\text{s}^{-1}$
n	Coeficiente do modelo de Page	adimensional
$R^2$	Coeficiente de determinação	-
RU	Razão de umidade	adimensional
SE	Erro médio estimado	-
t	Tempo	s
U	Umidade absoluta do produto	decimal b. s.
$U_0$	Umidade inicial do produto	decimal b. s.
$U_e$	Umidade de equilíbrio do produto	decimal b. s.
Y	Valor observado experimentalmente	-
$Y_0$	Valor calculado pelo modelo	-

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>133</b>
2.1 ABÓBORA .....	13
2.1.1 Histórico da abóbora.....	13
2.1.2 Botânica.....	13
2.1.3 Importância Socioeconômica .....	15
2.1.4 Aspectos nutricionais .....	16
2.2 SECAGEM.....	17
2.2.1 Processo de secagem.....	17
2.2.2 Cinética de secagem .....	19
2.2.3 Modelos matemáticos de secagem .....	20
2.2.3.1 Modelo de Lewis .....	21
2.2.3.2 Modelo de Page .....	21
2.2.3.3 Modelo de Henderson e Pabis.....	22
2.2.3.4 Modelo Exponencial Dois Termos .....	22
2.3 PRÉ-TRATAMENTO .....	22
2.3.1 Congelamento .....	22
2.4 ENCOLHIMENTO .....	23
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>24</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
4.1 LOCAL DA PESQUISA .....	25
4.2 MATÉRIA-PRIMA .....	25
4.2.1 Higienização da matéria-prima .....	26
4.3 PREPARO DAS AMOSTRAS .....	26
4.3.1 Abóbora <i>In natura</i> .....	26
4.3.2 Abóboras congeladas .....	26
4.4 SECAGEM.....	27
4.4.1 Processo de secagem.....	27
4.4.2 Cinética de secagem .....	27
4.4.3 Ajuste por modelos matemáticos .....	28
4.4.4 Determinação do encolhimento.....	28
4.5 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS .....	28
4.6 ANÁLISE DOS DADOS .....	28
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>30</b>
5.1 CINÉTICA DE SECAGEM .....	30
5.1.1 Influência dos parâmetros na secagem .....	30
5.1.1.1 Influência da temperatura do ar na secagem.....	30
5.1.1.2 Influência da dimensão das amostras na secagem.....	32

5.1.2 Avaliação do efeito do pré-tratamento na cinética de secagem .....	35
5.2 AJUSTES POR MODELOS MATEMÁTICOS .....	40
5.3 DETERMINAÇÃO DO ENCOLHIMENTO.....	43
5.4 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS .....	45
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, um dos enfoques da população mundial tem sido dado à qualidade de vida e a saúde. Esta preocupação por melhores hábitos de vida tem gerado mudanças nos padrões de consumo de alimentos, tornando os consumidores cada vez mais exigentes e atenciosos para com os alimentos que ingerem, além de ocasionar uma crescente demanda nas prateleiras dos supermercados por alimentos saudáveis, nutritivos e/ou que aportem alguma funcionalidade benéfica adicional a saúde.

Devido às características nutricionais e à grande disponibilidade no mercado, a inclusão na dieta de produtos como frutas, legumes e verduras tanto *in natura* quanto processadas é uma das opções mais eficientes para atender as novas exigências do consumidor. A abóbora, por exemplo, é uma hortaliça que se encaixa perfeitamente dentro desse novo perfil alimentar.

A abóbora, popularmente conhecida em algumas regiões do Brasil como jerimum, é um legume que pertence à família das Cucurbitaceae, sendo originária das regiões tropicais do continente americano (RIBEIRO et al., 2013). É um fruto com poucas calorias, de fácil digestão e alto valor nutricional, sendo uma boa fonte de vitaminas do complexo B e sais minerais como cálcio, ferro, fósforo e zinco (PINEDO, 2003; RIBEIRO et al., 2013). Apresenta ainda na sua composição grande concentração de  $\alpha$ -caroteno e  $\beta$ -caroteno, carotenoides, considerados agentes antioxidantes naturais e precursores de vitamina A no nosso organismo, e recentemente, relacionados à prevenção de câncer e ao controle de doenças cardiovasculares (BORGES et al., 2008; RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA e AMAYA-FARFAN, 2008; FILHO, 2011).

Conforme Guiné, Pinho e Barroca (2010) a abóbora *in natura* contém alto conteúdo de água, com teores de umidade em torno de 88% a 92%, o que contribui para diminuição do tempo de vida útil do produto. Segundo Borges et al. (2008) através da técnica simples de secagem, a abóbora pode ser conservada por um maior período de tempo e utilizada de diversas maneiras sob a forma desidratada em preparações culinárias, contribuindo como uma alternativa alimentícia para combater a deficiência em vitamina A, que afeta milhares de pessoas no Brasil e no mundo.

A secagem é uma operação unitária de grande importância na indústria de alimentos, cuja finalidade básica consiste na retirada da água do material por evaporação, com intuito de evitar o desenvolvimento de microrganismos e de reações químicas que podem causar alterações indesejáveis no produto tornando-o impróprio para o consumo. Para os autores

Ferreira e Pena (2010) trata-se de um fenômeno complexo que envolve simultaneamente a transferência de calor e massa podendo conter ainda a transferência de quantidade de movimento.

De acordo com Park, Yado e Brod (2001) e Femenia et al.(2009) as vantagens de se utilizar o processo de secagem nos alimentos são várias, como, a facilidade em conservar o produto; manter a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; a proteção contra degradação enzimática e oxidativa; a diminuição do peso do produto; a economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano.

Todavia, além dos fatores desejáveis, o método de secagem se mal controlado pode provocar consequências negativas em relação à qualidade do produto desidratado, tais como, encolhimento, endurecimento superficial, alterações de cor e aroma, e perdas de nutrientes, entre outros. Dessa forma, a utilização de pré-tratamentos, feitos antes do processo de secagem ser realizado, é uma boa maneira de evitar mudanças nas características do produto final. Estes pré-tratamentos também influenciam na cinética de secagem, pois otimizam o processo, possibilitando menor tempo gasto e energia (PINEDO, 2003).

Segundo Brow (1967) citado por Kalluf (2006) dentro das operações de pré-tratamento, o congelamento tem uma importância significativa, devido, principalmente, à influência sobre a modificação da propriedade termo física da matéria-prima, afetando a porosidade, a permeabilidade e a condutividade térmica, conduzindo a uma grande alteração na cinética de secagem.

Portanto, no presente trabalho, foi realizado o estudo da cinética de secagem de abóbora em estufa com circulação e renovação de ar, por meio do controle dos parâmetros de processo (temperatura do ar e dimensões das amostras), com objetivo de comparar a secagem *in natura* e submetida ao congelamento, a fim de garantir o menor tempo de processo, visando à utilização da melhor condição de secagem para obtenção de novos produtos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ABÓBORA

#### 2.1.1 Histórico da abóbora

De acordo com a maioria dos naturalistas e historiadores, a abóbora tem origem no continente americano e, muito provavelmente, na América do Norte e Central (CARAMÉZ et al., 2008). Dentre as quinze espécies que compreende o gênero *Cucurbita*, a maior parte são oriundas da região central e sul do México, apenas a espécie *Cucurbita maxima* tem origem distinta, sendo esta da América do Sul (WHITAKER e KNIGHT, 1980; MERRICK, 1990).

Há indícios que a abóbora foi domesticada e cultivada por povos pré-colombianos (UFRGS, 2007). Sua dispersão pelos vários países americanos iniciou com o descobrimento da América e se tornou conhecida pelo mundo, a partir do século XVI, quando a cultura foi levada para o continente europeu, ganhando importância em virtude das suas características como alimento (ANDRES, 1990). Atualmente, é produzida em várias regiões do mundo, principalmente em países de clima tropical como o Brasil, onde encontra excelentes condições para seu desenvolvimento.

#### 2.1.2 Botânica

A abóbora é uma planta herbácea que pertence à classe *Dicotyledoneae*, ordem *Cucurbitales*, família *Cucurbitaceae*, tribo *Cucurbitinae*, gênero *Cucurbita* (JEFFREY, 1990; ALMEIDA, 2006) (Figura 2.1). A família *Cucurbitaceae* inclui cerca de 120 gêneros que contêm mais de 800 espécies distribuídas em todo o mundo, contudo, só alguns gêneros são usados para alimentação humana (ANDRES, 2009; TEPPNER, 2004). Em termos mundiais, dentro da família *Cucurbitaceae*, aproximadamente 27 espécies são cultivadas como hortaliças e utilizadas para fins econômicos, destacando-se as abóboras (*Cucurbita spp.*), as melancias (*Citrillus lanatus* L.), os melões (*Cucumis melo* L.) e os pepinos (*Cucumis sativus* L.) (BARBIERI et. al., 2006).

**Figura 2.1** – Aboboreira

**Fonte:** Solo Forte (2011).

Para Sanjur et al. (2002) as cinco espécies domesticadas mais importantes do gênero *Cucurbita* são: *C. pepo* Linneu (abobrinha), que é a espécie mais cultivada; *C. maxima* Duchesne (morangas); *C. moschata* Duchesne (abóbora); *C. ficifolia* Huber (morango); e *C. argyrosperma* Boucher (gila). Sendo as três primeiras as mais cultivadas no Brasil segundo Barbieri et al. (2007).

De acordo com Whitaker e Bohn (1950) os nomes abóbora, moranga e abobrinha são denominações regionais empregados, no cotidiano, sem nenhum critério taxonômico por produtores e consumidores. Desta forma, os termos utilizados são: abobrinha, quando os frutos são consumidos ainda verdes (*C. pepo* e, ou *C. moschata*); abóbora, quando os frutos são consumidos maduros (*C. moschata*); moranga, quando os frutos são consumidos secos, geralmente frutos de formatos arredondados ou achatados (*C. maxima*). Em algumas regiões do Brasil, principalmente, a região Nordeste, são popularmente conhecidas como jerimum caboclo (*C. maxima*) e jerimum de leite (*C. moschata*).

Apesar da existência de mais de cem variedades, que diferem entre si pelo formato, tamanho, cor da polpa, cor da casca, características das sementes, firmeza, teor de amido, teor de matéria seca, capacidade de armazenamento e sabor, as abóbora são culturas anuais, com crescimento “indeterminado” onde as ramas alongam-se por mais de cinco metros. Seus frutos são de consistência carnosa e succulenta sendo revestidos por uma casca que pode variar o grau de dureza de pouco mole a muito dura. A forma mais encontrada desse fruto é a redonda e ligeiramente achatada. Outros formatos são alongados, com aspectos cilíndricos e até

retorcidos. As espécies em geral são lisas, mas algumas têm superfície rugosa (BARSA, 1965; CATÁLOGO RURAL, 2005; SALES et al. 2015).

### 2.1.3 Importância Socioeconômica

A abóbora é uma *Cucurbitaceae* com significativa participação na alimentação básica de muitos países. Em alguns países da América Latina, como no caso do Brasil, o seu cultivo ocorre normalmente em propriedades rurais com intuito de atender às próprias necessidades alimentares e em cultivos comerciais tendo como o destino o mercado interno. Já o seu uso na alimentação animal é muito comum, devido à produtividade das plantas e à durabilidade dos frutos (GWANAMA et al., 2000; HEIDEN et al., 2007). Na alimentação humana, o seu consumo pode ser da forma direta (polpa e sementes) e na forma indireta na preparação de doces em calda ou em pasta, pratos salgados, xaropes, geleias, purês, ensopados ou cozidos (PROVESI et al., 2011).

Além do valor econômico e alimentar, o cultivo de abóbora no Brasil tem grande importância social na geração de empregos diretos e indiretos, visto que envolve grande demanda de mão de obra, desde o plantio até a comercialização (RESENDE, BORGES e GONÇALVES 2013).

De acordo com a pesquisa de Orçamentos Familiares do IBGE (2013) concluiu que o consumo médio anual per capita de hortaliças no Brasil foi de 27,08 kg, sendo a participação da abóbora de 1,19 kg, com maior consumo no Nordeste com 1,24 kg, e maior expressão no Piauí, com 2,62 kg.

No Brasil, os dados referentes à comercialização são escassos, sendo o último levantamento sistemático da produção desta cultura realizado pelo censo agropecuário em 2006, que registrou numa área colhida de 88.203 hectares, a produção de cerca de 385 mil toneladas de abóboras, cultivada em mais de 127 mil estabelecimentos agropecuários (IBGE, 2006). Os estados do Nordeste representaram 24,1% da produção nacional, sendo os maiores produtores a Bahia, Maranhão, Piauí e Pernambuco. A abóbora é bastante difundida na região, onde é considerada cultura de subsistência (CARMO et al., 2011).

Já a produção mundial de abóbora concentra-se praticamente nos continentes Asiático (65,97%), Europeu (14,02%) e Americano (11,14%), tendo a China como o maior produtor (mais de seis milhões de toneladas), seguido pela Índia (cerca de 4,6 milhões de toneladas) e Rússia (1,2 milhões de toneladas) (FAO, 2011).

### 2.1.4 Aspectos nutricionais

A abóbora está entre as hortaliças mais comuns e populares do mundo devido às suas características nutricionais e à coloração atrativa (CARAMEZ et al., 2008). A Tabela 2.1 relaciona a composição nutricional da abóbora crua.

