



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE AGRONOMIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
CAMPUS DE POMBAL - PB**

**CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA  
ACEROLA (*Malpighia emarginata*) PELO MÉTODO *FOAM - MAT***

POMBAL - PB

2014

FERNANDA MASLOVA SOARES ALVES

**CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA  
ACEROLA (*Malpighia emarginata* D. C) PELO MÉTODO FOAM - MAT**

Trabalho de Conclusão de Curso da Universidade  
Federal de Campina Grande - *Campus* Pombal, PB  
como requisito para obtenção do diploma de  
Engenharia de Alimentos.

Orientador(a):

Profa. MSc. Georgiana Maria Vasconcelos Martins

Co- Orientador (a):

Pesquisadora Dr<sup>a</sup>. Severina de Sousa

POMBAL - PB  
2014

## TERMO DE APROVAÇÃO

**FERNANDA MASLOVA SOARES ALVES**

### **CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ACEROLA (*Malpighia emarginata* D. C) PELO MÉTODO FOAM - MAT**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Alimentos submetido à Banca Examinadora designada pela Universidade Federal de Campina Grande - *Campus* Pombal, PB, como requisito para a obtenção do diploma.

Pombal - PB, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2014.

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. MSc. Georgiana Maria Vasconcelos Martins - UFCG  
(Orientadora)

---

Pesquisadora Dr<sup>a</sup>. Severina de Sousa - UFCG  
(Co-orientadora)

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Morgana Fabíola Cunha Silva Canuto - UFCG  
(Avaliadora interna)

---

Prof. Dr. Antônio Vitor Machado - UFERSA  
(Avaliador externo)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho às pessoas que fazem parte da minha vida:

Aos meus pais, Maria De Lourdes e Francinaldo Alves;

Ao meu irmão Fábio Soares

As minhas primas Auzeni, Pollyana e Palloma;

A minha amiga Aldeide Cartaxo;

Aos parentes, aos amigos e a todos que me acompanharam e me ajudaram nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado força e sabedoria para alcançar o meu objetivo.

Aos meus pais, pelo carinho, atenção e, principalmente, pela paciência em todos esses anos da minha criação.

Ao meu irmão que me deu apoio e suporte nas horas difíceis.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. MSc. Georgiana Maria Vasconcelos Martins e a minha Co-Orientadora Pesquisadora Dr<sup>a</sup>. Severina de Sousa, pela dedicação e paciência que tiveram comigo para a elaboração deste trabalho. Os elogios, incentivos e críticas foram vitais para a realização.

A amiga, conselheira Aldeide Cartaxo que me acompanhou em todo o processo desse trabalho e incentivou a não desistir nas horas difíceis. Será mais que uma colega de trabalho e também futura Engenheira de Alimentos.

Ao amigo Rodolfo Coelho que sempre esteve presente com seus conselhos e por ter me dado o privilegio de conviver um tempo com você.

Ao professor Dr. Antônio Vitor Machado pela confiança e por me dar oportunidade na carreira científica.

Aos amigos Dory Lane e Neidemarques Casimiro uma dupla de amigos que fez toda a diferença na universidade.

A minha Tia Rosângela Soares e Avó Apolônia Soares pelo acolhimento e carinho durante o tempo de estudos.

A Universidade Federal de Campina Grande *Campus* Pombal-PB, por permitir a minha formação como profissional.

Muito Obrigada!!

## RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se estudar a secagem de acerola pelo método foam-mat nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C em estufa com circulação forçada de ar. Para a representação da cinética de secagem pelo método foam-mat foram empregados os modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Page (1949) e Midilli e Kucuk (2002). Como critério de avaliação destes utilizou-se o coeficiente de determinação e o desvio quadrático médio. O presente trabalho também apresentou como objetivo a caracterização físico-química do pó da acerola desidratada. Utilizou-se um planejamento experimental  $2^2$  com 3 pontos centrais para avaliar a influência das variáveis independentes temperatura e tempo de batimento sobre as respostas: acidez total titulável, vitamina C e Constante Cinética. Mediante os resultados obtidos observou-se que o aumento da temperatura diminuiu o tempo de secagem da acerola. Dentre os modelos aplicados o de Midilli e Kucuk (2002) apresentaram os maiores valores de coeficiente de determinação  $R^2$  e os menores valores de DQM (Desvio Quadrático Médio) para a faixa de temperatura estudada. Com relação à análise estatística, verificou-se que para as variáveis de respostas não houve diferença estatística significativa para as variáveis de entrada: temperatura e tempo de batimento da polpa de acerola. Por outro lado, a caracterização físico-química indicou que a secagem da acerola pelo método foam-mat é viável para o processo de obtenção do pó da fruta, obtendo um produto desidratado de qualidade principalmente quanto aos critérios parâmetros acidez total titulável e vitamina C.

Palavras – chave: Acerola; Secagem; Modelos Matemáticos; Físico - química.

## ABSTRACT

This work was developed with the aim of studying the drying of acerola method by foam-mat at temperatures of 50, 60 and 70 ° C in an oven with forced air circulation. To represent the drying kinetics by the method foam-mat mathematical models and Pabis Henderson, Page (1949) and Midilli and Kucuk (2002) were employed. As a criterion for evaluating these we used the coefficient of determination and the mean square deviation. This paper also presented as objective the physico-chemical characterization of acerola powder dehydrated. We used an experimental design with three central points  $2^2$  to evaluate the influence of independent variables temperature and time on the beat responses: titratable acidity, vitamin C and Kinetic Constant. From the results obtained it was observed that increasing the temperature decreased drying time of the acerola. Among the models applied Midilli and Kucuk (2002) showed the highest values of coefficient of determination  $R^2$  and the lowest values of DQM (Mean Square Deviation) for the temperature range studied. Regarding the statistical analysis, found that for the response variables there was no significant statistical difference for the input variables: temperature and time of beating of the pulp. On the other hand, the physico-chemical characterization indicated that the drying of acerola by foam-mat method is feasible for the process of obtaining the fruit powder, dehydrated getting a quality product especially for parameters criteria titratable acidity and vitamin C.

Keywords: Acerola; drying; Mathematical models; Physical - chemical.

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	14
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS .....	14
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
3.1 Acerola .....	15
3.2 Características físico-químicas da acerola ( <i>Malpighia emarginata D.C.</i> ) .....	15
3.3 Generalidades da secagem .....	16
3.4 Modelos matemáticos que representam a secagem .....	17
3.5 Secagem Foam Mat .....	19
3.6 Planejamento e otimização de experimentos .....	20
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
<b>5 ETAPA DE PROCESSAMENTO</b> .....	22
5.1 Seleção .....	22
5.2 Lavagem e Sanitização .....	22
5.3 Obtenção da espuma .....	22
5.4 Secagem .....	22
5.5 Armazenamento .....	24
5.6 Características físico-químicas .....	24
5.6.1 Acidez total titulável .....	24
5.6.2 Umidade .....	25
5.6.3 Vitamina C .....	25
5.7 Planejamento experimental para a secagem .....	25
5.8 Análise estatística .....	26
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
6.1 Determinação físico-química da matéria-prima .....	27
6.2 Curvas cinéticas e aplicação dos modelos matemáticos .....	27
6.3 Análises estatísticas das variáveis de respostas .....	34
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	37
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	38



## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Fluxograma obtenção da secagem da acerola pelo método foam-mat.....	21
Figura 5.1 Seleção da acerola.....	22
Figura 5.2. Preparação da espuma.....	22
Figura 5.3. Bandejas centralizadas na estufa de circulação para secagem .....	23
Figura 6.1 Curva da razão de teor de água (RU) em função do tempo para as secagens da matriz experimental.....	28
Figura 6.2. Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 15 min e temperatura de 50°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.....	30
Figura 6.3 Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 15 min e temperatura de 70°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.....	31
Figura 6.4 Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 25 min e temperatura de 50°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.....	31
Figura 6.5 Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 25 min e temperatura de 70°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.....	32
Figura 6.6 Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 20 min e temperatura de 60°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.....	32
Figura 6.7 Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 20 min e temperatura de 60°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.....	33
Figura 6.8 Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 20 min e temperatura de 60°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.....	33

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 Modelo matemático utilizados para predizer o fenômeno de secagem da acerola pelo método foam-mat.....	19
Quadro 5.1 Níveis das variáveis independentes para Planejamento $2^2$ de secagem de acerola em camada de espuma.....	25
Quadro 5.2 Matriz do Planejamento completo $2^2$ com 3 pontos centrais para secagem convectiva da acerola. ....	25
Quadro 5.3 Análise dos dados para a caracterização química e físico-química da acerola in natura e processada.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Características físico-químicas da acerola em diferentes estados de maturação.....	16
Tabela 6.1 Valores médios da caracterização físico-químicas da acerola “ <i>in natura</i> ”.....	27
Tabela 6.2 Parâmetros dos modelos aplicados para a representação dos dados experimentais e seus respectivos coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ) e desvios quadráticos médios (DQM).....	29
Tabela 6.3 Resultados da acerola processada pelo método foam–mat em base úmida.....	34
Tabela 6.4 Efeitos das variáveis temperatura e tempo de batimento sobre a resposta de acidez total titulável.....	35
Tabela 6.5 Efeitos das variáveis temperatura e tempo de batimento sobre a resposta constante cinética estimada pelo modelo Midilli e Kucuk.....	35
Tabela 6.6 Efeitos das variáveis temperatura e tempo de batimento sobre a resposta de vitamina C.....	35

## 1. INTRODUÇÃO

A acerola (*Malpighia emarginata D.C.*), pelo seu inegável potencial como fonte natural de vitamina C e sua grande capacidade de aproveitamento industrial, têm atraído o interesse dos fruticultores e passou a ter importância econômica em várias regiões do país. O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de acerola no mundo. Existem plantios comerciais em praticamente todos os estados brasileiros. Contudo, é na região nordestina, por suas condições de solo e clima, onde a acerola melhor se adapta (FREITAS et al. 2006).

