



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**DISSERTAÇÃO**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E  
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**ESTUDO DA SECAGEM E ATIVIDADE DE ÁGUA  
EM FRUTOS DE CAJÁ (*Spondias lutea* L.)**

**ELIANA DA SILVA FARIAS**

**Campina Grande - Paraíba  
MAIO - 2002**

**ELIANA DA SILVA FARIAS**

**ESTUDO DA SECAGEM E ATIVIDADE DE ÁGUA  
EM FRUTOS DE CAJÁ (*Spondias lutea* L.)**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Campina Grande – Paraíba**

**MAIO – 2002**

**ELIANA DA SILVA FARIAS**

**ESTUDO DA SECAGEM E ATIVIDADE DE ÁGUA  
EM FRUTOS DE CAJÁ (*Spondias lutea* L.)**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do Grau de *Mestre*.**

**Área de concentração: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas**

**Orientadores: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia – DEAg/CCT/UFCG  
Prof. Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida - DEAg/CCT/UFCG**

**Campina Grande – Paraíba**

**MAIO – 2002**



F224e Farias, Eliana da Silva  
Estudo da secagem e atividade de agua em frutos de caja  
(Spondias lutea L.) / Eliana da Silva Farias. - Campina  
Grande, 2002.  
61 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Agricola) -  
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias  
e Tecnologia.

1. Secagem 2. Caja 3. Atividade de Agua 4. Dissertacao  
I. Gouveia, Josivanda Palmeira Gomes de II. Almeida,  
Francisco de Assis Cardoso III. Universidade Federal de  
Campina Grande - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 631.365(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

**ELIANA DA SILVA FARIAS**

Título: "Estudo da Secagem e Atividade de Água em Frutos de Cajá (*Spondias lutea* L.)".

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Josivanda P. Gomes de Gouveia  
Dra. Josivanda Palmemira G. de Gouveia-Orientadora

"APROVADO"

Francisco de Assis C. Almeida  
Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida-Orientador

"APROVADO"

Vera Lúcia Antunes de Lima  
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima-Examinadora

APROVADO

Humberto Silva  
Dr. Humberto Silva-Examinador

APROVADO

MAIO - 2002

A DEUS, pelo seu infinito amor e bondade

Aos meus pais, irmãos, sobrinhos e

amigos pela gratidão e carinho

**DEDICO ESTE TRABALHO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus que além do milagre da vida proporcionou-me coragem, força e determinação, conduzindo-me a concretização dos meus objetivos.

A Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar este curso em especial à Rivanilda.

Aos Professores Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia e Francisco de Assis Cardoso Almeida, pelas valiosas orientações e sugestões prestadas.

A Professora Oldesia Alsina, pela concessão das instalações do Laboratório de Meios Porosos e Sistemas Particulados do DEQ.

A Banca Examinadora pelas valiosas sugestões dadas.

Aos funcionários do Laboratório de Processos Químicos: José Lopes e Nogueira.

A meus pais Antonio e Helena, que sempre lutaram pela minha educação.

A minha família em especial à Célia, Celina, Joana D'arc, Manuel, Adelino, Geraldo, Toinho, Denise, Dênis, Edu, Elaine, Karol e Samuel, que em todo os momentos me incentivaram.

A Juci pela amizade e companheirismo no decorrer deste trabalho.

A todos os amigos que fiz durante minha permanência no DEAg, em especial à Patrícia, Edimir, Robert, Milene, Gilvanete, Manasses, Raimundo, Claudécia, Sheylla, Lillian, Elessandra, Suelândia, Ronaldo, Aécio e Edênia.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho os meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

Páginas

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

### RESUMO

### RESUMEN

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
2.1. A cajazeira.....	15
2.2. Atividade de água.....	17
2.3. Isotermas de sorção.....	18
2.4. Secagem.....	20
2.5. Efeito da temperatura e velocidade do ar de secagem.....	22
2.6. Secadores de leito fixo.....	23
2.7. Polpa de fruta.....	24
2.8. Caracterização físico-química.....	25
2.9. Características químicas.....	28
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
3.1. Matéria-prima.....	30
3.2. Isotermas de dessorção.....	30
3.3. Modelos matemáticos para ajuste das isotermas.....	31
3.4. Secagem no equipamento de leito fixo.....	34
3.5. Determinação do conteúdo de umidade.....	36
3.6. Caracterização físico-química da polpa de cajá.....	36
3.6.1. Processo de obtenção da polpa de cajá.....	36
3.6.2. Análises físico-químicas.....	37
3.6.2.1. pH.....	37
3.6.2.2. Sólidos solúveis (°Brix).....	37
3.6.2.3. Umidade e sólidos totais.....	37
3.6.2.4. Acidez total titulável.....	38
3.6.2.5. Cinzas.....	38



<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>39</b>
4.1. Isotermas de sorção.....	39
4.2. Cinética de secagem.....	44
4.3. Caracterização físico-química.....	47
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>6. SUGESTÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>
<b>8. APÊNDICE A.....</b>	<b>57</b>
<b>9. APÊNDICE B.....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Páginas</b>
1. A cajazeira.....	15
2. Frutos da cajazeira.....	16
3. Secador de leito fixo.....	35
4. Isotermas de dessorção do cajá para três temperaturas, ajustadas pelo modelo de Smith.....	43
5. Cinética de secagem do cajá para quatro temperaturas e duas velocidades do ar de secagem.....	45
6. Frutos de cajá após secagem.....	61