**Tabela 2.1 - Composição nutricional da abóbora**

Componente	Quantidade	Umidade
Umidade	88 – 92	%
Energia	26	Kcal
Carboidrato	6,5	g
Lipídeos	0,1	g
Proteínas	1	g
Fibra	0,5 - 1,3	g
Cinzas	0,3 - 1,4	g
Potássio	340	mg
Fósforo	44	mg
Cálcio	21	mg
Sódio	1	mg
Ferro	0,8	mg
Tiamina (Vitamina B <sub>1</sub> )	0,05	mg
Riboflavina (Vitamina B <sub>2</sub> )	0,11	mg
Niacina (Vitamina B <sub>3</sub> )	0,6	mg
Pirodoxina (Vitamina B <sub>6</sub> )	0,06	mg
Vitamina A	160	mg
Vitamina C	11 – 12	mg

**Fonte:** Maroto (1995); Escobar e Buesa (1999); Kang et al. (2002); Fennema et al. (2004); e Guiné et al. (2010).

Além de sua composição abranger uma vasta quantidade de importantes nutrientes tais como, vitaminas do complexo B (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, e B<sub>6</sub>) e também em alguns sais minerais como, Potássio, Fósforo, Cálcio, Sódio e Ferro, que são reguladores de processos vitais no organismo humano e é interessante destacar a presença de carotenoides na abóbora. Estes carotenoides são o  $\alpha$ ,  $\beta$ -caroteno.

De acordo com Kalluf (2006), os teores de carotenos variam conforme as variedades do fruto. Arima (1987) através de estudos em quatro cultivares de *Cucurbitaceae* verificou

que os frutos de polpa mais alaranjada, o  $\beta$ -caroteno foi o carotenoide mais representativo com 36,1 a 73,8% do total. Já nas abóboras de polpa amarela e na abobrinha de polpa amarela pálida, o caroteno participante foi a luteína encontrada na faixa de 36,8 a 63,0% do total.

A importância dos carotenoides no metabolismo humano tem sido estudada. Segundo Bauernfeind (1972), dentre os carotenos, o  $\beta$ -caroteno é o que possui a maior atividade vitamínica A, ou seja, maior capacidade de ser convertido em vitamina A, seguido do  $\alpha$ -caroteno. Outra importante função dos carotenoides discutida é a ação preventiva contra o câncer, doenças cardiovasculares e outras doenças degenerativas, devido ao seu caráter antioxidante (ROSA, 2010). Entretanto, ainda há controvérsias relacionadas sobre este assunto.

É, ainda, interessante ressaltar que as abóboras são também conhecidas pelas propriedades de suas sementes que são ricas em lipídeos, proteínas, vitaminas e diversos minerais, principalmente, em ferro, podendo ser usadas em regiões onde se verifica deficiência deste nutriente na alimentação (MANTUANO, 2004; ALMEIDA, 2006) e quando trituradas apresentam funções anti-inflamatórias, diuréticas e emulsionantes ajudando no tratamento da febre, dor de ouvidos, inflamações das vias urinárias e desordens da próstata (CUNHA, 2003). As flores e as folhas têm despertado grande interesse dos pesquisadores, sobretudo pelo alto teor de minerais como um potencial ingrediente para elaboração de produtos de panificação, e em países asiáticos e africanos, estas partes do fruto são cozinhadas e consumidas como ervas aromáticas (PIEKARSKI, 2009). Além disso, algumas variedades de abóboras são utilizadas na fermentação de bebidas alcoólicas e/ou como plantas ornamentais (MAROTO, 1995), e também como decoração no famoso dia das bruxas (Halloween), uma tradição da norte-americana.

## 2.2 SECAGEM

### 2.2.1 Processo de secagem

Dentre os métodos utilizados para a preservação de alimentos, a secagem é provavelmente o mais antigo que se tem conhecimento. Além disso, é uma das técnicas mais empregadas nas indústrias alimentícias por ser de baixo custo e de operação mais simples quando comparada a outros tipos de métodos. De modo geral, o processo de secagem é uma operação unitária que consiste na remoção da água do material úmido através da aplicação de calor, a fim de vaporizar parte do conteúdo de água deste material, obtendo um produto sólido

seco. Pode ser realizado por meio natural expondo o produto ao sol e artificial por meio de secadores mecânicos (BARBANTI, MASTROCOLA e SEVERINI, 1994; GARCIA et al. 2007).

Desta maneira, durante a eliminação da água na secagem ocorre uma transferência de calor do ar para o material sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do material determina uma transferência de massa para o ar, na forma de vapor de água (PARK et al. 2002). Para que isto aconteça, a pressão de vapor do ar deve ser menor que a pressão de vapor no produto, condição esta que pode ser alcançada pelo aquecimento do ar (ATHIÉ et al., 1998). Conforme Daudin (1983) parte do calor que chega ao material é usada para evaporar a água e a outra para elevar sua temperatura. Com isto, ocorre o transporte do vapor de água da superfície do alimento para o ar, na forma gasosa, e o movimento da água na forma líquida, do interior para a superfície do alimento, até que o equilíbrio higroscópico seja atingido (BROOKER, BAKKER-ARKEMA e HALL, 1981).

Segundo Park (1988) vários mecanismos físicos foram propostos para descrever a transferência de massa nos produtos capilares porosos:

- A difusão líquida que ocorre devido à existência do gradiente de concentração;
- Difusão de vapor devido ao gradiente de pressão de vapor, causado pelo gradiente de temperatura;
- Escoamento de líquido e de vapor em virtude da diferença de pressão externa, concentração, alta temperatura e capilaridade;
- Conteúdo inicial de umidade do material;
- Conteúdo final de umidade que o material pode atingir, ou seja, a umidade de equilíbrio;
- De que forma a água se relaciona à estrutura do sólido;
- Como o transporte de água é feito do interior até a superfície do sólido.

Os fatores que governam a velocidade dos mecanismos de transferência descritos determinam a taxa de secagem. Estes fatores são: pressão de vapor do produto e do ar de secagem, temperatura e velocidade do ar, velocidade de difusão da água no material, espessura e superfície exposta para secagem (VAN ARSDEL, 1973).

### 2.2.2 Cinética de secagem

A cinética de secagem pode ser acompanhada através da obtenção dos dados de umidade da amostra ao longo do tempo de processo. A evolução das transferências simultâneas de calor e de massa no decorrer da secagem em condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, faz com que este processo seja dividido, esquematicamente, em três períodos: período de indução, período em taxa constante e período em taxa decrescente de secagem (VILLELA e SILVA, 1992; PORTELLA, 2009).

Segundo Park et al. (2002) o período de indução trata-se do período até se entrar em regime operacional, ou seja, no qual ocorre a adequação do produto às condições de secagem. O produto, no início do processo, é geralmente mais frio do que o ar e a pressão parcial de vapor de água na superfície do produto é baixa, e, conseqüentemente, a transferência de massa e a velocidade de secagem também o são.

Durante o período de taxa constante, a pressão de vapor de água na superfície é constante e igual à pressão de vapor de água pura à temperatura do produto. A temperatura do produto, por sua vez, é também constante e igual à temperatura de bulbo úmido, característica do fato de que as transferências de calor e de massa se compensam exatamente. Neste caso, a velocidade de secagem é constante (KEEY, 1972).

Este período continua, enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto seja suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água na superfície. É bom ressaltar que, para os materiais biológicos o período de secagem a velocidade constante é muito curto ou inexistente, pois as condições operacionais de secagem são tais que as resistências de transferências de massa encontram-se no interior do produto, tornando a taxa de evaporação superficial ao ambiente superior à taxa de reposição de água do interior para a superfície do material (EL-AUOAR, 2005).

O terceiro período corresponde à taxa decrescente do processo que, segundo Brod (2003), é a única observada para produtos biológicos. Tem início quando a quantidade de água começa a ser deficiente na superfície do material, ocasionando um decréscimo na velocidade de secagem. A transferência de calor não é mais compensada e, conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta e tende a se igualar à temperatura do ar. Durante todo este período, o fator limitante é a migração interna de água. A diminuição da taxa de secagem é devido ao abaixamento da pressão parcial de vapor de água na superfície do material. Quando o produto atinge o ponto de água de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado (KEEY, 1972).

Os métodos de cálculo da cinética de secagem são aplicados de modo diferente dependendo do período de secagem considerado. No período de taxa constante de secagem as transferências de calor e de massa na interface ar-produto governam a secagem e fixam a velocidade do processo. Enquanto que, na taxa decrescente, são as transferências internas que são limitantes (DAUDIN, 1983).

### 2.2.3 Modelos matemáticos de secagem

No estudo de sistemas de secagem, desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos, dimensionamento, otimização e determinação da viabilidade da aplicação comercial, é de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações teóricas em relação ao comportamento de cada produto durante a eliminação de água. Em referência à simulação, utilizam-se modelos matemáticos que representam satisfatoriamente a perda de umidade do produto durante o período de secagem (MENEGHETTI et al., 2012). De acordo com Mcminn (2006), na literatura, encontram-se diversos modelos matemáticos propostos a descrever o processo de secagem de produtos agrícolas.

O controle do processo de secagem de alimentos em camada delgada, processo no qual o material a ser seco está inteiramente exposto às condições constantes do ar que se move através dele, é baseado na curva de secagem do produto determinada pela desidratação do material em condições pré-estabelecidas e pelo teor de umidade. Esta é alcançada por meio da razão de umidade adimensional, como apresentado na Equação 2.1, em função do tempo de secagem (VELIC et al., 2004; MONTE et al., 2006; OLIVEIRA et al. 2009).

$$RU = \frac{U - U_e}{U_0 - U_e} \quad (2.1)$$

Para a modelagem dessas curvas de equilíbrio higroscópico, têm sido usadas relações matemáticas semiteóricas (Lewis ou Exponencial, Page, Page Modificado, Henderson e Pabis, e Dois Termos), e empíricas (modelos de Wang e Singh), uma vez que nenhum modelo teórico desenvolvido até hoje tem sido capaz de prever com precisão o teor de água de equilíbrio de produtos agrícolas em todas as faixas de temperatura e umidade relativa do ar, apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (BROOKER et al., 1992; McMINN, 2006).

Para Keey (1972) o método empírico é um método de abordagem com base em dados experimentais e na análise adimensional. Os modelos empíricos baseiam-se nas condições externas, como temperatura, razão da mistura e velocidade do ar de secagem. Entretanto, apesar de poder descrever bem a curva de secagem para as condições do experimento, não fornece indicação sobre o transporte de energia e de água no interior dos produtos em um dado instante de tempo definido. Desta forma, não é possível verificar as regiões onde ocorrem as maiores tensões hídricas, logo, não é possível obter controle das condições de secagem a fim de evitar qualquer tipo de dano ao alimento durante o processo de secagem (QUEIROZ et al., 1995; SILVA, 2009).

Segundo Brooker, Bakker-Arkema e Hall (1992) muita ênfase tem sido dada ao desenvolvimento de modelos semiteóricos para que haja harmonia entre a teoria e a facilidade de uso. De maneira geral, tais modelos se baseiam na Lei de Newton para resfriamento aplicado à transferência de massa. Quando se aplica esta Lei, presume-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de umidade se restrinja apenas à superfície do alimento.

#### *2.2.3.1 Modelo de Lewis*

Em alguns casos a teoria difusional não é adequada para ajustar o comportamento da taxa de secagem em virtude de interferências não efeito de resistência interna do material. Para esses casos pode-se aplicar alguns modelos semiteóricos, tal como o modelo de Lewis, representado na Equação 2.2.

$$RU = \exp(-k.t) \quad (2.2)$$

André et al. (2014), usaram com sucesso o modelo de Lewis no estudo da cinética de secagem de cascas de manga espada em secador de ar aquecido nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

#### *2.2.3.2 Modelo de Page*

O modelo de Page (1949), Equação 2.3, é uma modificação do modelo Lewis com a introdução de um expoente “n” incorporado ao termo tempo da Equação 2.2; este modelo vem

sendo bastante utilizado por vários pesquisadores para estimativa das curvas de secagem de vários produtos agrícolas (DIAMANTE e MUNRO, 1993).

$$RU = \exp(-k.t^n) \quad (2.3)$$

Diógenes et al. (2013), utilizaram Page para estimar a curva de secagem em grãos de abóbora. Page ainda foi usado por Doymaz (2004), para predizer as curvas de secagem de cubos de cenouras nas temperaturas de 50, 60, 65 e 70°C.

#### *2.2.3.3 Modelo de Henderson e Pabis*

Diversos autores aplicaram o modelo de Henderson e Pabis (1961) (Equação 2.4) em seus experimentos para obter a curva da cinética de secagem de vários produtos agrícolas.

$$RU = a.\exp(-k.t) \quad (2.4)$$

Coelho e Pinto (2011) utilizaram a equação de Henderson e Pabis, na predição das curvas de secagem de tomate nas temperaturas de 60, 70 e 80°C.

#### *2.2.3.4 Modelo Exponencial Dois Termos*

Outro modelo semiteórico muito usado para ajustar os dados das cinéticas de secagens de produtos agrícolas secos é o modelo exponencial simples, com dois termos, apresentado na Equação 2.5.

$$RU = a.\exp(-k.t) + (1 - a).\exp(-k.a.t) \quad (2.5)$$

## 2.3 PRÉ-TRATAMENTO

### **2.3.1 Congelamento**

Recentemente, o processo de secagem tem sido continuamente modificado e otimizado em função das características dos materiais a serem secos. Conforme Barbanti,

Mastrocola e Pizzarani (1995) alguns pré-tratamentos, tais como o branqueamento, congelamento, imersão e outros, têm apresentado importante papel no processo de secagem.