Estudos apontam que acerola é uma fruta de elevado teores de oxidantes além de elevado conteúdo de vitamina C, presente na sua polpa, o sobrepõe sobre as demais frutas pela possibilidade de processamento/industrialização e armazenamento com a manutenção de valores nutricionais ainda elevado, o conteúdo de vitamina C varia em torno de 800mg/ 100g em frutos maduros, 1600mg/100g em frutos meio-maduros e 2700mg/ 100g em frutos verdes (MENEZES et al. 2009).

A acerola (ou cereja-das-antilhas) é uma fruta vermelha originária da América Central (MARINO NETTO, 1986). Seu consumo vem aumentando nas últimas décadas, pelo fato do alimento conter propriedades antioxidantes e o alto teor de ácido ascórbico, assim como à presença de antocianinas, principais pigmentos da acerola (LIMA et al., 2003; MEZADRI et al., 2005).

Com o aumento da produção e do consumo da acerola, e por se tratar de um fruto bastante perecível, existe a necessidade de buscar novas alternativas para seu processamento, no qual vise à conservação e obtenção de produtos com o maior valor agregado.

A secagem é um tipo de processo que é utilizado na indústria alimentícia, onde concentra os princípios da matéria-prima e habilita o produto para armazenamento em condições ambientais por períodos longos e minimiza a proliferação de microrganismos, pois o processo consiste da remoção da água do alimento restando apenas à matéria seca do mesmo.

Os secadores podem ser classificados em relação ao método de fornecimento de calor, tipo de equipamento de secagem, método de transporte do produto, estado e natureza da alimentação, condições de operação e tempo de residência. Devido às grandes variações nas características nas matérias-primas utilizadas e na diversidade de alimentos desidratados, secadores de vários tipos são utilizados nas indústrias de alimentos (VALENTAS, 1997).

Foam-mat drying é o processo onde um alimento líquido ou pastoso é agitado para formar uma espuma estável, e posteriormente desidratada por processamentos térmicos. As principais vantagens desse método, quando comparado a outros métodos de

secagem como spray-drying ou secagem por tambor são as baixas temperaturas e curtos tempos de secagem (BRYGIDYR *et al*, 1977).

O líquido é transformado em espuma, pela adição de uma pequena porção (1% ou menos) de um agente espumante, como a proteína de soja, albumina, ésteres de ácidos graxos e monoestearatos de glicerol, e a incorporação de ar ou outros gases como o nitrogênio (por ser inerte) por injeção direta ou agitação. A espuma é distribuída em camadas finas em telas de arame e levada ao secador. (BRENNAN, 2006).

Este trabalho teve como finalidade de estudar o processo de secagem da acerola através do processo *foam-mat* nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, avaliando – se a qualidade do produto final obtido. Assim teremos uma avaliação das características físico-química da acerola (*Malpighia emarginata D.C.*) in natura e após a secagem, visando à obtenção de dados científicos sobre as possíveis propriedades funcionais que estimule o seu uso e agregando valor aos produtos que venham a ser processados com este ingrediente.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo de estudar o processo de secagem da acerola (*Malpighia emarginata D.C.*) pelo método *foam-mat* e avaliar a qualidade do produto final.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar físico-quimicamente a acerola (*Malpighia emarginata D.C.*) *in natura*.
- Estudar o processo de secagem da acerola mediante planejamento experimental completo  $2^2 + 3$  e análise dos resultados, tendo como variáveis independentes: temperatura e tempo de batimento; e como variáveis dependentes: acidez total titulável (ATT), vitamina C e constante cinética.
- Escolher a melhor condição de secagem com base nos parâmetros experimentais e na qualidade do produto final desidratado.
- Ajustar os modelos matemáticos aos dados experimentais.
- Determinar a composição físico-química da acerola (*Malpighia emarginata D.C.*) pós-secagem.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Acerola

A acerola (*Malpighia emarginata*) é popularmente conhecida como cereja-das-antilhas ou cereja-de-bárbaros, tem origem nas Antilhas, América Central e norte da América do Sul. Pertence a família das Malpighiaceae (ALVES, 1992).

O fruto nasce na aceroleira que é um arbusto de até três metros de altura, seu tronco se ramifica desde a base, e sua copa é bastante densa com pequenas folhas verde-escuras e brilhantes. Suas flores, de cor róseo-esbranquiçada, são dispostas em cachos, têm floração durante todo o ano, e após três ou quatro semanas se dá sua frutificação. Por ser uma planta muito rústica e resistente, ela se espalhou facilmente por várias áreas tropicais, subtropicais e até semi-áridas.

Apresenta-se como alternativa comercial altamente viável no mercado de frutas, seu cultivo foi rapidamente expandido, no qual gera uma superprodução que vem justificando estudos direcionados ao desenvolvimento de novos produtos a partir desta matéria-prima, que concentra na fruta “in natura” e na polpa, sua maior forma de consumo (SOARES et al., 2001).

A inclusão de frutas e seus produtos na dieta é uma recomendação nutricional relacionada à saúde tendo em vista que estes alimentos fornecem quantidades apreciáveis de vitaminas, minerais e fibras. Além disto, evidências epidemiológicas têm demonstrado que existe uma forte correlação inversa entre o consumo regular de frutas e hortaliças e a prevalência de algumas doenças crônicas não transmissíveis. Portanto, uma dieta rica em vegetais encontra-se associada a uma maior expectativa de vida. (MELO et. al., 2008).

#### 3.2 Características físico-químicas da acerola (*Malpighia emarginata* D.C.)

Nos últimos anos a acerola (*Malpighia emarginata*, D.C.) vem sendo explorada comercialmente, com boa aceitação no mercado devido, especialmente, ao seu elevado teor de ácido ascórbico (vitamina C), bem como as suas características nutricionais, associado a sabor e textura agradáveis ao paladar do consumidor. O teor de ácido ascórbico presente na acerola em seus diferentes estágios de maturação chega a ser aproximadamente 100 vezes maior que a encontrada na laranja, ou 10 vezes maior que a da goiaba, tidas como frutas possuidoras de alto conteúdo de vitamina C. O elevado teor de umidade torna o fruto bastante perecível, necessitando de algum tipo de conservação para que aumente a sua vida de prateleira.

A Tabela 3.1 representa as características físico-químicas da acerola em diferentes estados de maturação.

**Tabela 3.1:** Características físico-químicas da acerola em diferentes estados de maturação.

Características	Acerola imatura (verde)	Intermediária (amarela)	Madura (vermelha)
<b>Vitamina C (mg/100g<sup>1</sup>)</b>	2164	1.065	1.074
<b>Proteína (g/100g<sup>-1</sup>)</b>	1,2	0,9	0,9
<b>Cinzas (g/100g<sup>-1</sup>)</b>	0,4	0,4	0,4
<b>Umidade (g/100g<sup>-1</sup>)</b>	91,0	92,4	92,4
<b>Acidez titulável</b>	18,2	15,6	34,4
<b>Ph</b>	3,7	3,6	3,7
<b>Sólidos solúveis (°Brix)</b>	7,8	7,7	9,2
<b>Açúcar redutor (g/100g<sup>-1</sup>)</b>	3,3	4,2	4,4
<b>Açúcar não - reductor (g/100g<sup>-1</sup>)</b>	1,1	0,1	Nd*
<b>Açúcar total (g/100g<sup>-1</sup>)</b>	4,4	4,3	4,4

Fonte: **MENEZES et al. 2009** (\*Nd = Nada)

### 3.3 Generalidades da secagem

A secagem é um complexo processo que envolve transferência de calor e massa, sendo que o transporte de umidade, do interior para a superfície do material, pode ocorrer na forma de líquido e/ou vapor, dependendo do tipo de produto e do percentual de umidade presente. O processo de secagem deve acontecer de forma controlada para que possa ocorrer de maneira uniforme, evitando elevados gradientes de umidade e temperatura no interior do material que podem provocar a perda da qualidade do produto. Sabendo-se que os efeitos da secagem alteram as propriedades físicas e químicas do produto e que estes, por sua vez, afetam o processo de transferência de calor e massa, é fundamental se conhecer os seus efeitos e o seu controle (LIMA et al., 2007).