Segundo Brow (1967) citado por Kalluf (2006) o congelamento tem uma importância significativa, devido, principalmente, à influência sobre a modificação da propriedade termo física da matéria-prima, afetando a porosidade, a permeabilidade e a condutividade térmica, conduzindo a uma grande alteração na cinética de secagem e na taxa de reidratação.

Pinedo (2003) avaliando o estudo de secagem em abóboras e em cenouras constatou que para todos os ensaios experimentais as amostras pré-tratadas por congelamento apresentam maiores velocidades de secagem quando comparados com as amostras branqueadas termicamente e as in natura. Devido ao fato que o congelamento da matéria-prima altera as características físicas do tecido celular favorecendo a velocidade de secagem.

## 2.4 ENCOLHIMENTO

O encolhimento é uma das mais importantes alterações físicas que ocorre com o alimento quando submetido a um processo de secagem. Além disso, este fenômeno pode ser considerado como indicativo da qualidade do material seco, uma vez que, a redução do volume do produto, na maioria das vezes, provoca uma impressão negativa por parte dos consumidores.

Para Lewicki e Pawlak (2003) a remoção de umidade e o aquecimento durante o processo causam um estresse na microestrutura do tecido fresco, em que se observa um aumento de cavidades, células alongadas, dentre outras modificações, resultando na mudança da forma e na diminuição das dimensões do produto. De modo geral, a secagem de produtos alimentícios, tais como frutas e hortaliças, com elevado teor de água inicial é acompanhada de um encolhimento bastante significativo.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo comparar o estudo cinético de secagem de abóbora *in natura* e pré-tratada por congelamento, visando otimizar o processo, além de utilizar a melhor condição de secagem para elaborar novos produtos a partir do produto seco.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a cinética de secagem para diferentes condições de temperatura e dimensões das amostras (parâmetros de entrada) de abóbora *in natura* e pré-tratada por congelamento;
  - Avaliar a influência dos parâmetros de entrada sobre a cinética de secagem;
  - Comparar a secagem *in natura* e submetida ao congelamento avaliando os parâmetros de resposta (tempo e taxa);
  - Avaliar o efeito dos parâmetros de entrada sobre o encolhimento do produto durante o processo de secagem;
  - Ajustar os modelos matemáticos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, e Dois Termos aos dados experimentais;
  - Caracterizar a melhor condição do processo de secagem.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DA PESQUISA

Os estudos foram conduzidos no Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA) do Centro de Tecnologia (CT), do Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), na cidade de João Pessoa – PB.

O processamento dos frutos e a operação de secagem foram realizados no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA). Enquanto que as análises físico-químicas foram conduzidas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA).

### 4.2 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada nos vários ensaios experimentais foi a abóbora (*Curcubita moschata*) da variedade Jacaré (Figura 4.1). A razão da escolha dessa variedade teve como fatores a disponibilidade no mercado e facilidade de manuseio.

**Figura 4.1** – Abóbora da variedade jacaré.



**Fonte:** Dados da pesquisa.

Salienta-se que os frutos usados na pesquisa foram adquiridos em estágio de maturação ideal para consumo, no comércio local da cidade de Santa Rita-PB. Na aquisição, foi considerada a procedência de material sempre do mesmo estabelecimento, a fim de reduzir assim a sua variabilidade.

#### 4.2.1 Higienização da matéria-prima

O processo de higienização foi realizado seguindo os padrões de boas práticas de manipulação de alimentos, nos quais as abóboras foram lavadas em água corrente com auxílio de escovas e de sabão neutro, a fim de remover qualquer material aderido à superfície do fruto. Posteriormente, os frutos foram submersos em solução aquosa contendo 150 ppm de cloro residual por 15 minutos, e em seguida, lavadas novamente em água corrente.

Os demais utensílios como facas, tábuas de corte, bandejas e bancadas foram higienizadas com a mesma solução de água clorada.

#### 4.3 PREPARO DAS AMOSTRAS

Após o processo de higienização as abóboras foram cortadas e divididas em oito partes iguais. Inicialmente o fruto foi cortado longitudinalmente, obtendo-se as duas metades da abóbora. Em seguida, cada metade da abóbora foi cortada transversalmente, obtendo-se quatro partes. Estas foram submetidas a um corte longitudinal, ao meio. Cada uma das oito partes obtidas foi separada em polpa e casca.

A polpa foi submetida à raspagem na parte central para remoção das sementes e de todo o miolo, tecido esponjoso, e separada da casca manualmente.

Posteriormente a abóbora foi fracionada em fatias de mesma espessura de 0,5 cm, com três tamanhos diferentes, resultando em três moldes com dimensões, a saber: A<sub>1</sub> com área de 2,5 cm<sup>2</sup>, largura de 1,0 cm e comprimento de 2,5 cm; A<sub>2</sub> com área de 5,0 cm<sup>2</sup>, largura de 2,0 cm e comprimento de 2,5 cm; e A<sub>3</sub> com área de 4,5 cm<sup>2</sup>, largura de 1,0 cm e comprimento de 4,5 cm. Tais procedimentos foram realizados com auxílio de uma faca de aço inox e um paquímetro.

##### 4.3.1 Abóbora *In natura*

As fatias de abóbora *in natura* foram acondicionadas em sacos plásticos herméticos e mantidas sob refrigeração, por no máximo uma semana, com o intuito de preservar as características das amostras para a realização dos experimentos.

##### 4.3.2 Abóboras congeladas

As amostras submetidas ao pré-tratamento de congelamento foram acondicionadas num “freezer” vertical comercial para serem congeladas a temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  por 12 horas, embrulhadas em folhas de papel alumínio para evitar a formação de blocos de gelo na superfície e colocadas dentro de sacos plásticos herméticos.

Após o processo de congelamento as amostras foram descongeladas à temperatura ambiente antes do início do experimento por tempo aproximado de 25 a 30 minutos.

#### 4.4 SECAGEM

##### 4.4.1 Processo de secagem

A secagem da abóbora, tanto *in natura* quanto a pré-tratada por congelamento, foi realizada utilizando-se uma estufa com circulação e renovação de ar (Solab, modelo SL 102/221). As variáveis de entrada (variáveis independentes) da secagem definidas neste trabalho foram temperatura do ar ( $50$ ,  $60$  e  $70^{\circ}\text{C}$ ) e dimensão das amostras de abóbora ( $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ).

As amostras foram colocadas em uma cesta de material metálico, em tela fina de aço inox. A bandeja foi inicialmente pesada e, em seguida, o conjunto (cestas + amostras) foi também pesado, para anotação do peso inicial e, posteriormente, colocado na estufa, devidamente ajustada na temperatura a ser trabalhada, para o início do processo. Todas as medidas de massa foram realizadas através de uma balança semianalítica (Bel, modelo SSR-600), com precisão de leitura de  $0,01$  g.

A quantidade de água evaporada durante o processo foi obtida por pesagens das amostras em intervalos de 15 minutos por aproximadamente duas horas. Seguido de pesagem a cada 30 minutos até o final do processo, ou seja, até que fosse alcançado o equilíbrio dinâmico entre a amostra e o ar de secagem, atingindo um peso constante com variação máxima de  $0,05\text{g}$ . Somente no final de cada experimento foi medido o encolhimento das amostras.

##### 4.4.2 Cinética de secagem

A cinética de secagem foi estudada mediante as curvas do adimensional de umidade em função do tempo de processo, bem como pelas curvas de taxa de secagem em função do conteúdo de umidade das amostras.

#### 4.4.3 Ajuste por modelos matemáticos

Para a modelagem matemática aos dados experimentais das cinéticas de secagem foram utilizados o modelo de Lewis (Equação 2.2), o modelo de Page (Equação 2.3), o modelo de Henderson e Pabis (Equação 2.4), e o modelo de Dois Termos (Equação 2.5).

Os critérios utilizados para a escolha do melhor ajuste dos modelos aos dados obtidos experimentalmente, foram: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro médio estimado (SE), calculado através da Equação 4.1.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum(Y-Y_0)^2}{GLR}} \quad (4.1)$$

#### 4.4.4 Determinação do encolhimento

A espessura, a largura e o comprimento das amostras foram medidas com auxílio de um paquímetro. Foram feitas cinco medidas em diferentes pontos das dimensões, tomando o valor médio destas medidas.

### 4.5 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS

Definida a melhor condição de secagem, tanto para as amostras *in natura* quanto para as amostras pré-tratadas por congelamento, estas foram submetidas às análises físico-químicas para avaliar a influência do processo sobre a qualidade do produto seco.

As análises foram realizadas em duplicatas, quanto aos teores de umidade utilizando o método gravimétrico em estufa a 105°C; Cinzas, determinado por incineração do material em mufla regulada a 550 °C até peso constante; Proteínas pelo método de Kjeldhal (N x 5,75) de acordo com as normas da Association of Official Analytical Chemist – AOAC (2005) e lipídeos conforme Bligh e Dyer (1959). Carboidratos, o método utilizado foi pelo cálculo por diferença do somatório dos teores de umidade, cinzas, proteínas e lipídeos.

### 4.6 ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados obtidos nas análises foram compilados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise da variância (ANOVA) univariada, usando um delineamento

inteiramente casualizado e os tratamentos estatisticamente diferentes foram comparados através do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade utilizando-se o pacote estatístico ASSISTAT version 7.7 beta.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CINÉTICA DE SECAGEM

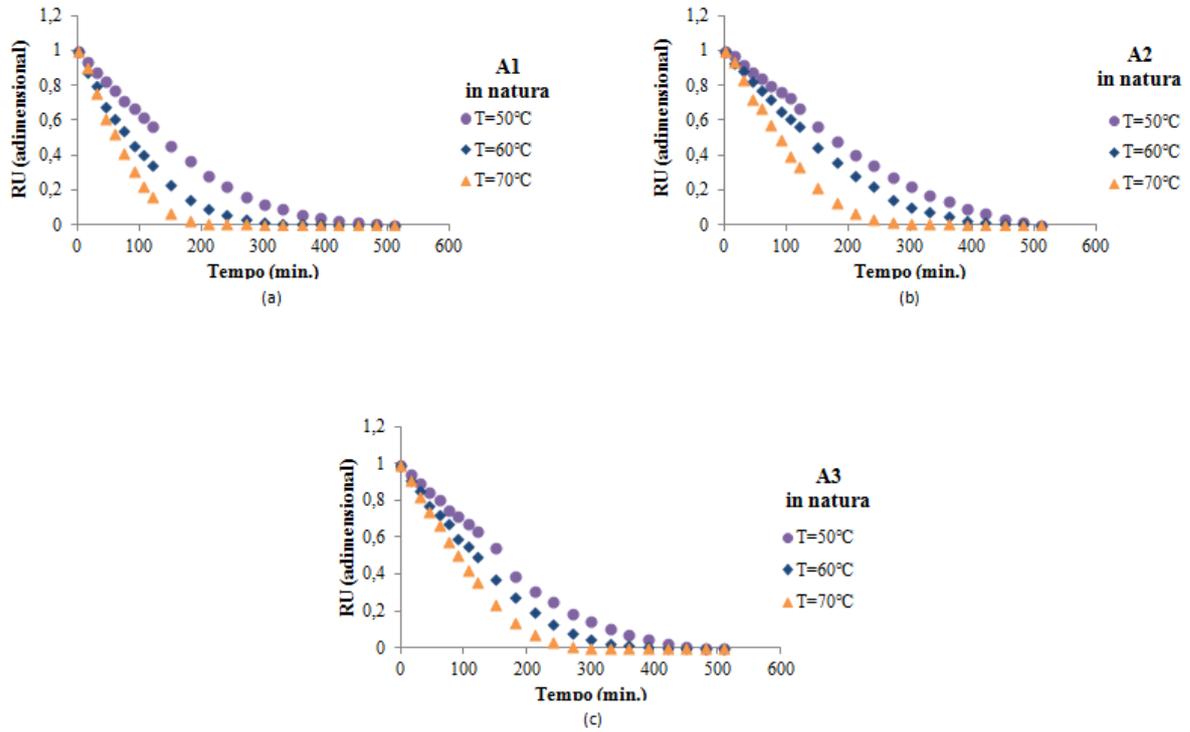
#### 5.1.1 Influência dos parâmetros na secagem

Para avaliar a influência da temperatura do ar e da dimensão das amostras na cinética de secagem de abóbora *in natura* e submetidas ao pré-tratamento por congelamento foram construídos os gráficos das Figuras 5.1 a 5.4.

##### 5.1.1.1 Influência da temperatura do ar na secagem

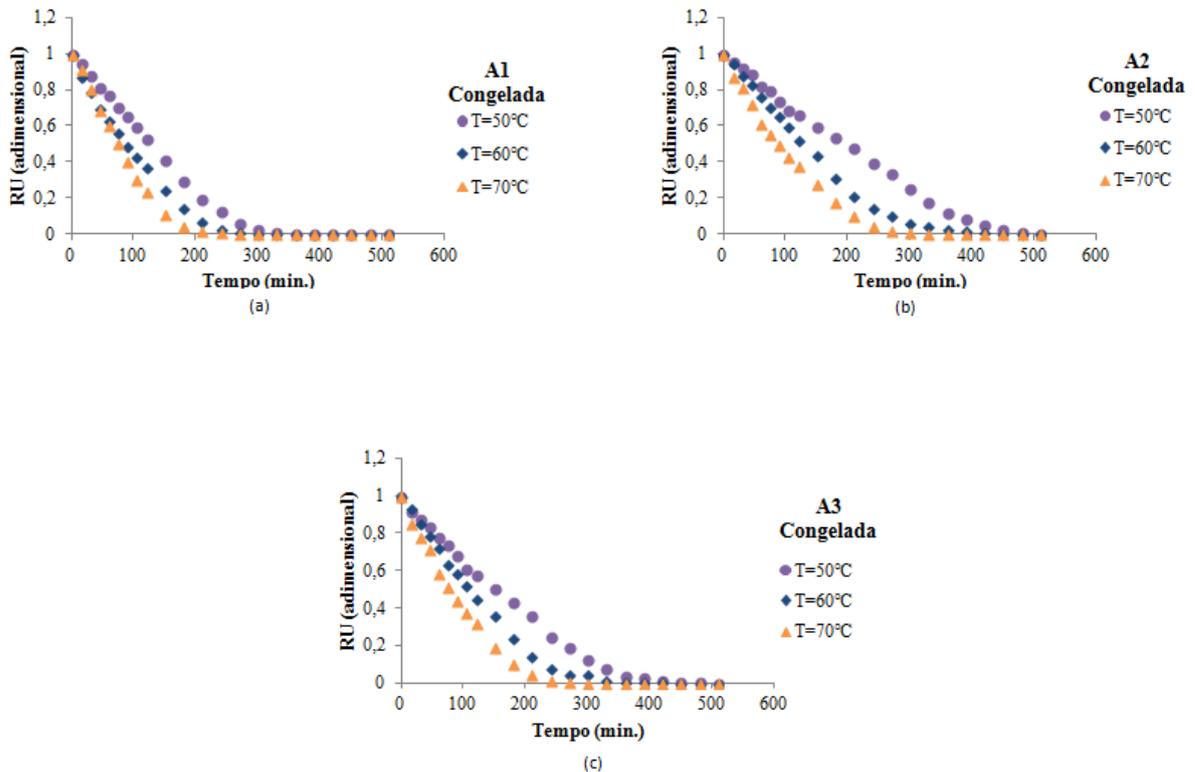
Nas Figuras 5.1 e 5.2 têm-se as curvas de secagem de amostras de abóbora pré-tratadas por congelamento e *in natura*, representadas na forma adimensional de umidade (RU) em função do tempo de processo (minutos), obtidas a três níveis de temperatura (50, 60 e 70°C), para diferentes áreas de exposição das amostras ( $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ). Fixando-se a dimensão e variando a temperatura pode-se observar as influências destas temperaturas nas curvas de secagem.

**Figura 5.1** – Adimensional de umidade em função do tempo para secagem de abóbora *in natura* à temperatura de 50, 60 e 70°C a dimensão de A<sub>1</sub> (a), de A<sub>2</sub> (b) e de A<sub>3</sub> (c).



Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 5.2** – Adimensional de umidade em função do tempo para secagem de abóbora congelada à temperatura de 50, 60 e 70°C a dimensão de A<sub>1</sub> (a), de A<sub>2</sub> (b) e de A<sub>3</sub> (c).



Fonte: Dados da pesquisa.

Observando as Figuras 5.1 (a), (b) e (c) e 5.2 (a), (b) e (c), de modo geral, podemos verificar que o processo de secagem ocorre dentro do período de velocidade decrescente, indicando uma maior resistência à transferência de calor e massa do interior do material para sua superfície do que da superfície para o ambiente e, provavelmente, a difusão é o principal mecanismo de transporte de umidade através da estrutura da abóbora, tanto para as amostras sem tratamento quanto para as pré-tratadas por congelamento.

De acordo com as Figuras 5.1 (a), (b) e (c) as amostras secas à temperatura de 70°C apresentaram curvas de secagem mais acentuadas que as de 50°C e 60°C e, com tendência ao equilíbrio dinâmico após 180 minutos de processo para A<sub>1</sub> e somente após 240 e 270 minutos para A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, respectivamente. Observa-se também que a secagem na menor temperatura precisou de um maior tempo de processo, atingindo o equilíbrio dinâmico somente após 480 minutos para todas as áreas de exposição à secagem.

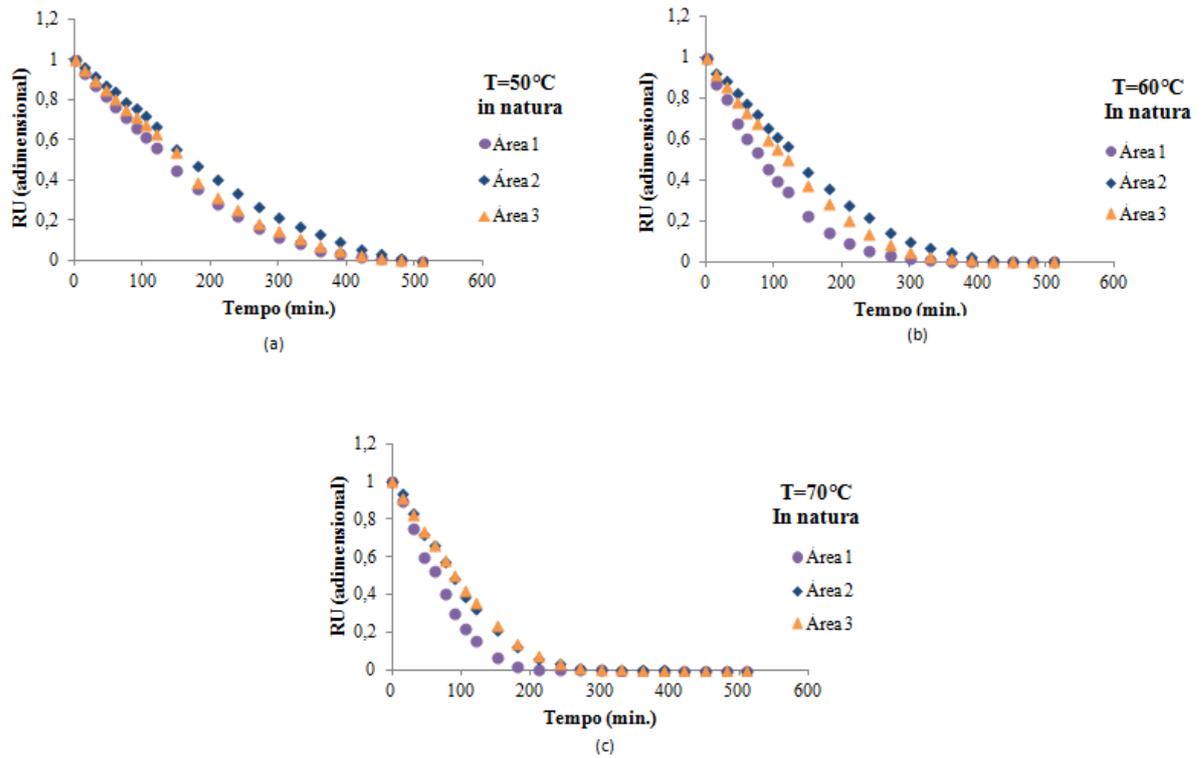
Analisando as Figuras 5.2 (a), (b) e (c), verifica-se o mesmo comportamento discutido para as figuras 5.1 (a), (b) e (c), quanto maior a temperatura de processo, mais acentuada é curva de secagem. Percebe-se para todas as amostras congeladas secas à temperatura de 70°C uma tendência ao equilíbrio dinâmico de umidade após 210, 240 e 270 minutos de processo para A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> e A<sub>2</sub>, consecutivamente. Nota-se que as amostras congeladas submetidas à secagem a 60°C alcançaram o equilíbrio após 240 minutos para A<sub>1</sub> e 330 minutos para A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, respectivamente. Verifica-se ainda para a temperatura mais baixa do processo uma tendência ao equilíbrio somente após 300, 420 e 450 minutos de secagem para A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> e A<sub>2</sub>, nesta ordem. Assim, para que estas últimas alcancem um mesmo conteúdo de umidade das amostras secas a uma temperatura mais elevada faz-se necessário um maior período de secagem.

Portanto, pode-se dizer que a temperatura de secagem exerce grande influência sobre a velocidade de secagem em cada tipo de amostra estudada, sendo o tempo de secagem menor quando a temperatura aumenta, pois o aumento desta variável resulta em maior excitação das moléculas de água no interior do material, com conseqüente aumento da velocidade de secagem nestas condições. Tal fato foi também observado por Borges et al (2008), estudando o processo de secagem de abóboras em fatias e por Lopes et al. (2015), trabalhando com batata yacon.

#### *5.1.1.2 Influência da dimensão das amostras na secagem*

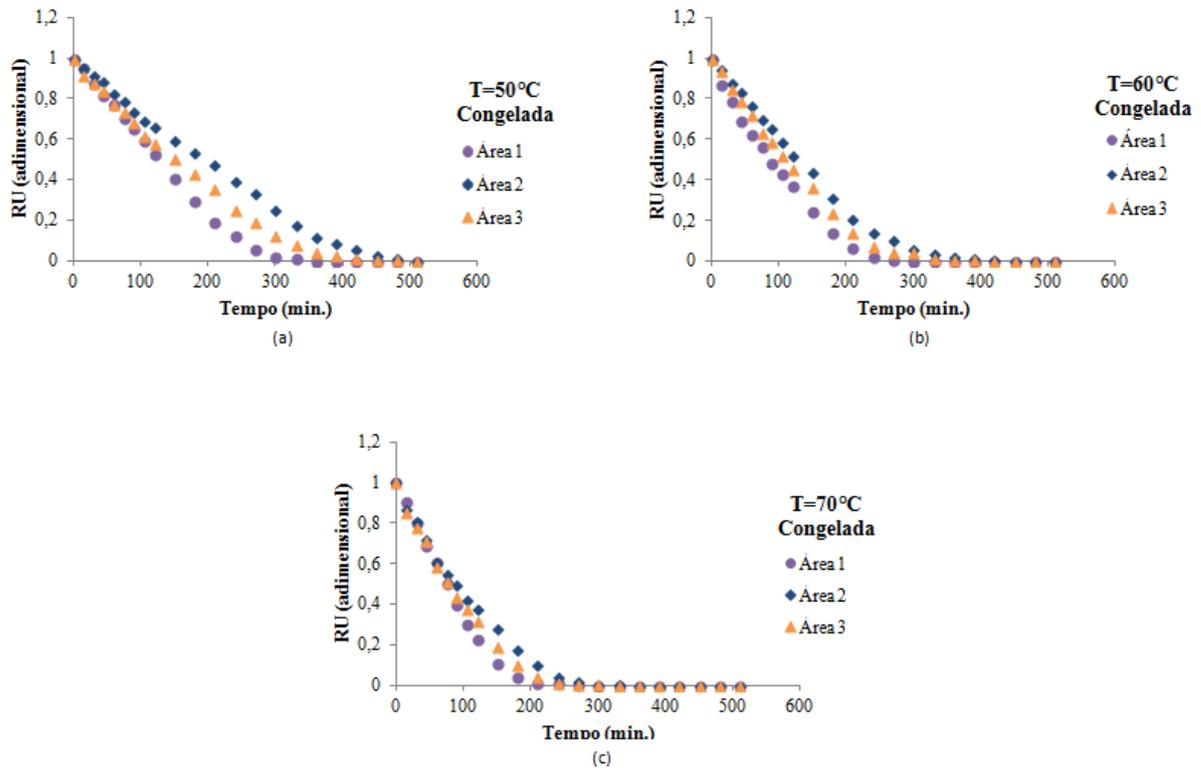
As Figuras 5.3 e 5.4 mostram o termo adimensional de umidade em função do tempo para as diversas combinações de temperatura do ar de secagem e dimensões das amostras, destacando a influência da variação desta última variável na curva de secagem.

**Figura 5.3** – Adimensional de umidade em função do tempo para secagem de abóbora *in natura* para diferentes áreas de exposição ( $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ) à temperatura de 50 (a), de 60 (b) e 70°C (c).



**Fonte:** Dados da pesquisa.

**Figura 5.4** – Adimensional de umidade em função do tempo para secagem de abóbora congelada para diferentes áreas de exposição ( $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ ) à temperatura de 50 (a), de 60 (b) e 70°C (c).



**Fonte:** Dados da pesquisa.

Observando a Figura 5.3 (a), (b) e (c), quando se mantém a temperatura utilizada no processo fixa, variando apenas a dimensão da área de exposição à secagem, é possível verificar que os processos de secagem com menor dimensão ( $A_1$ ) atingem a condição de equilíbrio em um menor tempo de processo, quando comparados àqueles em que se aplicam uma maior dimensão ( $A_3$  e  $A_2$ ). Este comportamento pode ser devido à maior facilidade de migração da água em relação ao menor comprimento e a menor largura das amostras. Além disso, nota-se que esta condição de equilíbrio é alcançada mais rapidamente quando combinada a temperaturas mais elevadas (60°C e 70°C), visto que a temperatura tem uma influência maior na secagem do que a dimensão da amostra.