Durante muito tempo o tradicional método de secagem na agricultura era deixar o produto no campo, sob a ação do sol e do vento, para perder parte de sua umidade. Conforme o tempo foi passando e com os conhecimentos adquiridos pela experiência, os artesãos se foram tornando cada vez mais capazes de lidar com secagem e armazenamento de alimentos; atualmente, esses assuntos são objeto de estudos em muitos



centros de pesquisa e universidades em todo o mundo, em um processo contínuo de descobertas de novas metodologias de otimização da economia e qualidade do produto (FIOREZE, 2004).

A secagem artificial é uma operação relativamente cara; entretanto, apresenta uma série de vantagens com relação à secagem natural, como independência das condições climáticas, possibilidade de se estabelecer um programa de operação com mais facilidade; além disso, diminui o risco de deterioração dos alimentos em função do tempo de secagem ser menor (SOUSA, 1999).

Dois dos principais fatores que governam a secagem são: a retirada de umidade da superfície do produto, que é função tanto da área do produto em exposição ao ar como da capacidade do ar de retirar a água da superfície, e a migração de umidade do interior à superfície do produto (FIOREZE, 2004).

### 3.4 Modelos matemáticos que representam a secagem

Na literatura existem várias equações teóricas, semi-teóricas e empíricas para descrever o fenômeno de secagem em camadas finas. Lewis em 1921, citado em BROOKER et al. (1992) sugeriu uma equação análoga à lei de Newton para o resfriamento. O autor menciona que durante a secagem de produtos higroscópicos porosos, no período de taxa de secagem decrescente, a taxa de transferência de umidade é proporcional a diferença instantânea entre o teor de água do produto e o teor de água esperado do material em equilíbrio com ar de secagem, conforme a expressão.

$$dU = -\frac{k(U - U_e)}{dt} \quad (1)$$

Em que:

U é o teor de água médio no produto no tempo (t), decimal, b.s (adimensional);

U<sub>e</sub> é o teor de água de equilíbrio do produto, decimal, b.s (adimensional);

t é o tempo de secagem (h);

k é o constante de secagem (h<sup>-1</sup>).

Integrando a equação (1) entre os limites U<sub>o</sub>, no início da secagem e U num tempo t qualquer de secagem, tem-se:

$$RU = \frac{U(t) - U_e}{U_o - U_e} = \exp.(-k \cdot t) \quad (2)$$

Em que:

RU é a razão de umidade (adimensional);

U<sub>0</sub> é o teor de água inicial, decimal, b.s (adimensional);

Esta equação tem sido aplicada satisfatoriamente em alguns estudos para descrever a secagem de grãos e sementes em camadas finas (BALA e WOODS, 1992; BALA e WOODS, 1984; BROOKER, 1992; CLASER, 1995; ANDRADE et al., 2003). Entretanto, a literatura apresenta relatos de insucesso em sua aplicação (CHIN e JHONSON, 1969).

Uma modificação da Equação 2 foi proposta por Page citado por WHITE et al. (1981) para descrever a secagem de milho em camadas finas. O modelo empírico é definido por meio da Equação 3:

$$RU = \exp(-k \cdot t^n) \quad (3)$$

Em que:

k = ((A) exp(-(B)/(t))) e “n” são parâmetros empíricos e adimensionais de secagem.

Em geral o parâmetro “k” representa o efeito das condições externas de secagem, enquanto o “n” reflete a extensão da resistência interna do produto à secagem, para determinadas condições externas (MISRA e BROOKER, 1980). BROOKER et al. (1992) mencionaram que os valores dos coeficientes “k” e “n” variam de acordo com o tipo de produto e a temperatura do ar de secagem.

Outro modelo muito utilizado na representação da secagem de sementes é o dos Resíduos Sucessivos, o qual deve previamente estabelecer o número de termos que terá a modelagem.

$$RU = a \exp(-(b \exp(-e/T))t) + d \exp(-(\exp(-f/T)t) \quad (4)$$

Em que:

t é o tempo (minuto);

k, a, b, d, e, f são constantes que dependem do produto.

No Quadro 3.1 estão representados os modelos matemáticos para secagem da acerola pelo método foam-mat.

**Quadros 3.1** Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem da acerola pelo método foam-mat.

Designação do Modelo matemático	Equação	Nº	Referência
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-kt)$	1	(ZHANG & LITCHFIELD, 1991)
Midilli e Kucuk	$RU = a \exp(-kt^n) + b t$	2	(MIDILLI et al., 2002)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$	3	(DOYMAZ, 2005)

Em que: RU - razão de umidade; a, b, n - coeficiente dos modelos; k - constantes de secagem ( $\text{min}^{-1}$ ); tempo (min).

Os modelos matemáticos de secagem serão ajustados aos dados da cinética de secagem da acerola, utilizando-se o programa computacional STATISTICA versão 7.0.

### 3.5 Secagem Foam-Mat

Dentre as diversas técnicas de secagem destaca-se a secagem em camada de espuma (*foam-mat* drying). Esta técnica é aplicada à secagem de alimentos líquidos ou semi-líquidos, os quais são transformados em uma espuma estável pela incorporação de ar em sua estrutura e adição de agente emulsificante/estabilizante.

A secagem *foam-mat* é considerada um processo simples e de baixo custo que apresenta a particularidade de utilizar agentes que tem a função de facilitar e manter a estabilidade da espuma durante o processo. Tem como vantagens o processamento em baixas temperaturas, menor tempo de desidratação devido à maior área de contato exposta ao ar, remoção mais rápida da água presente no produto e obtenção de um produto poroso facilmente reidratável. A escolha do tempo e temperatura de desidratação depende do produto a ser desidratado.

O processo de secagem em camada de espuma (*foam-mat*) consiste, basicamente, de três etapas: transformação do suco ou da polpa em espuma estável, com aditivos; desidratação do material em camada fina até massa constante e desintegração da massa seca em escamas e, finalmente, em pó. Esse processo pode ser executado em temperaturas relativamente baixas, em torno de 70 °C ou menos, e mantém alta qualidade e

boa estabilidade dos produtos, com testes em café, sucos de laranja, grapefruit, uva, carambola, banana, abacaxi, coco, batatas, alimento para crianças, leites, ameixa, maçã, sopas, cremes, ovos, tomate, acerola, tamarindo e outros produtos (SILVA et al., 2005).

### **3.6 Planejamento e otimização de experimentos**

A metodologia da superfície de resposta (RSM) é composta de duas etapas: a modelagem e o deslocamento. Ambas podem ser repetidas quantas vezes forem necessárias, até que se atinja uma região ótima (máximo ou mínimo), da superfície estudada. A primeira é conseguida se ajustando modelos lineares ou quadráticos a resultados experimentais obtidos de planejamentos experimentais. A segunda ocorre em busca do caminho de máxima inclinação de um determinado modelo, que é o caminho onde a resposta varia de forma mais pronunciada. (BARROS NETO, SARMÍNIO E BRUNS, 2003).

O método do planejamento é baseado na seleção de níveis (nível superior + e nível inferior -) para cada variável de entrada (variável independente) e na execução de experimentos para todas as possíveis combinações. Se  $n$  fatores (variáveis controladas pelo experimentador) estão envolvido no estudo de um sistema, o planejamento necessita de  $2^n$  ensaios diferentes, que é o número mínimo para obtenção de um planejamento fatorial completo. Outros ensaios podem ser adicionados ao experimento na forma de repetições a fim de se calcular o erro experimental. Com os resultados obtidos, podem-se calcular os efeitos principais e de interação das variáveis independentes sobre as respostas (variáveis dependentes), determinando quais os efeitos mais significativos para o processo em estudo.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de acerola foram provenientes do Sertão da Paraíba, de tamanho uniforme, pertencentes ao estágio de maturação madura (vermelha) de acordo com Menezes et al. 2009. Em seguida foram levadas para o Laboratório de Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), pertencentes à Universidade de Campina Grande, campus de Pombal, onde os experimentos serão conduzidos.

A Figura 4.1 apresenta as etapas de processamento para obtenção da secagem da acerola pelo método foam-mat.

**FIGURA 4.1** – Fluxograma básico do processamento dos frutos para obtenção da secagem da acerola pelo método foam-mat.



## 5. Etapa de processamento

### 5.1 Seleção

As frutas foram adquiridas no mercado central de Pombal, sertão da Paraíba e selecionados conforme seu grau de maturação e integridade.

**Figura 5.1** Seleção da acerola



### 5.2 Lavagem e Sanitização

No Laboratório de Tecnologia de Alimentos, os frutos foram lavados primeiramente em água corrente e depois sanitizados com água clorada 50 ppm de cloro livre ativo por 10 minutos, para retirar qualquer tipo de sujeira e para a descontaminação do fruto.

### 5.3 Obtenção da espuma

Para obtenção da espuma foi feita uma mistura da polpa de acerola com um emulsificante (Aditivo) e foi submetida à agitação constante. O tempo de batimento utilizado para preparação da espuma encontra-se descrito no quadro 5.1. Na figura 5.2 está ilustrada a produção da espuma.