Pela análise das Figuras 5.4 (a), (b) e (c), comparadas com as Figuras 5.3 (a), (b) e (c), percebe-se que, semelhantemente, a secagem das amostras *in natura*, a secagem pré-tratada por congelamento apresenta as mesmas tendências com relação à variação de área de exposição. Ainda foi observado que em virtude da  $A_1$  apresentar uma relação área superficial/volume maior que  $A_2$  e  $A_3$ , o aquecimento de todo o seu volume é favorecido em relação ao aquecimento das demais áreas de exposição. Além disso, a maior área superficial em relação ao volume, apresentada pela  $A_1$ , resulta em maior área de transferência de

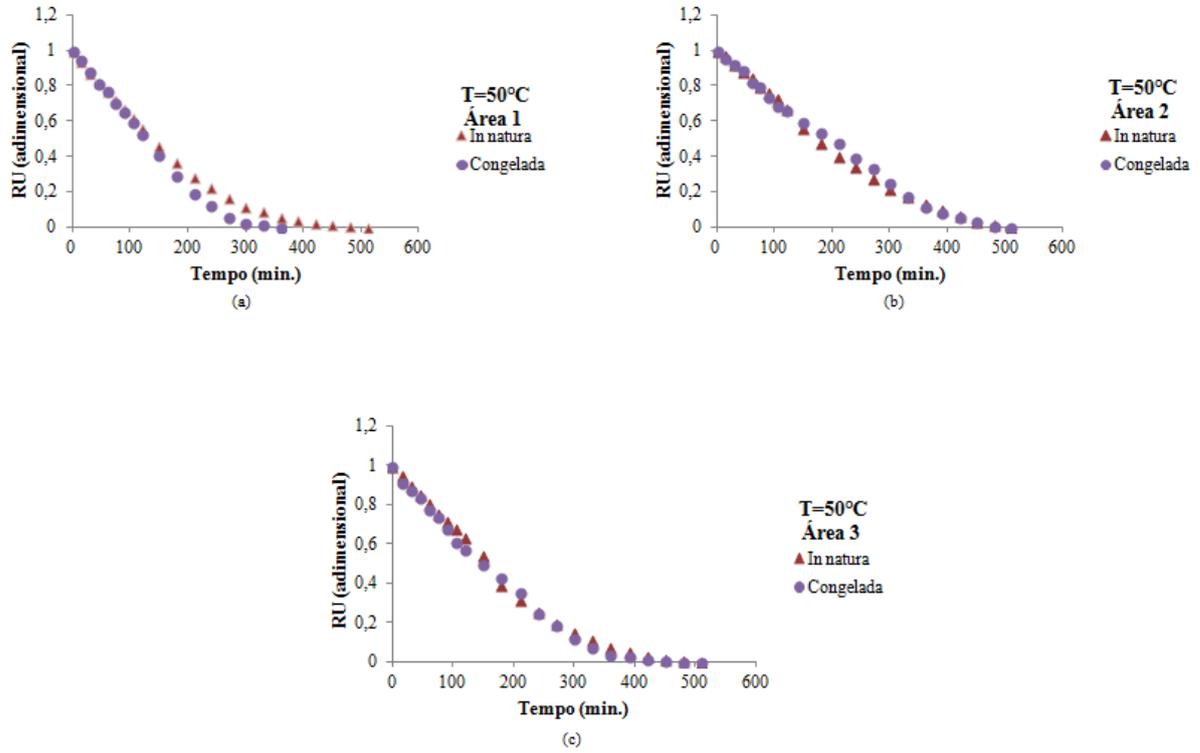
umidade do material para o ar de secagem. Ressalta-se também que, a área da superfície em contato com a placa não foi considerada como área superficial, desprezando-se assim a troca de calor e umidade nesta superfície. Resultados semelhantes foram constatados por Rosa (2010) ao estudar o efeito da forma do corte na cinética de secagem de cenoura.

### **5.1.2 Avaliação do efeito do pré-tratamento na cinética de secagem**

As Figuras 5.5 a 5.7 mostram o efeito do pré-tratamento por congelamento sobre a cinética de secagem da abóbora respectivamente na área de exposição de  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$  e temperatura de secagem de  $50^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$  e  $70^{\circ}\text{C}$ .

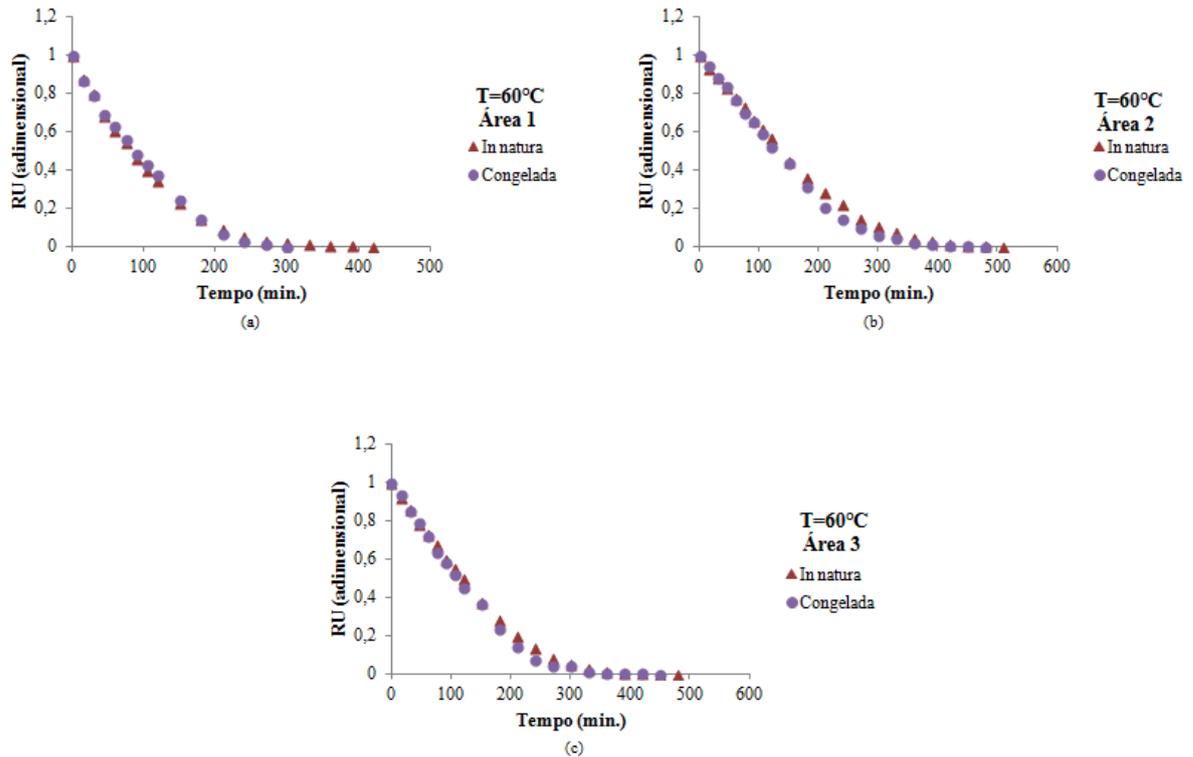
Observa-se através das Figuras 5.5 (a), (b) e (c) a 5.7 (a), (b) e (c) que a redução de umidade durante o processo de secagem das amostras *in natura* e pré-tratadas por congelamento, para todas as variáveis de entrada (temperatura do ar e dimensão das amostras), foi muito semelhante, porém as amostras *in natura* apresentaram um maior período para atingir o equilíbrio dinâmico que as amostras congeladas. Percebe-se também que o efeito do pré-tratamento em relação ao tempo de secagem é mais acentuado quanto maior a temperatura do ar e menor a dimensão da área de exposição da amostra.

**Figura 5.5** – Efeito do pré-tratamento sobre a cinética de secagem da abóbora a 50°C na área de exposição: (a) A<sub>1</sub>, (b) A<sub>2</sub> e (c) A<sub>3</sub>.



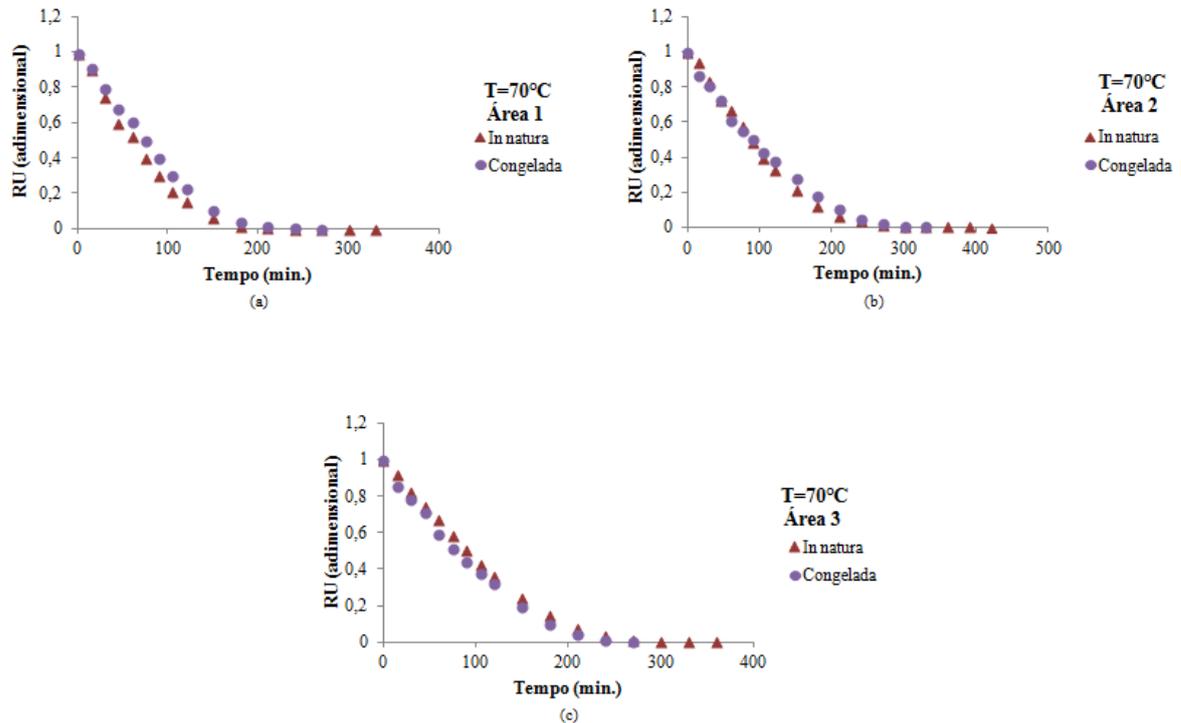
Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 5.6** – Efeito do pré-tratamento sobre a cinética de secagem da abóbora a 60°C na área de exposição: (a) A<sub>1</sub>, (b) A<sub>2</sub> e (c) A<sub>3</sub>.



Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 5.7** – Efeito do pré-tratamento sobre a cinética de secagem da abóbora a 70°C na área de exposição: (a) A<sub>1</sub>, (b) A<sub>2</sub> e (c) A<sub>3</sub>.



**Fonte:** Dados da pesquisa.

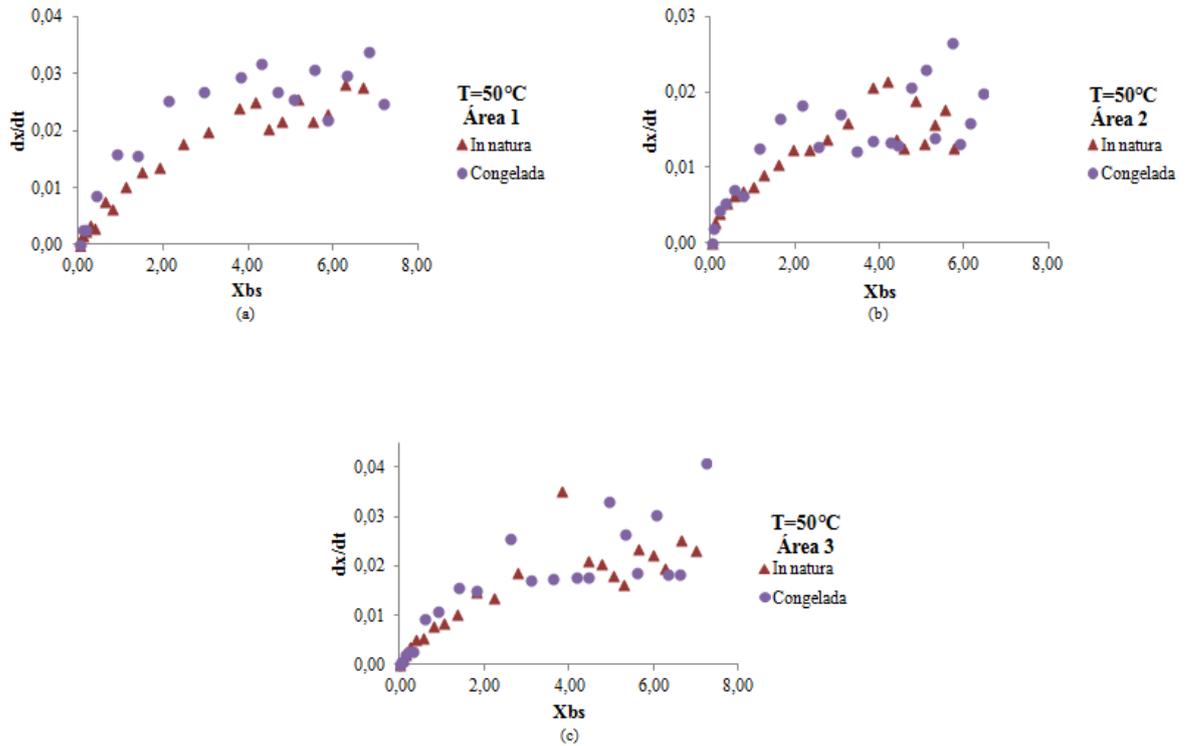
Esta maior velocidade de secagem e, com conseqüente, menor tempo de processo verificado nas amostras pré-tratadas deve-se ao fato que o congelamento auxilia na modificação favorável das propriedades físicas iniciais dos tecidos da abóbora, assim como mudanças nas estruturas da membrana celular, pois o congelamento lento provoca o rompimento dessas células, permitindo uma melhor transferência de umidade e velocidade de secagem durante o processo. Comportamento similar foi observado por Pinedo (2003) ao estudar a influência da pressão, temperatura e pré-tratamentos sobre a cinética de secagem em abóboras e cenouras, que constatou que as maiores taxas de secagem foram alcançadas para as amostras congeladas, pois o congelamento aumentou a porosidade das matérias-primas, favorecendo o processo.