**Figura 5.2** Produção da espuma



### 5.4 Secagem

As acerolas foram colocadas em estufa de circulação de ar para realização de secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

**Figura 5.3** Bandejas centralizadas na estufa de circulação para secagem



Antes do início da secagem determinou-se o teor de água inicial da acerola, de acordo com A.O.A.C. (1997), que constitui em se submeter amostras de acerola em estufa, a temperatura de 105°C +/-2°C durante 24 horas para permitir a retirada total da água.

A determinação do teor de água inicial foi calculada utilizando a Equação 5:

$$X_{BU} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad (5)$$

Em que:

$X_{bu}$  é o teor de água em base úmida (adimensional)

$P_i$  é o peso inicial (g);

$P_f$  é o peso final (g).

Determinado o teor de água inicial das acerolas, usou-se a seguinte fórmula para acompanhar o teor de água do produto no processo de secagem, através da variação de peso como parâmetro de determinação:

$$X_{BU} = \frac{H_2O_{inicial} - \Delta P}{(H_2O_{inicial} - \Delta P) + MS} \quad (6)$$

Em que:

$X_{bu}$  é o teor de água em base úmida (adimensional)

$\Delta P$  é a variação de peso (usa-se, como referência, o peso inicial) (g);

MS é a matéria seca (g);

$H_2O_{inicial}$  é a água inicial (g).

Para determinação do teor de água em base seca foi utilizada a Equação 7:

$$X_{BS} = \frac{X_{BU}}{1 - X_{BU}} \quad (7)$$

Em que:

$X_{bs}$  é o teor de água em base seca;

$X_{bu}$  é o teor de água em base úmida.

A determinação da razão do teor de água foi calculada pela Equação 8:

$$RX = \frac{X_{BS} - X_e}{X_{bs(inicial)} - X_e} \quad (8)$$

Em que:

$RX$  é a razão do teor de água (adimensional);

$X_e$  é o teor de água de equilíbrio em base seca;

$X_{bs}$  teor de água em base seca;

$X_{bs (inicial)}$  é o teor de água inicial em base seca.

Conhecendo-se o teor de água inicial dos frutos, a secagem será acompanhada da perda de peso com relação ao tempo, utilizando-se uma balança analítica modelo SHIMADZU AY220, com máximo 220 g e mínimo 0,01 g.

## 5.5 Armazenamento

O pó de acerola obtida em cada ensaio foi embalado em sacos de polipropileno e armazenado a temperatura ambiente para posteriores análises.

## 5.6 Características físico-químicas

As análises físico-químicas realizadas na acerola *in natura* e processadas foram realizados de acordo com os procedimentos específicos ou adaptados descritos na literatura, sendo realizadas em triplicata. As análises determinadas foram: Acidez total titulável, Vitamina C e Umidade.

### 5.6.1 Acidez total titulável

A acidez total titulável foi definida pelo método acidimétrico utilizando-se uma base forte de NaOH 0,1N. Os resultados foram expressos em percentagem de ácido cítrico, segundo o INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).



### 5.6.2 Umidade

A umidade da acerola “*in natura*” e após a secagem foi estabelecida de acordo com os métodos descritos pelas normas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).

### 5.6.3 Vitamina C

O ácido ascórbico (Vitamina C) foi determinado através do método do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

### 5.7 Planejamento experimental de secagem

O processo de secagem convectiva das frutas foi estudada mediante planejamento experimental fatorial completo  $2^2$  com 3 pontos centrais, sendo duas variáveis independentes (temperatura e espessura), avaliadas em dois níveis (-1 e +1), totalizando 7 experimentos. As variáveis dependentes do planejamento foram: Acidez Total Titulável (ATT) e Vitamina C (VC).

No quadro 5.1 está representado o planejamento do experimento para a secagem da acerola.

**Quadro 5.1** – Níveis das variáveis independentes para Planejamento  $2^2$  de secagem de acerola em camada de espuma

Níveis	-1	0 (ponto central)	+1
Temperatura (°C)	50	60	70
Tempo de batimento (min.)	15	20	25

O quadro 5.2 está representada a matriz do planejamento completo para a secagem convectiva.

**Quadro 5.2** - Matriz do Planejamento completo  $2^2$  para secagem de acerola em camada de espuma

Ensaio	Temperatura (codificada)	Tempo (codificado)	Temperatura (°C)	Tempo (Min)
1	-1	-1	50	15
2	+1	-1	70	15
3	-1	+1	50	25
4	+1	+1	70	25
5	0	0	60	20
6	0	0	60	20
7	0	0	60	20

Os parâmetros dos modelos propostos foram obtidos por análises de regressão não linear por meio do programa computacional STATISTICA, versão 7.0.

Através do presente estudo foi possível obter modelos estatísticos capazes de predizerem o comportamento das variáveis dependentes (respostas) em função das variáveis independentes tempos de batimento, temperatura e constante cinética.

Assumindo que poderá existir uma função matemática “y” para cada resposta  $\xi$ (ATT, AA e K) em função das três variáveis independentes (temperatura e tempo de batimento) (KHURI; CORNELL,1996):

Onde ATT é a acidez total titulável e AA é o ácido ascórbico e k é a constante cinética.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \varepsilon \quad (9)$$

Onde  $\beta$  corresponde ao coeficiente da equação e os sub-índices 0,i,ii,ij correspondem ao valor médio da função y, temperatura, tempo de batimento, interação entre temperatura e tempo de batimento, respectivamente. A Equação (9) corresponde ao modelo codificado das variáveis dependentes que serão avaliadas neste estudo.

A fim de se obter os coeficientes da Equação (9) será realizada uma análise de Variância (ANOVA) para cada resposta, utilizando o programa computacional STATISTICA (7.0) (STATSOFT, 2004).

Para a acerola o objetivo do estudo foi realizar uma análise conjunta entre as superfícies de resposta obtidas para a razão de ácido ascórbico (AA) e acidez total titulável (ATT) e a constante cinética (K) a fim de se encontrar a região que melhor atendesse aos objetivos do presente estudo.

## 5.8 Análises estatísticas

Para análise dos dados de vitamina C, Acidez Total Titulável e constante cinética foram utilizados um planejamento experimental, de acordo com o quadro 5.3. Para análise dos resultados foi aplicado ANOVA, utilizado para isso o programa computacional STATISTICA versão 7.0.

**Quadro 5.3** Análise dos dados para a caracterização química e físico-química da acerola in natura e processada.

Tratamentos	Fase do processo	Experimento
T1	<i>In natura</i>	-
T2	Ensaio 1	50°C, 15 min
T3	Ensaio 2	70°C, 15 min
T4	Ensaio 3	50°C, 25 min
T5	Ensaio 4	70°C, 25 min
T6	Ensaio 5	60°C, 20 min
T7	Ensaio 6	60°C, 20 min
T8	Ensaio 7	60°C, 20 min

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Determinação Físico-química da matéria-prima

A determinação físico- química da acerola *in natura* foi realizada de acordo com os métodos do INSTITUTO ADOLFO LUTZ(1985). ATabela 6.1 mostram os resultados obtidos da caracterização físico-química (Acidez total titulável, umidade, vitamina C, pH e sólidos solúveis (°Brix)) para a acerola no estado de maturação madura.

**Tabela 6.1** – Valores médios da caracterização físico-químicas da acerola “*in natura*”.

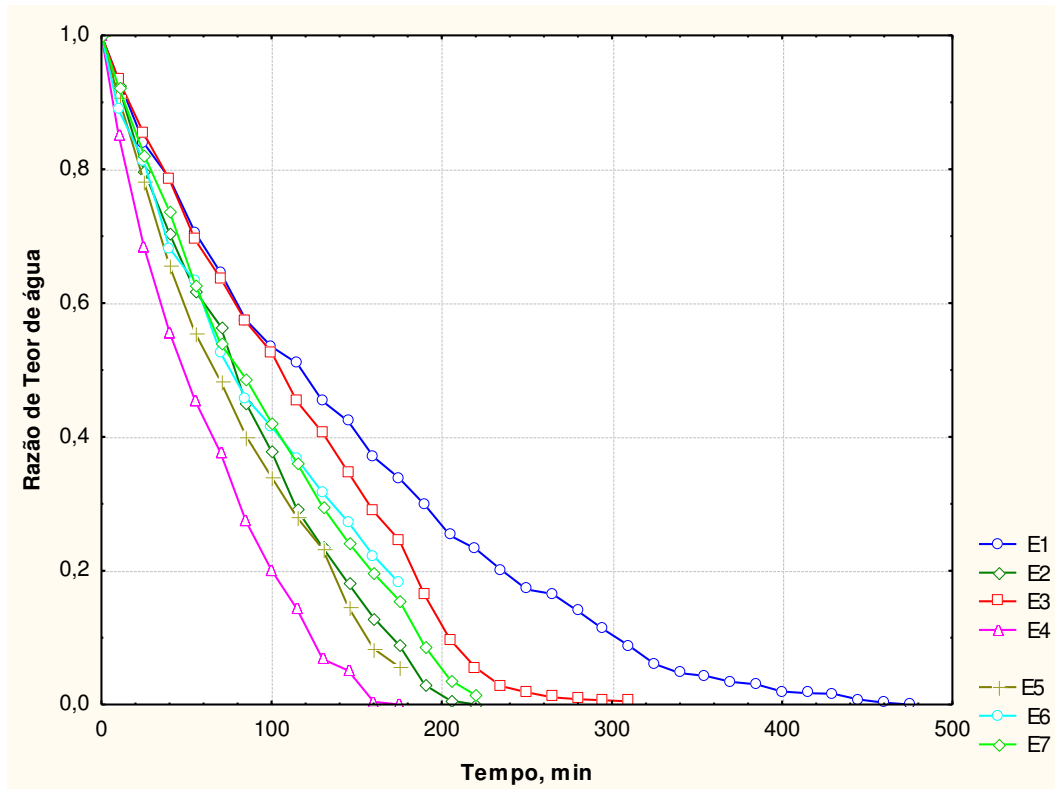
Determinações	“in natura” ± DM
Acidez Total Titulável (% ácido cítrico)	24,7 ± 1,008
Umidade (% bu)	89,48 ± 0,547
Vitamina C (mg/100g)	897,46 ± 3,003
pH	3,2 ± 0,01
Sólidos Solúveis (°Brix)	6,89 ± 0,294

Dentre os parâmetros físico-químicos que mais se destaca na acerola é o ácido ascórbico, no qual se pode observar que esse resultado se encontra próximo ao de Lima et al., (2002), onde ele encontra o ácido ascórbico no valor de 1066, 66 mg/100g. As demais análises quando comparadas as da literatura ficam bem próximos dos resultados citados por MENEZES et al., (2009), em que os valores encontrados por esse autor são sólidos solúveis (°Brix) 9,2 , pH 3,7, acidez total titulável 34,4% e umidade 92,4%.

### 6.2 Curvas cinéticas e aplicação dos modelos matemáticos

Na Figura 6.1, encontram-se representadas graficamente às curvas de secagem em camada de espuma da polpa de acerola para as condições estudadas, conforme descritas no Quadro 4.1. A análise dessas curvas revelam que o acréscimo na temperatura favorece a diminuição do tempo e ao aumento da velocidade da secagem, o comportamento é similar às observações realizadas por Sankat & Castaigne (2004), ao estudarem a secagem em camada de espuma de banana.

**Figura 6.1** Curva da razão de teor de água (RU) em função do tempo para as secagens da matriz experimental. E1= 50°C e 15 min; E2 =70°C e 15 min; E3 = 50°C e 25 min; E4 = 70°C e 25 min; E5 = 60°C e 20 min; E6= 60°C e 20 min; E7 = 60°C e 20 min.



A análise da influência das temperaturas do ar na cinética do processo relevam diferenças significativa no tempo de secagem, provocado pelo o aumento da temperatura. No início do processo a perda de umidade é mais rápida e o tempo de estabilização varia de acordo com a temperatura. Tal comportamento expressa o tempo necessário para retirar a água presente na polpa de acerola, ao aplicar a temperatura de 50°C é requerido um tempo 2 vezes maior do que o necessário para a temperatura de 70°C.

Além disso, o processo de secagem ocorre na ausência do período da taxa constante de secagem, o que sugere o processo de difusão de umidade, do interior do produto para a superfície do mesmo, como o mecanismo físico predominante ao longo do processo.

O estudo da cinética de secagem visa o conhecimento do comportamento do material ao longo do processo e a predição do tempo de secagem. A modelagem do processo é de grande importância para o desenvolvimento e a otimização dos secadores, além de possibilitar a padronização do processo.

Na Tabela 6.2, têm-se os valores dos parâmetros dos modelos empregados para a representação dos dados experimentais, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios (DQM), para os ensaios em estudo.

Verifica-se que dentre os modelos empregados, o de Midilli e Kucuk, apresenta os maiores valores para  $R^2$ , acima de 0,9921 e menores DQM, para todos os ensaios, seguido do modelo de Page, que supera o de Henderson e Pabis. Semelhante a SILVA et al, 2008, ao estudar a desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. A elevação do modelo de Midilli e Kucuk em relação ao de Page, pode ser explanado pela maior quantidade de parâmetros da equação. Todos os modelos apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 0,98, ou seja, 98 % da linha de regressão dos modelos apresentam o comportamento dos dados experimentais. Tal observação indica que os modelos podem ser utilizados na estimativa das curvas de secagem da acerola. No entanto, o modelo de Midilli e Kucuk (Tabela 6.2) é o que melhor representa o processo de secagem, por apresentar o menor desvio quadrático médio (DQM).

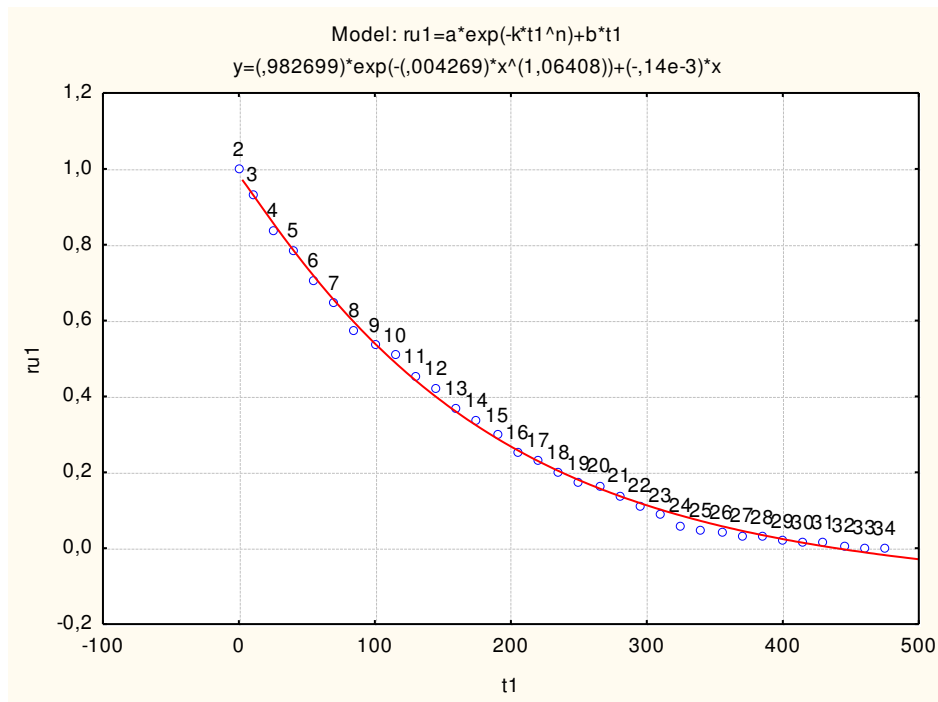
**Tabela 6.2** – Parâmetros dos modelos aplicados para a representação dos dados experimentais e seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM).

Modelos	Ensaio	Parâmetros				$R^2$	DQM
		K	A	n	b		
<b>Page</b>	1	0,002971	-	1,158252	-	0,9939676	0,0020
	2	0,001896	-	1,373622	-	0,9901763	0,0028
	3	0,00083	-	1,466848	-	0,9869746	0,0027
	4	0,007689	-	1,170074	-	0,9909808	0,0023
	5	0,003522	-	1,265784	-	0,9905385	0,0031
	6	0,003855	-	1,195304	-	0,9848677	0,0032
	7	0,002071	-	1,328961	-	0,9896478	0,0026
<b>Henderson e Pabis</b>	1	0,006971	1,029983	-	-	0,98875262	0,0028
	2	0,011480	1,061765	-	-	0,97019628	0,0074
	3	0,009047	1,082208	-	-	0,96076422	0,0097
	4	0,016397	1,021951	-	-	0,98538116	0,0036
	5	0,012559	1,047926	-	-	0,97921263	0,0052
	6	0,010102	1,027611	-	-	0,97695103	0,0057
	7	0,010557	1,060566	-	-	0,97335734	0,0066
<b>Midilli e Kucuk</b>	1	0,004269	0,982699	1,064081	-0,000141	0,99802224	0,0005
	2	0,004408	0,990338	1,128701	-0,000754	0,99804921	0,0005
	3	0,000613	0,951108	1,498230	-0,000130	0,99215461	0,0020
	4	0,015458	0,995136	0,953914	-0,000803	0,99839614	0,0004
	5	0,006841	0,993407	1,078442	-0,000492	0,99706572	0,0007
	6	0,011345	0,995360	0,894552	-0,000828	0,99696545	0,0008
	7	0,004432	0,990848	1,119840	-0,000548	0,99722625	0,0007