Para analisar as curvas de taxa de secagem para todas as condições de estudo durante o processo, gráficos de taxa de secagem em função do conteúdo de umidade em base seca foram construídos e avaliados (Figuras 5.8 a 5.10).

Avaliando as Figuras 5.8 (a), (b) e (c) a 5.10 (a), (b) e (c), verifica-se que, durante todo o processo, a temperatura do ar de secagem apresentou uma influência diretamente proporcional sobre a taxa de secagem, ou seja, quanto maior a temperatura, maior excitação

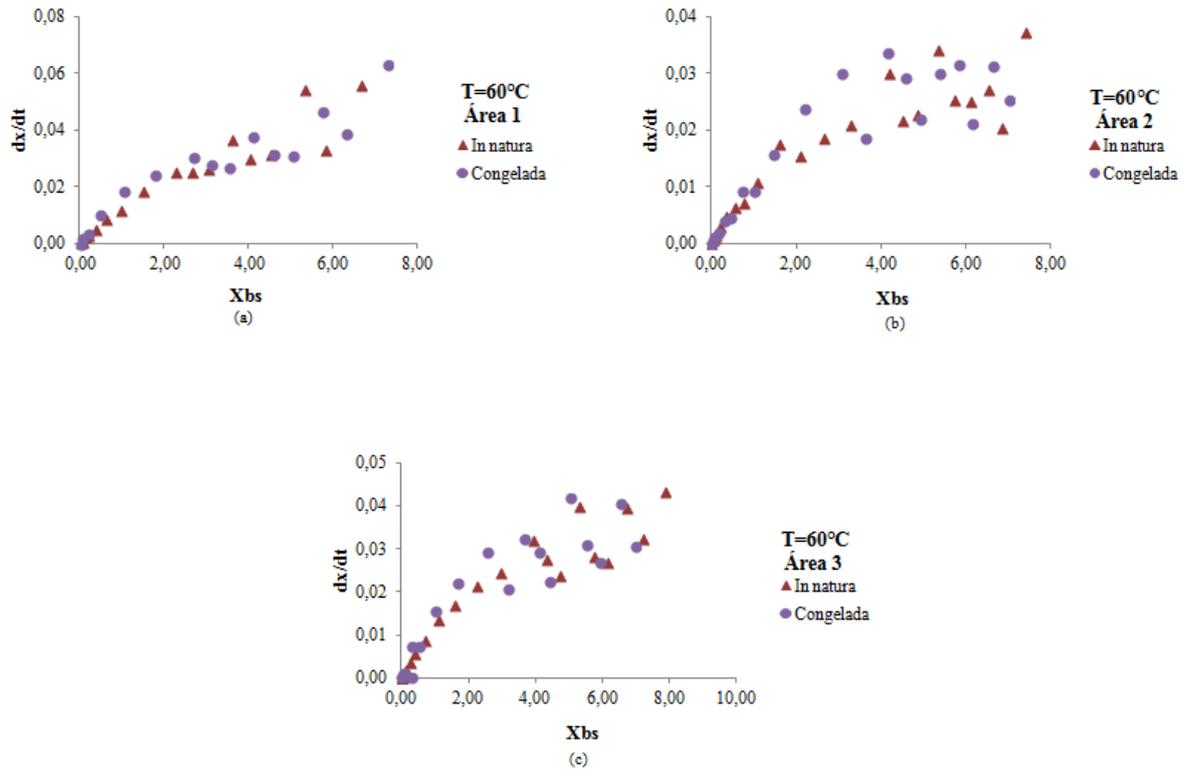
das moléculas de água no interior do material e, conseqüentemente, maior taxa de secagem, para todas as condições de estudo.

**Figura 5.8** – Curvas de taxa de secagem da abóbora *in natura* e pré-tratada por congelamento na temperatura de 50°C com área de exposição: (a) A<sub>1</sub>, (b) A<sub>2</sub> e (c) A<sub>3</sub>.



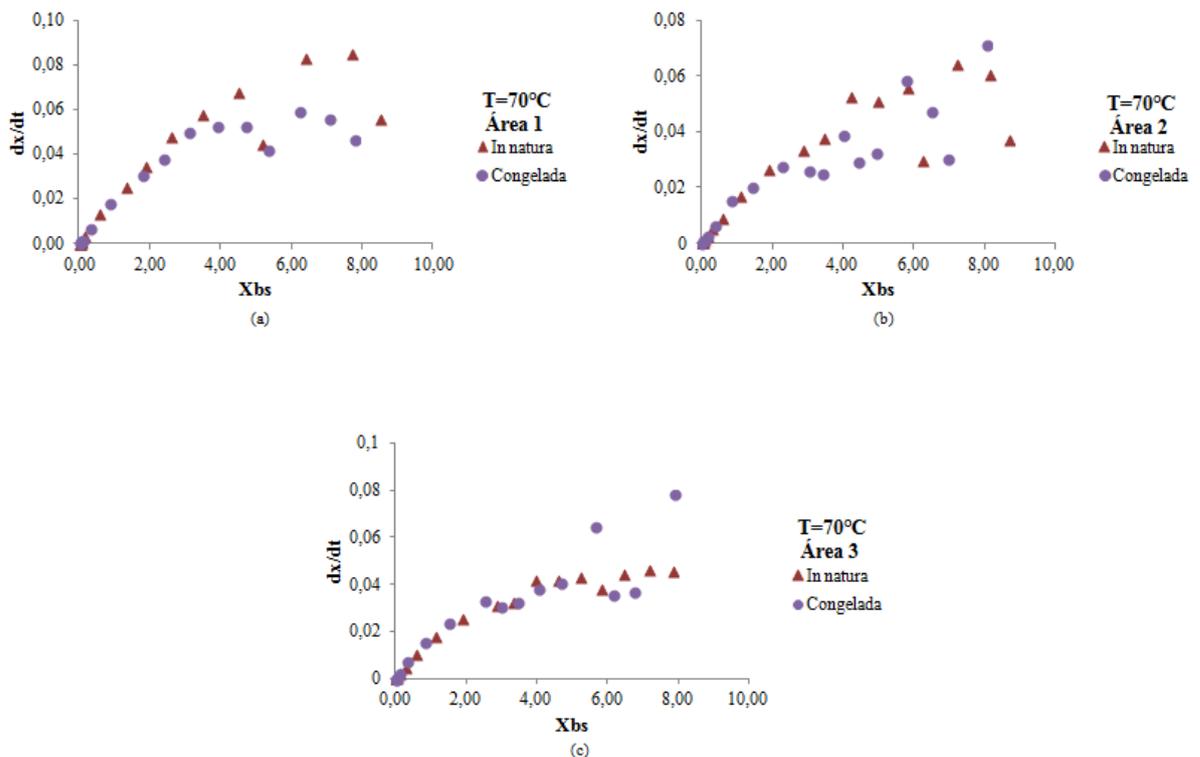
**Fonte:** Dados da pesquisa.

**Figura 5.9** – Curvas de taxa de secagem da abóbora *in natura* e pré-tratada por congelamento na temperatura de 60°C com área de exposição: (a) A<sub>1</sub>, (b) A<sub>2</sub> e (c) A<sub>3</sub>.



Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 5.10** – Curvas de taxa de secagem da abóbora *in natura* e pré-tratada por congelamento na temperatura de 70°C com área de exposição: (a) A<sub>1</sub>, (b) A<sub>2</sub> e (c) A<sub>3</sub>.



Fonte: Dados da pesquisa.

Pode-se observar também que as maiores taxas de remoção do teor de umidade foram obtidas no início da secagem. Ao longo do processo os valores de taxa de secagem foram reduzindo lentamente, pois ao final da secagem a umidade encontra-se fortemente ligada as macromoléculas da abóbora necessitando de maior energia para sua evaporação (Figuras 5.8 (a), (b) e (c) a 5.10 (a), (b) e (c)).

Comportamento semelhante à perda do conteúdo de umidade mais rápida no início do processo de secagem também foi observado por Gouveia et al. (2003), avaliando a cinética de secagem do cajá, sendo também verificada uma maior taxa de secagem quanto mais alta é a temperatura de secagem. Em um estudo feito por Machado et al., (2012), estudando a secagem de resíduo de abacaxi, também encontraram maior taxa de secagem no início do processo de secagem, tal resultado está de acordo com os resultados encontrados nesta pesquisa.

## 5.2 AJUSTES POR MODELOS MATEMÁTICOS

Após o estudo das curvas de secagem foi realizada a modelagem matemática dos resultados a fim de obter os coeficientes para as equações de Lewis, Page, Henderson e Pabis, e Dois Termos. As Tabelas 5.1 a 5.4 expõem os valores dos parâmetros dos modelos de Lewis, Page, Henderson e Pabis, e Dois Termos, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem da abóbora *in natura* e pré-tratadas por congeladas, além dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os erros médios estimados (SE).

Os maiores valores do coeficiente de determinação e menores valores de erros médios estimados foram usados como base para indicar o melhor modelo para predizer de modo mais eficiente a cinética de secagem da abóbora.

**Tabela 5.1** - Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da abóbora ao modelo de Lewis

Modelo	Pré-tratamento	Área (cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)	Parâmetro	R <sup>2</sup>	SE
				k (s <sup>-1</sup> )		
Lewis	In natura	A <sub>1</sub>	50	0,0058	0,9750	0,0535
			60	0,0094	0,9889	0,0343
			70	0,0131	0,9759	0,0524
		A <sub>2</sub>	50	0,0045	0,9601	0,0670
			60	0,0059	0,9716	0,0578
			70	0,0092	0,9725	0,0573
		A <sub>3</sub>	50	0,0052	0,9607	0,0683
			60	0,0069	0,9739	0,0552
			70	0,0088	0,9698	0,0588
	Congelada	A <sub>1</sub>	50	0,0055	0,9746	0,0471
			60	0,0090	0,9743	0,0500
			70	0,0108	0,9601	0,0668
		A <sub>2</sub>	50	0,0043	0,9544	0,0704
			60	0,0064	0,9631	0,0674
			70	0,0088	0,9804	0,0441
		A <sub>3</sub>	50	0,0055	0,9652	0,0624
			60	0,0074	0,9685	0,0615
			70	0,0099	0,9762	0,0475

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 5.2** - Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da abóbora ao modelo de Page

Modelo	Pré-tratamento	A (cm <sup>2</sup> )	T (°C)	Parâmetro		R <sup>2</sup>	SE
				k (s <sup>-1</sup> )	n		
Page	In natura	A <sub>1</sub>	50	0,0011	1,3367	0,9977	0,0162
			60	0,0036	1,2061	0,9975	0,0163
			70	0,0023	1,3990	0,9903	0,0138
		A <sub>2</sub>	50	0,0004	1,4437	0,9980	0,0151
			60	0,0009	1,3693	0,9973	0,0177
			70	0,0012	1,4245	0,9985	0,0133
		A <sub>3</sub>	50	0,0005	1,4479	0,9963	0,0209
			60	0,0012	1,3496	0,9963	0,0207
			70	0,0013	1,3969	0,9970	0,0186
	Congelada	A <sub>1</sub>	50	0,0004	1,5388	0,9939	0,0261
			60	0,0027	1,2560	0,9893	0,0322
			70	0,0012	1,4848	0,9970	0,0184
		A <sub>2</sub>	50	0,0004	1,4138	0,9887	0,0351
			60	0,0006	1,4598	0,9973	0,0182
			70	0,0030	1,2266	0,9926	0,0271
		A <sub>3</sub>	50	0,0008	1,3569	0,9914	0,0310
			60	0,0009	1,4080	0,9961	0,0217
			70	0,0029	1,2760	0,9918	0,0278

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 5.3** - Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da abóbora ao modelo de Henderson e Pabis