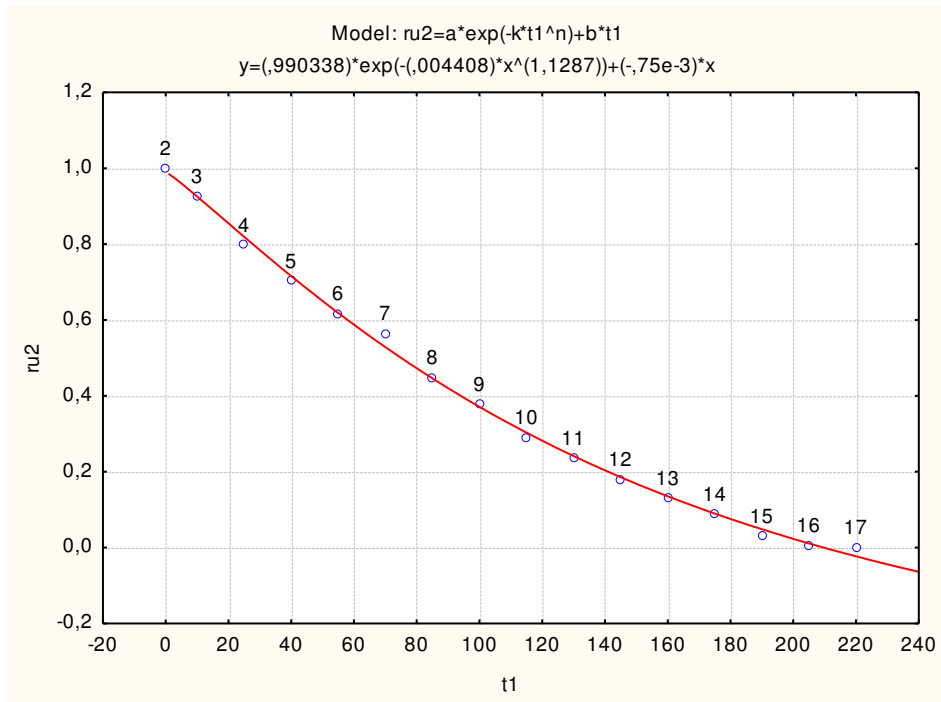
São apresentados nas Figuras 6.2; 6.3; 6.4; 6.5; 6.6; 6.7 e 6.8 as curvas de secagem, a 50, 60 e 70°C, da secagem de acerola pelo método foam-mat em estufa de ar de circulação de acordo com o planejamento de experimental adotado, com as curvas ajustadas mediante o modelo de Midilli e Kucuk

Aos resultados dos ensaios do planejamento do experimento foram aplicados os modelos Midilli e Kucuk, devido o seu melhor coeficiente de determinação, representado nas Figuras 6.2 a 6.8.

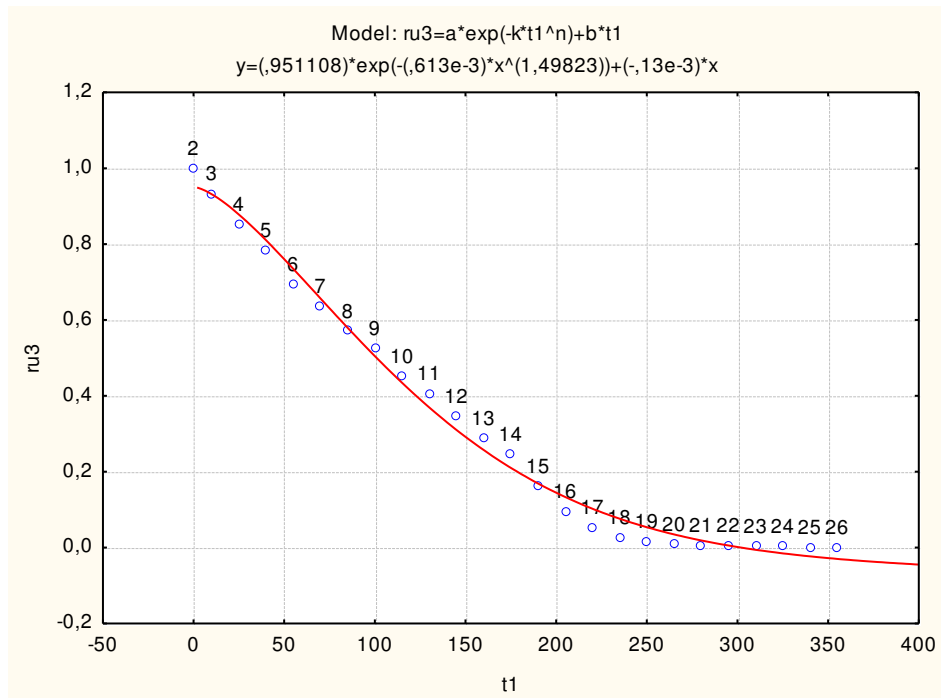
**Figura 6.2.** Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 15 min e temperatura de 50°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.



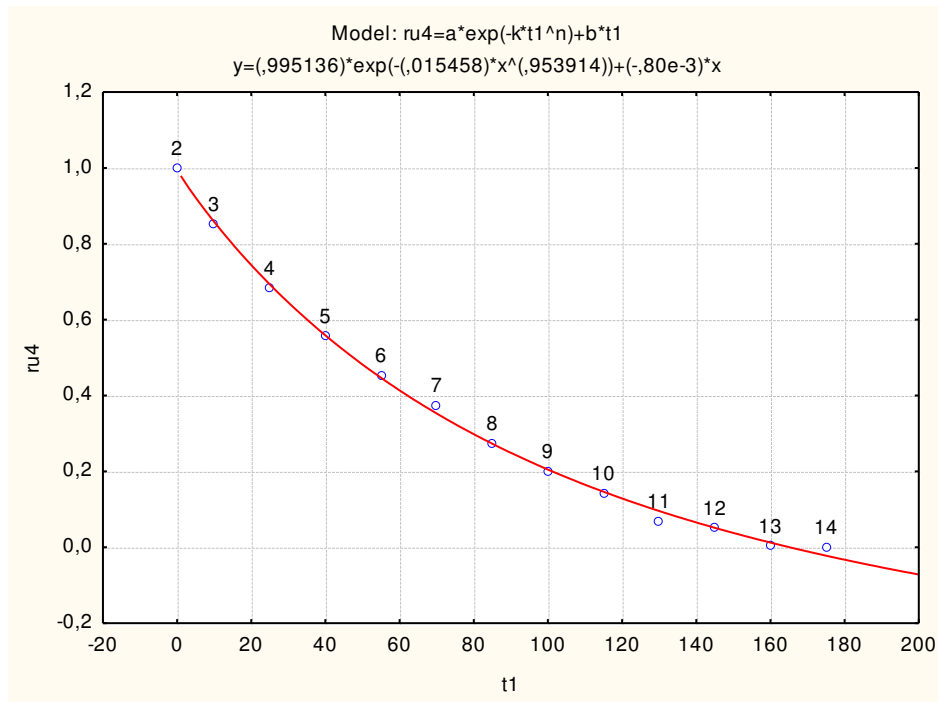
**Figura 6.3** Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 15 min e temperatura de 70°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.



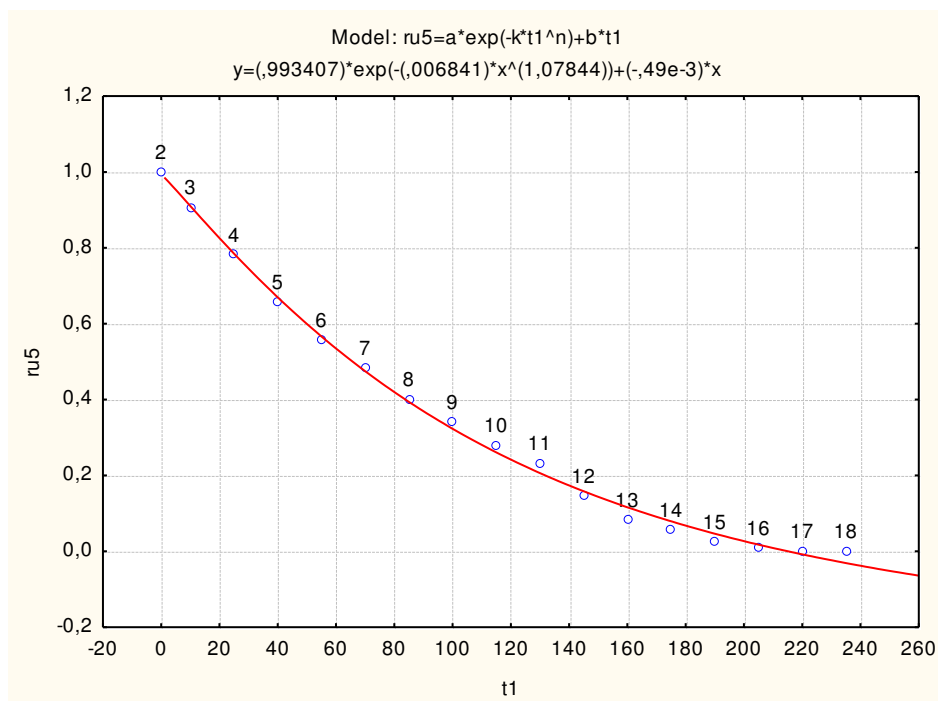
**Figura 6.4** Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 25 min e temperatura de 50°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.