Modelo	Pré-tratamento	A (cm <sup>2</sup> )	T (°C)	Parâmetro		R <sup>2</sup>	SE
				k (s <sup>-1</sup> )	a		
Henderson e Pabis	In natura	A <sub>1</sub>	50	0,0062	1,0740	0,9822	0,0452
			60	0,0212	0,9620	0,9946	0,0196
			70	0,0141	1,0789	0,9825	0,0447
		A <sub>2</sub>	50	0,0050	1,0959	0,9745	0,0535
			60	0,0064	1,0786	0,9794	0,0492
			70	0,0101	1,0901	0,9811	0,0476
		A <sub>3</sub>	50	0,0057	1,0922	0,9723	0,0573
			60	0,0074	1,0713	0,9800	0,0483
			70	0,0095	1,0770	0,9773	0,0509
	Congelada	A <sub>1</sub>	50	0,0071	1,0961	0,9588	0,0679
			60	0,0094	1,0382	0,9767	0,0476
			70	0,0118	1,0856	0,9702	0,0578
		A <sub>2</sub>	50	0,0047	1,0799	0,9650	0,0617
			60	0,0064	1,0767	0,9788	0,0493
			70	0,0092	1,0384	0,9827	0,0415
		A <sub>3</sub>	50	0,0059	1,0671	0,9718	0,0561
			60	0,0081	1,0847	0,9768	0,0527
			70	0,0103	1,0395	0,9788	0,0448

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 5.4** - Parâmetros obtidos do ajuste dos dados experimentais de secagem da abóbora ao modelo de Dois Termos

Modelo	Pré-tratamento	A (cm <sup>2</sup> )	T (°C)	Parâmetro		R <sup>2</sup>	SE
				k (s <sup>-1</sup> )	a		
Dois Termos	In natura	A <sub>1</sub>	50	0,0086	1,8633	0,9965	0,0199
			60	0,0129	1,7310	0,9974	0,0166
			70	0,0199	1,9262	0,9969	0,0189
		A <sub>2</sub>	50	0,0071	1,9463	0,9957	0,0219
			60	0,0089	1,8883	0,9957	0,0225
			70	0,0142	1,9393	0,9967	0,0198
		A <sub>3</sub>	50	0,0081	1,9406	0,9936	0,0275
			60	0,0102	1,8645	0,9947	0,0249
			70	0,0134	1,9026	0,9947	0,0247
	Congelada	A <sub>1</sub>	50	0,0083	1,8313	0,9969	0,0164
			60	0,0127	1,7621	0,9887	0,0331
			70	0,0171	1,9628	0,9933	0,0273
		A <sub>2</sub>	50	0,0066	1,8951	0,9851	0,0403
			60	0,0100	1,9518	0,9944	0,0261
			70	0,0122	1,7439	0,9924	0,0276
		A <sub>3</sub>	50	0,0081	1,8586	0,9892	0,0347
			60	0,0113	1,9114	0,9937	0,0275
			70	0,0141	1,7781	0,9913	0,0287

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com os dados expostos nas Tabelas 5.1 a 5.4, observa-se que, para as três temperaturas e dimensões das amostras utilizadas na secagem da abóbora, todos os modelos

matemáticos ajustados aos dados experimentais, apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,95, sendo o modelo de Page, o que possui maior valor de  $R^2$  em todas as condições de secagem estudadas para as amostras de abóbora.

No geral, todos os modelos apresentam valores de SE inferiores 0,07 podendo ser utilizados na estimativa das curvas de secagem da abóbora (Tabela 5.1 a 5.4). Analisando ainda o SE nota-se que, o modelo de Page obteve os menores valores ( $SE < 0,036$ ), seguido dos modelos de Dois Termos e Henderson e Pabis.

Hofsky et al. (2013), avaliaram a cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido nas temperaturas de 40,50 e 60 °C e velocidade do ar de 0,8, 1,3 e 1,5  $m s^{-1}$ , em secador de leito estático, que o modelo de Page também apresentou melhor ajuste aos dados experimentais.

Analisando o comportamento do modelo de Page, na Tabela 5.2, constata-se que o parâmetro “K”, que representa a constante da taxa de secagem, aumenta com o aumento da temperatura para todas as dimensões das amostras, exceto para  $A_1$  na temperatura de 70°C, tanto para as amostra *in natura* quanto para as amostras congeladas. Fixando a variável temperatura e variando as áreas de exposição, percebe-se que, para as amostras *in natura*, quanto maior a área de exposição, menor o valor de “K”. Já em relação ao parâmetro “n” os valores, parece não haver um comportamento bem definido com relação à temperatura do ar de secagem e a dimensão das amostras de abóbora.

Doymaz e Pala (2003) estudando a secagem de milho nas temperaturas de 55 e 65°C, relataram resultados semelhantes em relação ao parâmetro “K” quanto ao aumento da temperatura. Resultados similares também foram reportados por Hofsky et al. (2013) analisando a secagem de cascas de abacaxi nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.

### 5.3 DETERMINAÇÃO DO ENCOLHIMENTO

As Tabelas 5.5 e 5.6 apresentam os efeitos da temperatura sobre o grau de encolhimento das amostras de abóbora *in natura* e pré-tratada por congelamento de diferentes dimensões.

**Tabela 5.5** - Grau de encolhimento em abóbora in natura

Grau de encolhimento em abóbora <i>in natura</i>												
T (°C)	Encolhimento (%)											
	$(E_0 - E)/E_0$			$(L_0 - L)/L_0$			$(C_0 - C)/C_0$			$(V_0 - V)/V_0$		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
50	54,56	51,60	52,40	42,40	33,20	35,80	38,56	29,28	34,93	83,92	77,14	80,12
60	58,24	52,40	55,20	53,80	36,40	37,40	39,12	33,12	36,18	88,25	79,75	82,10
70	66,72	54,80	63,36	54,00	41,60	46,40	40,16	38,88	39,11	90,84	83,87	88,04

T= temperatura; E= espessura; L= largura; C= comprimento; V= volume; e subíndice 0 =condição inicial.

**Fonte:** Dados da pesquisa.

**Tabela 5.6** - Grau de encolhimento em abóbora pré-tratada por congelamento

Grau de encolhimento em abóbora pré-tratada por congelamento												
T (°C)	Encolhimento (%)											
	$(E_0 - E)/E_0$			$(L_0 - L)/L_0$			$(C_0 - C)/C_0$			$(V_0 - V)/V_0$		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
50	63,36	56,80	64,16	42,40	42,30	42,80	41,60	39,36	39,69	87,67	84,88	87,64
60	66,16	61,84	58,40	48,80	47,00	48,40	46,48	40,96	42,84	90,73	88,06	87,73
70	68,48	62,56	65,20	53,80	49,20	51,20	48,96	41,76	46,36	92,57	88,92	90,89

T= temperatura; E= espessura; L= largura; C= comprimento; V= volume; e subíndice 0 =condição inicial.

**Fonte:** Dados da pesquisa.

De acordo com os dados apresentados nas Tabelas 5.5 e 5.6, o fenômeno do encolhimento foi verificado em todas as condições de secagem estudadas, e possivelmente a diminuição das dimensões do produto está associada com as alterações na microestrutura do tecido fresco da abóbora. Mayor e Sereno (2004) argumentam que o encolhimento de materiais biológicos aumenta com o aumento do volume de água removida, uma vez que, quanto maior o conteúdo de umidade retirada do material, maior serão as tensões de contração ocasionadas no interior do mesmo.

Pela Tabela 5.5 percebe-se que as dimensões das amostras foram afetadas pelo aumento da temperatura, sendo os efeitos mais acentuados na espessura, seguidos da largura e do comprimento para todas as áreas de exposição. Tal fato sugere que o fluxo de saída de água das amostras foi unidirecional. Nota-se ainda que, a amostra A<sub>2</sub> sofreu uma menor diminuição em todas as dimensões em relação a A<sub>1</sub> e A<sub>3</sub>. Verifica-se também que, a amostra A<sub>1</sub> foi o formato que teve o encolhimento volumétrico mais acentuado dentre todas as áreas estudadas. Além disso, foi o formato que mais rapidamente atingiu o equilíbrio dinâmico de secagem em qualquer temperatura.

Através da Tabela 5.6 observa-se que a influência das variáveis de estudo sobre o grau de encolhimento das amostras congeladas foi semelhante às observadas para as amostras *in natura*, ou seja, parece haver um comportamento definido para redução das dimensões das

amostras com relação à temperatura do processo e a área de exposição. Também é possível verificar que o formato A<sub>1</sub>, novamente, apresenta maior encolhimento volumétrico em relação às outras áreas. Percebe-se ainda que ao comparar os resultados obtidos pela Tabela 5.5 (sem tratamento) com os encontrados na Tabela 5.6 (com tratamento), que o fenômeno de encolhimento é maior para as amostras congeladas.

Resultados similares foram encontrados por Mulet et al. (2000) ao estudar o encolhimento em batatas desidratadas de diferentes geometrias, no qual constataram que, maiores taxas de remoção de umidade resultantes do aumento de temperatura de processo, resultaram em maior encolhimento e dimensões menores tendem a encolher mais.

Podemos concluir, então, que tanto para as amostras *in natura* quanto para as amostras congeladas, quanto maior a temperatura de processo e menor a dimensão do material, maior o encolhimento durante a secagem.

#### 5.4 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS

A caracterização físico-química das amostras secas foi realizada de acordo com os métodos referenciados no item 4.5 e está demonstrada na Tabela 5.7.

**Tabela 5.7** – Caracterização físico-química das amostras secas em base úmida.

Análise	Valor médio	
	<i>In natura</i>	Congelada
Umidade (%)	17,15 <sup>a</sup> ± 0,13	15,68 <sup>b</sup> ± 0,39
Cinzas (%)	10,59 <sup>a</sup> ± 0,23	9,67 <sup>a</sup> ± 0,24
Proteínas (%)	5,31 <sup>a</sup> ± 0,39	5,33 <sup>a</sup> ± 0,19
Lipídeos (%)	1,88 <sup>a</sup> ± 0,02	1,76 <sup>a</sup> ± 0,08
Carboidratos (%)	65,07 <sup>b</sup> ± 0,51	67,56 <sup>a</sup> ± 0,71

a,b, Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

**Fonte:** Dados da pesquisa.

De acordo com a Tabela 5.7 percebe-se que os únicos parâmetros avaliados onde não houve diferença estatística foram cinzas, proteínas e lipídeos ( $p < 0,05$ ). Para os demais parâmetros de umidade e carboidratos houve diferença significativa entre amostras de abóbora secas submetidas ao congelamento e *in natura* ( $p > 0,05$ ).

Verifica-se ainda na Tabela 5.7 que as amostras congeladas após a secagem apresentaram ligeiramente menores teores de umidade, cinzas e lipídeos que as amostras *in natura*. Talvez, essa redução na composição química da amostra analisada possa ser atribuída

ao próprio tratamento, pois, o congelamento possibilita uma maior modificação na estrutura da abóbora, permitindo assim uma maior perda de componentes durante a secagem.

Os teores de umidade, 17,15% (*in natura*) e 15,68% (congelada), reportados neste trabalho, foi superior ao obtidos por Holanda et al. (2007), 8,34%, em abóbora ralada e desidratada e por Ambrósio, Campos e Faro (2006), 7,31%, analisando a composição química em flocos de abóbora tipo moranga. Essa diferença, possivelmente esteja relacionada às condições de secagem empregada. Apesar disso, os teores de umidade aqui encontrados podem ser considerados satisfatórios para a conservação da abóbora.

Os valores médios encontrados para cinzas também foram superiores aos reportados por Holanda et al. (2007) e Ambrósio, Campos e Faro (2006), que obtiveram valores médios de 7,41% e 6,57%, respectivamente. Esse alto teor de cinzas remete uma alta concentração de mineiras, sugerindo que seja um produto fonte de minerais.

Já os teores médios obtidos para proteínas e lipídeos se mostraram similares aos de Faro (2001), que obteve teor médio de 5,32% para proteínas e 1,59% para lipídeos. No entanto, os percentuais referentes para carboidratos foram inferiores aos encontrados por Holanda et al.(2007), que obtiveram valores de 71,62%.

As diferenças apresentadas entre os valores obtidos neste trabalho e os da literatura são compreensíveis, uma vez que, a composição química de um alimento é função de diversos fatores, tais como: variedade, época do ano, técnicas de plantio, localização geográfica, dentre outros.

## 6 CONCLUSÃO

- Analisando as curvas de cinética, concluiu-se que a temperatura foi a variável que exerceu maior influência no processo de secagem. O tempo e a taxa de secagem mostraram ser função da dimensão das amostras e temperatura do ar de secagem. A combinação alta temperatura/ menor dimensão das amostras ocasionaram maiores taxas de secagem, além de reduzirem o tempo de processo. Sendo assim, a temperatura de 70°C e a dimensão A<sub>1</sub>, a melhor combinação de variáveis para a secagem de abóbora tanto *in natura* quanto congeladas.
- Para todas as condições estudadas as amostras submetidas ao pré-tratamento por congelamento apresentaram menor tempo de processo quando comparadas com as amostras *in natura*. Devido ao fato que o congelamento da água aumenta a porosidade da abóbora, facilitando a secagem.
- O encolhimento das amostras também mostrou ser função das variáveis de estudo, sendo o fenômeno de encolhimento maior para as amostras congeladas.
- O modelo de Page foi considerado o que melhor se ajustou aos dados experimentais, uma vez que apresentou valores de erro médio estimado baixos (<3,5%).
- Os teores de umidade, 17,15% (*in natura*) e 15,68% (congelada), obtidos após o processo são considerados satisfatórios para a conservação da abóbora.
- Os produtos secos obtidos destacam-se pelo teor de cinza, sugerindo alta concentração de minerais.
- Apesar das amostras congeladas, após a secagem, apresentarem ligeiramente uma pequena redução na composição química em relação às amostras *in natura*, ambas pode ser utilizada para obtenção de outros produtos, bem como, uma boa opção para melhorar o valor nutricional de um alimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. **Manual de culturas hortícolas**. Lisboa: Editorial Presença, v. 2, 2006.

AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. C. S.; FARO, Z. P. Aceitabilidade de flocos desidratados de abóbora. **Revista Nutrição**, v. 19, n.1, p. 39-45, Campinas, 2006.

ANDRÉ, A. M. M. C. N. et al. Comparação de Modelos Matemáticos da Cinética de Secagem de cascas de Manga Espada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável** (Pombal - PB - Brasil), v. 9, n. 3, p. 19 – 27, 2014.

ANDRES, T. C. **Biosystematics, theories on the origin, and breeding potential of *Cucurbita ficifolia***. In: Biology and utilization of the *Cucurbitaceae*, 1990.

ANDRES, T. C. **Web site for the plant family Cucurbitaceae and home of the Cucurbit Network**. 2004. Disponível em: <<http://www.cucurbit.org/family.html>>. Acesso em: 15 out. 2009.

AOAC – Association of official analytical chemists. **Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists**. 18 ed. Arlington, 2005.

ARIMA, H. K. **Composição de Carotenoides de Cucurbitáceas Brasileiras**. 1987. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

ATHIÉ, I. et al. **Conservação de grãos**. Campinas: Fundação Cargill, p. 236, 1998.

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; SEVERINI, C. Air drying of plums. A comparison among twelve cultivars. **Sciences des Aliments**, n. 14, p. 61 – 73, 1994.

BARBANTI, D.; MASTROCOLA, D.; PIZZARANI, S. Air drying of plums influence of some process parameters on the specific drying kinetics. **Sciences Des Aliments**, n. 15, p. 19-29, 1995.

BARBIERI, R. L. et al. Banco Ativo de Germoplasma de Cucurbitáceas da Embrapa Clima Temperado - período de 2002 a 2006. 1.ed. Pelotas, **Comunicado técnico 176**, Embrapa Clima Temperado, p. 30, 2006.

BARBIERI, R. L et al. Cultivo e usos tradicionais de *Cucurbita argyrosperma* e *Cucurbita ficifolia* no Rio Grande do Sul. In: **Anais do 47º Congresso Brasileiro de Olericultura**, Porto Seguro: Horticultura Brasileira, v. 25, n. 1, 2007.

BARSA, Enciclopédia. **Abóbora**. Rio de Janeiro, São Paulo: Willian Benton. v.1, p.13, 1965.

BAUERNFEIND, J. C. Carotenoid vitamin A precursors and analogs in food and feeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 20, p.456-473, 1972.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiological**, Ottawa, v. 27, n. 8, p. 911-917, 1959.

BORGES, S. V. et al. Secagem de fatias de abóboras (*Cucurbita moschata*, L.) por convecção natural e forçada. **Ciências e Tecnologias de Alimentos**, Campinas, v. 28, p. 245-251, dez. 2008.

BROD, F. P. R. **Avaliação de um secador vibro-fluidizado**. 2003. 336 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying cereal grains**. 3 ed. Westport: AVI Publishing, p. 256, 1981

BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oil seeds**. Westport: The Avi Publishing Company, p. 450, 1992.

CARAMEZ, S. M. B. et al. Softening of pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*) by alkaline maceration. **Journal of Food Process Engineering**, v.31, n.4, p. 431-442, 2008.

CARMO, G. A. et al. Teores foliares, acúmulo e partição de macronutrientes na cultura da abóbora irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 512-518, 2011.

CATÁLOGO RURAL. **Hortalças - Abóbora**. [S.l.], 2005. Disponível em: <<http://www.agrov.com/vegetais/hortalças/abobora.htm>>. Acesso em: 03 jul. 2013.

COELHO, K. D.; PINTO, L. A. de A. Caracterização da secagem convectiva de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) em camada delgada. **Vetor**, Rio Grande, v.21, n.2, p. 5-21, 2011.

CUNHA, A. **Plantas e Produtos Vegetais em Fitoterapia**. Fundação Calouste Gulbenkian. 2003.

DAUDIN, J. D. Calcul des cinétiques du séchage par l'air chaud des. **Sci. Aliments.**, v.3, n.1, p.1 – 36, 1983.

DIAMANTE, L. M.; MUNRO, P. A. **Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices** **Solar energy**, Oxford, v. 51, n. 4, p. 271-276, 1993.

DIÓGENES, A. de M. G. et al. Cinética de secagem de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 71-80, 2013.

DOYMAZ; I.; PALA, M. The thin-layer drying characteristics of corn. **Journal of Food Engineering**, v.60, p.125-130, 2003

DOYMAZ, I. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 61, n. 3, p. 359-364, 2004.

EL-AUOAR, A. A. **Estudo do processo de secagem de mamão Formosa (*Carica papaya L.*) fresco e pré-tratado osmoticamente**. 2005. 215f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ESCOBAR, J. E.; BUESA, H. O. L. **Tablas de composición de alimentos**. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A. p. 305, 1999.

**FAO – Food and Agriculture Organization**. 2011. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html#VISUALIZE>>. Acesso em: 20 fev. 2013.

FARO, Z. P. **Aproveitamento industrial da polpa de abóbora**. 2001. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

FEMENIA, A. et al. Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. **Food Science and Technology**. v. 42, n. 1, p. 106-112, 2009.

FENNEMA, O.; HUI, J.; KAREL, M. **Handbook of Vegetable Preservation and Processing**. New York, Marcel Dekker, 2004.

FERREIRA, M. F. P.; PENA, R. S. Estudo da secagem da casca do maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, p.15-28, 2010.

FILHO, L. M. **Influência de variáveis de processo sobre a cinética de secagem de abóbora (*Cucurbita moschata*)**. 2011. 137 f. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

GARCIA, C. C.; MAURO, M. A.; KIMURA, M. Kinetics of osmotic dehydration and air-drying of pumpkins (*Cucurbita moschata*). **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 82, n. 3, p. 284-291, 2007.

GOUVEIA, J.P.G. de et al. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. Especial, n.1, p.65-68, 2003.

GUINÉ R.; PINHO S.; BARROCA, M. J. Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). **Food and Bioproducts Processing (in press)**, 2010.

GWANAMA C. et al. Analysis of genetic variation in *Cucurbita moschata* by random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. **Euphytica**, v. 113, p. 9-24, 2000.

HEIDEN, G. et al. **Chaves para a identificação das espécies de abóbora (*Cucurbita, Cucurbitaceae*) cultivadas no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. p. 31, 2007.

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

HOFSKY, V. A. et al. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.640–646, 2013.

HOLANDA, H. D. et al. **Desidratação, avaliação da composição química e atividade de água de abóbora (*Cucurbita moschata*)**. In: II JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, Bananeiras, 2007.

**IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2006. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl1.asp?c=822&n=0&u=0&z=t&o=11&i=P>> . Acesso em: 03 mar. 2010.

**IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** 2008/2009. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pof/2008\\_2009\\_aquisicao/tabelas\\_pdf/tab24.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pof/2008_2009_aquisicao/tabelas_pdf/tab24.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2013.

JEFFREY, C. **An outline classification of the *Cucurbitaceae*.** In Biology and utilization of the *Cucurbitaceae*. Ithaca, USA. BATES, D. M.; ROBINSON, R.W.; JEFFREY, C. (Eds.): p. 449-463, 1990.

KALLUF, V. H. **Desidratação da polpa da abóbora (*Cucurbita moschata*) e seus teores de beta-caroteno.** 2006. 59 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KANG, H. M.; PARK, K. W.; SALTVEIT, M. E. Elevated growing temperatures during the day improve the postharvest chilling tolerance of greenhouse-grown cucumber (*Cucumis sativus*) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 24, p. 49-57, 2002.

KEEY, R. B. Moisture: Solid relationships. **Drying principle and practices.** Oxford, 1972. p.19-49.

LEWICKI, P. P.; PAWLAK, G. Effect of drying on microstructure of plant tissue. **Drying Technology**, v. 21, n. 4, p. 657-683, 2003.

LOPES, F. J.; et al. **Ajuste de modelos semiteóricos para predição de cinética de secagem de yacon (*Smallanthus sonchifolius*).** In: Congresso brasileiro de sistemas particulados, São Carlos, 2015.

MACHADO, A. M. et al. Cinéticas de secagem do abacaxi cv. Pérola. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, v.8, n.15; p. 428, 2012.

MANTUANO, C. Propriedades da milagrosa abóbora ou *Cucurbita Pepo*. 2004. Disponível em: <<http://www.saborearte.com>> Acesso em: 18 abr. 2016.

MAROTO, J. V. **Horticultura Herbacea Especial.** 4ª ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. p. 465, 1995.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modeling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2004.

McMINN, W. A. M. Thin-layer modeling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 72, n. 4, p. 113-123, 2006.

MENEGHETTI, V. L. et al. Modelos matemáticos para a secagem intermitente de arroz em casca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p.1115–1120, 2012

MERRICK, L C. **Squashes, pumpkins and gourds**. In: Evolution of Crop Plants. Longman, Londres. SMART, J.; SIMMONDS, N. W., (Eds.), p. 97-95, 1990.

MONTE, J. E. C et al. Sistema de controle de secagem de grãos em camada fina usando instrumentos digitais endereçáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** SBEA: Jaboticabal.

MULET, A. et al. Effect of shape on potato and cauliflower shrinkage during drying. **Journal of Food Engineering**, v. 18, n. 6, p. 1201-1219, 2000.

OLIVEIRA, R. C. et al. **Secagem de semente de maracujá-amarelo em camada delgada: ajuste dos dados ao modelo de Lewis**. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia, Minas Gerais, 2009.

PAGE, C. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. MS Thesis – Purdue University, West Lafayette, 1949.

PARK, K. J. **Fundamentos de secagem**. Notas de aula. Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, 1988.

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.

PARK, K. J. et al. Osmotic dehydration kinetics of pear D'anjou (*Pyrus communis L.*). **Journal of Food Engineering**, v.52, p.293-298, 2002.

PIEKARSKI, F. V. B. W. **Folha de abóbora: caracterização físico-química, mineral e efeito da adição na reologia da massa e na qualidade sensorial de pães contendo fibra alimentar**. 2009. 165f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PINEDO, A. A. **Secagem a vácuo de cenoura (*Daucus carota*) e abóbora (*Cucurbita máxima*): Estudo das características do processo.** 2003. 173 f. Tese (doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

PROVESI, J.G. et al. Changes in carotenoids during processing and storage of pumpkin puree. *Food Chemistry*, v. 128, p. 195- 202, 2011.

PORTELA. J. V. F. **Estudo dos aspectos tecnológicos e de qualidade envolvidos no aproveitamento da casca e da polpa da melancia (*Citrullus lanatus Schrad*).** 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

QUEIROZ, D. M.; PEREIRA, J. A. M., MELO, E. C. **Modelos matemáticos de simulação de secagem de grãos.** Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, p. 59. 1995.

RESENDE, G. M; BORGES, R. M. E; GONÇALVES, N. P. S. Produtividade da cultura da abóbora em diferentes densidades de plantio no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 504-508, 2013.

RIBEIRO, T. D et al. Comparação dos modelos exponencial simples com dois e três parâmetros na descrição da cinética de secagem de abóbora. **Revista Matemática e Estatística em Foco**, v. 1, n. 2, 2013.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. **Fontes Brasileiras de Carotenoides:** tabela brasileira de composição de carotenoides em alimentos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/ Secretaria de Biodiversidade e Florestas, p.100, 2008.

ROSA, J. G. **Secagem de cenoura (*Daucus carota L.*) em microondas.** 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.

SALES, M. A. L. et al. Potencial das sementes de abóbora submetidas a diferentes períodos de embebição. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 4, p. 289-297, 2015.

SANJUR, O. I. et al. Phylogenetic relationships among domesticated and wild species of *Cucurbita* (*Cucurbitaceae*) inferred from a mitochondrial gene: implications for crop plant evolution and areas of origin. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. 1, p. 535-540, 2002.

SILVA, E. F. M. da. **Modelos empíricos e difusivos para a descrição da secagem de bananas**. 2009. 18p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil.

**SOLO FORTE**. Plantações de qualidade. Disponível em: <<http://soloforte.blogspot.com.br/2011/07/plantacoes-de-qualidade.html>> Acessado em: 19 abr. 2016.

TEPPNER, H. **Notes on Lagenaria and Cucurbita (Cucurbitaceae)**. *Phyton*, v. 44, p. 245-308, 2004.

**UFRGS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/alimentus/feira/mpfruta/abobora/index.htm>>. Acesso em: Fev. 2007.

VAN ARDSEL, W. B. Drying phenomena. In: VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN Jr., A. I. **Food Dehydration**, 2. ed., Westport., AVI publishing Co., v.1, cap.3, 1973.

VELIC, D.; PLANINIC, M. TOMAS, S. BILIC, M. Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 97–102, 2004.

VILLELA, F. A.; SILVA, W. R. Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 49, n.1, p. 145-153, 1992.

WHITAKER, T. W.; BOHN, G. W. The taxonomy, genetics, production and uses of the cultivated species of *Cucurbita*. **Economic Botany**, v. 4, p. 52-81, 1950.

WHITAKER, T. W.; KNIGHT Jr, R. J. Collecting cultivated and wild cucurbits in Mexico. **Econ. Bot.**, v. 34, p. 312-319, 1980.