**Figura 6.5** Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 25 min e temperatura de 70°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.

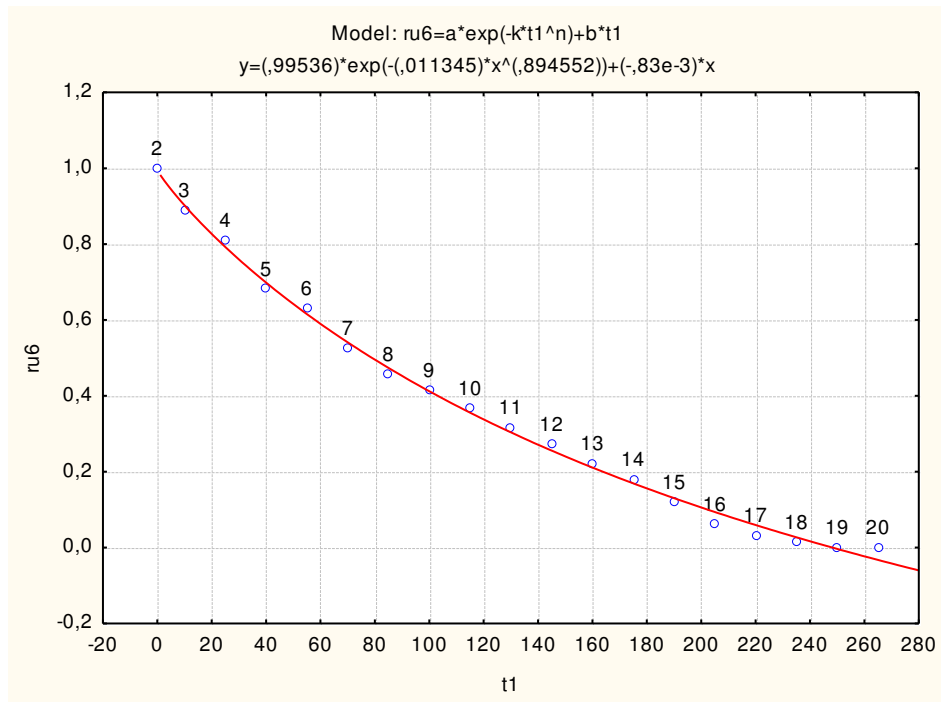


**Figura 6.6** Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 20 min e temperatura de 60°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.

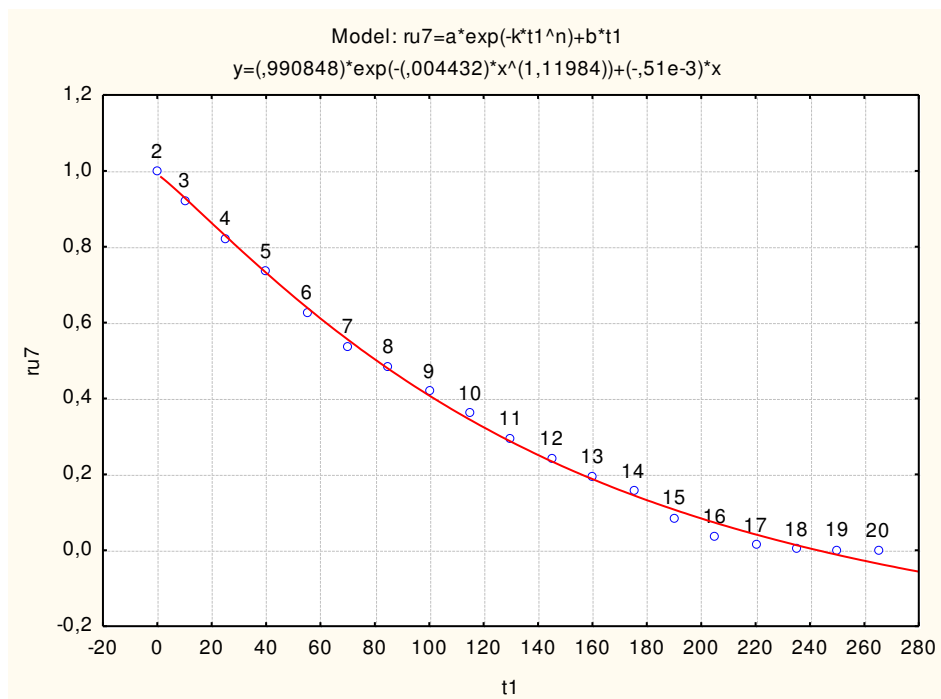




**Figura 6.7** Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 20 min e temperatura de 60°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.



**Figura 6.8** Modelagem da curva cinética de secagem da acerola para o tempo de batimento de 20 min e temperatura de 60°C, utilizando o modelo de Midilli e Kucuk.



Pôde-se observar a influência da temperatura sobre as curvas de secagem da acerola (Figura 6.2 a 6.8). O aumento da temperatura do ar de secagem faz com que ocorra uma maior taxa de remoção de água na camada de espuma da fruta.

### 6.3 Análises estatísticas das variáveis de respostas

Na Tabela 6.3 estão apresentadas as médias dos resultados do planejamento experimental obtidas das análises de ácido ascórbico e acidez total titulável da acerola processada pelo método foam–mat, bem como a constante cinética obtida pelo modelo matemático Midilli e Kucuk estimada pelo método de Gauss – Newton, utilizando-se o programa computacional STATISTICA versão 7.0.

**Tabela 6.3** Resultados da acerola processada pelo método foam–mat em base úmida.

Experimentos	Acidez titulável (mg/100g)	Ácido ascórbico (mg/100g)	Constante cinética (k) – (min <sup>-1</sup> )
1	9,7913	79,7551	0,00427
2	8,6458	88,8867	0,00441
3	8,0143	97,0878	0,00061
4	8,1658	97,4959	0,01546
5	8,5988	70,3007	0,00684
6	8,4172	70,3734	0,01135
7	9,1229	70,6566	0,00443

A oxidação do ácido ascórbico é influenciada principalmente com a elevação da temperatura, entretanto, Lee & Kader (2000) relatam que essa vitamina pode ser facilmente oxidada em soluções aquosas, na presença de oxigênio e de íons de metálicos (especialmente Cu<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>), em pH alcalino, etc.

A degradação da vitamina C no produto seco aumenta com a temperatura de secagem, justificando o fato de que, durante o aquecimento, se dão as maiores perdas dessa vitamina. Nesse processo houve uma grande redução de ácido ascórbico, isso se dá ao fato da polpa ter passado pelo estagio de batimento que mesmo em contato com o oxigênio há perdas dessa característica e que em seguida é levada ao aquecimento onde ocorrem perdas mais elevadas.

Além destes fatores, a viscosidade, que está intimamente ligada ao conteúdo de água, também é uma parcela na degradação do ácido ascórbico, durante o processo de secagem. Em uma fruta com umidade elevada, as taxas de degradação de vitamina C aumentam em atividades de água mais altas, devido ao fato da reação de oxidação ocorrer mais facilmente quando a fase aquosa do produto é menos viscosa (LEE & LABUZA, 1975).

Dessa forma o menor valor observado para o conteúdo dessa vitamina, na temperatura de 60 °C, pode ser atribuído ao tempo de exposição do produto ao ar de secagem e a elevado teor de umidade presentes na amostra.

Observa-se ainda (Tabela 6.3) que para as temperaturas em estudo não houve variação do ponto de vista estatístico nos valores de ATT, e tal comportamento foi observado por Rajkumar et al. (2007) ao estudarem a secagem em camada de espuma da polpa de manga.

Comparando os dados de acidez totais já citados, atribui-se as pequenas variações observadas aos fatores decorrentes do cultivo, colheita etc. e não à diferente forma de expressão do resultado, uma vez que os índices do miliequivalente-grama do ácido cítrico (0,0064) e do ácido málico (0,0067) são praticamente iguais, não provocando discrepâncias relevantes.

Contudo, pôde-se observar um decréscimo no valor de ATT para a polpa em pó de acerola, obtido nas temperaturas em estudo, em relação à polpa *in natura*. A redução observada pode estar relacionada à presença de íons metálicos de ferro e a ação de enzimas oxidativas.

Nas Tabelas 6.4 a 6.6 estão apresentados os resultados da análise dos efeitos da temperatura e o tempo de batimento no processo de secagem de polpa de acerola em camada de espuma (foam–mat).

**Tabela 6.4 Efeitos das variáveis temperatura e tempo de batimento sobre a resposta de acidez total titulável.**

Fatores	Efeitos	Erro puro	T	p
Média	8,67944	0,138501	62,66690	<b>0,000255</b>
Temperatura	-0,49706	0,366440	-1,35647	<b>0,307780</b>
Tempo de batimento	-1,12850	0,366440	-3,07963	<b>0,091239</b>
Temperatura x tempo de batimento	0,64852	0,366440	1,76978	<b>0,218784</b>

**R2=87,613%**

**Tabela 6.5 Efeitos das variáveis temperatura e tempo de batimento sobre a resposta constante cinética estimada pelo modelo Midilli e Kucuk.**

Fatores	Efeitos	Erro puro	T	p
Média	0,006767	0,001326	5,101915	<b>0,036337</b>
Temperatura	0,007492	0,003509	2,135076	<b>0,166301</b>
Tempo de batimento	0,003697	0,003509	1,053574	<b>0,402575</b>
Temperatura x tempo de batimento	0,007353	0,003509	2,095463	<b>0,171110</b>

**R2= 81,691%**

**Tabela 6.6 Efeitos das variáveis temperatura e tempo de batimento sobre a resposta de vitamina C.**

Fatores	Efeitos	Erro puro	T	p
média	82,07946	0,071080	1154,751	<b>0,000001</b>
Temperatura	4,76983	0,188060	25,363	<b>0,001551</b>
Tempo de batimento	12,97097	0,188060	68,973	<b>0,000210</b>
Temperatura x tempo de batimento	-4,36170	0,188060	-23,193	<b>0,001854</b>

**R<sup>2</sup>=22,806%**

Pela análise dos efeitos pode-se constatar que as variáveis independentes não apresentaram efeitos estatisticamente significativos sobre as respostas acidez e a constante de secagem obtida do modelo de Midilli e Kucuk a 95% de confiança. Isto sugere que o planejamento experimental deve sofrer uma expansão, ou seja, aumentar o número de ensaios, acrescentando os pontos axiais (-1,41 e +1,41) na matriz do planejamento para se estabelecer modelos codificados estatisticamente significativos.

Na Tabela 6.6 estão apresentados os resultados da análise dos efeitos das variáveis independentes (temperatura e tempo de batimento) sobre a variável ácido ascórbico (vitamina C) no processo de secagem de acerola em camada de espuma.

Constata-se na Tabela 6.6 que as variáveis independentes apresentaram efeitos estatisticamente significativos a 95% de confiança. Contudo, apresenta o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) muito baixo, não podendo desta forma, estabelecer um modelo codificado e a superfície de resposta que represente o comportamento da resposta estudada, pois não seriam confiáveis, sugerindo ser necessária uma expansão do planejamento experimental.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- As equações de Midilli e Kucuk (2002) representaram satisfatoriamente os dados experimentais para a descrição da cinética de secagem da acerola pelo método foam-mat com coeficientes de determinação superiores a 99%. O tempo de secagem reduziu de forma mais rápida com o aumento da temperatura do ar de secagem.

- Pela análise dos efeitos pode-se constatar que as variáveis independentes não apresentaram efeitos estatisticamente significativos sobre as respostas acidez e a constante de secagem obtida do modelo de Midilli e Kucuk a 95% de confiança.

- A acerola processada em termos qualitativos, de acordo com as características físico-químicas, encontra-se a Acidez Total Titulável e ácido ascórbico dentro dos limites, quando comparada com outras fontes encontradas na literatura.

- Para obter uma análise de variância com resultados significativos sugere-se que se adicione pontos axiais, através de um delineamento composto central rotacional (DCCR), como também aumente o número de pontos centrais a matriz experimental. Dessa forma, possivelmente tem-se um modelo que represente satisfatoriamente os dados experimentais.

## 8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, R.E. **Qualidade de acerola submetida à diferentes condições de congelamento, armazenamento e aplicação pós-colheita de cálcio.** Lavras. 1992, 117p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras (UFLA).

ANDRADE, E. T. Qualidade até o final: Secagem certa. Cultivar Máquinas. v.III, n.25, 15p, 2003.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. 1997. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16a. ed. 3a.rev. AOAC International, Gaithersburg, MD.

BALA, B.K.; WOODS, J.L. Thin layer drying models for malt. Journal of Food Engineering, London, v.16, n.3, p.239- 249, 1992.

BALA, B.K.; WOODS, J.L. Simulation of deep bed malt drying. Journal Agricultural Engineering Research, New York, v.30, n.3, p.235-244, 1984.

BARROS NETO, B.; SCARMÌNIO, I.S.;BRUNS, R.E. Planejamento e Otimização de Experimentos. Campinas: Editora da UNICAMP, 2003.

BRENNAN J.G. **Food Processing Handbook.** 1. ed. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006. p. 85-95.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.

BRYGIDYR, A. M.; RZEPECKA, M.A.; McCONNEL, M. B. Characterization and drying of tomato paste foam by hot air and microwave energy. **Canadian Intitute of Fiid Science and Technology Journal**, v.10, n.4, p.313 – 319, 1977.

CHIN, C.S.; JOHSON, W.H. Kinectics of moisture movemete in hygroscopic materials. Transactions of the ASAE, St Joseph, v. 12, n1, p.109-113, 1969.

DOYMAZ, I. Drying behaviour of green beans. **Journal of Food Engineering**, v. 69, n. 2, p.161-165, 2005.

FIOREZE, R. Princípios de secagem de produtos biológicos, João Pessoa. Editora Universitária - UFPB, p.229, 2004.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo, 2008.

KHURY, A.I.; CORNELL, J.A.,1996, **Response Surfaces**. (second ed.), Marcel Dekker, New York.

LEE, S. H.; LABUZA, T. P. Destruction of ascorbic acid as a function of water activity. **Journal of Food Science**, v. 40, n. 2, p. 370-373, 1975.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 3, p. 207- 220, 2000.

LIMA, V.L.A.G.; MÉLO, E.A.; LIMA, L.S. et al. Polpa congelada de acerola: efeito da temperatura sobre os teores de antocianinas e flavonóis totais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.669-670, 2002.

LIMA, V.L.A.; MÉLO, E.A.; MACIEL, M.I.S. et al. Avaliação do teor de antocianinas em polpa de acerola congelada proveniente de frutos de 12 diferentes aceroleiras (*Malpighia emarginata* D. C.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.1, p.101-103, 2003.

LIMA, C.J.G.S.; OLIVEIRA, F.A.; MEDIEROS, J.F.; OLIVEIRA, M.K.T.; JUNIOR, A.B.A. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. *Revista Verde* v.2, n.2, p. 79–86. 2007.

MARINO NETTO, L. **Acerola, a cereja tropical**. São Paulo: Nobel, 1986. 94p.

MELO, E. A.; MACIEL, M.I.S.; LIMA, V. L. A. G.; ARAÚJO, C. R. Teor de fenólicos totais e capacidade antioxidante de polpas congeladas de frutas. *Alimentos. Nutricional.*, Araraquara v.19, n.1, p. 67-72, jan./mar. 2008. ISSN 0103-4235.

MENEZES, A. R. V.; JUNIOR, A. S.; CRUZ, H. L.L.; ARAUJO, D. R.; SAMPAIO, D. D. Estudo comparativo do pó da acerola verde (*malpighia emarginata* d.c) obtido em estufa por

circulação de ar e por liofilização. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.11, n.1, p.1-8, 2009 1 ISSN 1517-8595.

MEZADRI, T.; PÉREZ-GÁLVEZ, A.; HORNERO-MÉNDEZ, D. Carotenoid pigments in acerola fruits (*Malpighia emarginata DC*) and derived products. **European Food Research and Technology**, v. 220, p. 63-69, 2005.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAZ, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, New York, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MISRA, M.K.; BROOKER, D.B. Thinlayer drying and rewetting equations for shelled yellow corn. Transaction of the ASAE, St. Joseph, Michigan, v.12, n.8, p.1254-1260, 1980.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANTHAN, R.; PARVATHI, K. Thin layer drying study on foamed mango pulp. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal Manuscript**, v. 9, p. 1-14, 2007.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behaviour of ripe bananas. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 37, n. 1, p. 217-525, 2004.

SILVA, R.N.G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; GALDINO, P. O. Armazenamento de umbu – cajá em pó. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1179 – 1184, 2005.

SILVA, A. S. et al. Desidratação da Polpa de Tamarindo pelo método de camada de espuma. *Ciência agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1899-1905, nov./dez., 2008.

SOARES, E.C.; OLIVEIRA, G.S.F.; MAIA, G.A.; MONTEIRO, J.C.S.; SILVA, A.J.; FILHO, M.S.S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata D.C.*). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, v. 21, n. 2, p. 164 - 170, 2001.

SOUSA, S. de. Desenvolvimento experimental de passa de umbu (*Spondias tuberosa*, Arruda Câmara). (Dissertação). Campina Grande: UFPB, 1999. 98 p.

STATSOFT, INC. Statistica (data analysis software system), versão 7.0 (2004). [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).



WHITE, G.M., BRIDGES, T.C., LOEWER, J. et al. Thin-layer drying model fo soybeans. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v24, n.6, p.1643-1646, 1981.

VALENTAS K. J.. ROTSTEIN E.; SINGH R,P, **Handbook of food engineering practice**. 1. ed. Florida: CRC Press LLC, 1997. p. 143-158.

ZHANG, Q.; LITCHFIELD, J. B. An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer. **Drying Technology**, New York, v. 9, p. 383-395, 1991.