## LISTA DE TABELAS

	<b>Páginas</b>
<b>Tabelas</b>	
1 Caracterização físico-química de polpa de fruta.....	27
2 Valores de atividade de água e umidade de equilíbrio do cajá.....	39
3 Estimativas dos parâmetros das isothermas de dessorção do cajá dos modelos empíricos o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro médio relativo ( $E$ ).....	41
4 Equações da cinética de secagem do cajá para velocidade do ar de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ .....	46
5 Equações da cinética de secagem do cajá para velocidade do ar de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ .....	47
6 Conteúdo de umidade em base úmida, sólidos totais, acidez em ácidos cítrico, pH, cinzas e °Brix.....	47
7 Cinética de secagem do cajá para a velocidade do ar de secagem de $1,0 \text{ m. s}^{-1}$ .....	58
8 Cinética de secagem do cajá para a velocidade do ar de secagem de $1,5 \text{ m. s}^{-1}$ .....	59

## RESUMO

O trabalho teve por objetivo estudar, experimentalmente, a cinética de secagem do cajá (*Spondias lutea* L.) em um secador de leito fixo, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80 °C e velocidade do ar de secagem de 1,0 e 1,5 m.s<sup>-1</sup>; verificar o efeito da temperatura de velocidade do ar de secagem, determinar as isotermas de dessorção do cajá para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C, pelo o método estático indireto. A atividade de água foi obtida com o auxílio do equipamento Termoconstanter Novasina TH - 200; os dados experimentais foram ajustados através de uma regressão não linear utilizando-se os modelos de GAB, BET, Oswin, Smith, Halsey e Henderson, escolhendo-se o melhor, mediante o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e erro médio relativo ( $E$ ). Caracterizou-se fisico-quimicamente a polpa do cajá através da determinação de pH, sólidos solúveis (°Brix), umidade, sólidos totais, acidez total e cinzas. Observou-se que a cinética de secagem ocorre no período de taxa decrescente sendo fortemente influenciada pela temperatura, em relação à velocidade do ar do processo. O modelo de Smith representou muito bem o comportamento da secagem desse produto com boas proximidades entre o valor experimental e o calculado sendo indicado para representar as isotermas de dessorção do cajá. O comportamento fisico-químico revelou para a polpa pH de 3,0, umidade de 87,0%, sólidos totais de 13,0%, acidez total em ácido cítrico de 1,2%, cinzas de 0,4% e sólidos solúveis de 14,3%.

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar, experimentalmente, la cinética del secado en del cajá (*Spondias lutea* L) en un secador de lecho fijo, en las temperaturas de 50, 60, 70 y 80°C y velocidades del aire de secagen de 1,0 y 1,5 m.s<sup>-1</sup>; observar el efecto de la temperatura y velocidad del aire de secagen; determinar las isotermas de desorción del cajá para las temperaturas de 30, 40 y 50°C, mediante el método estático indirecto. La actividad se obtuvo con la ayuda del equipo Termoconstanter Novasina TH-200. Los datos experimentales se ajustaron por medio de regresión non lineal usándose los modelos de GAB, BET, Oswin, Smith, Halsey y Handerson, elegido el mejor mediante el valor del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y el erro relativo medio (E). Se caracterizó la pulpa fisico-químicamente a través de la determinación del PH, el °Brix, humedad, sólidos totales, acidez total y cenizas. Fue observado que la cinética del secado se pasó en el periodo de taza decreciente, siendo influenciada fuertemente por la temperatura, respecto a la velocidad del aire del proceso. El modelo de Smith representó muy bien la secagen del producto cuando se consideró el valor experimental y los calculados empleados para representar las isotermas de desorción del cajá. El comportamiento fisico-químico reveló para la pulpa PH de 3,0, acidez total en ácido cítrico de 1,2%, cenizas de 0,4% y sólidos solubles de 14,3%.

## 1. INTRODUÇÃO

A cajazeira (*Spondias lutea* L.) é nativa da América Tropical, comum em estado silvestre ou subespontâneo nas matas de terra firme ou várzea na Amazônia. Atualmente, esta espécie, é explorada na forma de extrativismo e em plantios espontâneos. A procura pelos frutos da cajazeira deve-se principalmente às boas características para a industrialização, aliadas ao aroma e sabor agradáveis. É comercializado para a fabricação de sorvetes, geléias, polpa congelada, produção de bebidas alcoólicas e consumo *in natura*, despertando interesse não apenas para o mercado regional, mas também para outros locais do país, onde a fruta é escassa. Devido às potencialidades apresentadas pelo fruto da cajazeira, pode-se afirmar que se trata de recurso fitogenético importante para a região Nordeste do Brasil, onde as condições edafoclimáticas favorecem o seu cultivo e produção, podendo-se afirmar que a cajazeira é, sem dúvida, uma espécie frutífera promissora, devido as excelentes qualidades organolépticas do fruto. Apesar dos conhecimentos adquiridos com relação às qualidades organolépticas, medicinais e industriais dessa frutífera, não existem plantios sistematizados no país (Lozano, 1986; Gomes, 1990; Silva et al., 1995).

Como a maioria das frutas, grande parte da colheita do cajá é desperdiçada porque é comercializada *in natura*. É um fruto perecível havendo a necessidade de um processo que possibilite sua armazenagem e comercialização por um longo período de tempo. Um dos procedimentos mais importantes para a conservação de alimentos por diminuição de sua atividade de água, é a secagem, considerando que a maioria dos frutos frescos são constituídos por mais de 80% de água. O processo de secagem implica em uma considerável redução de volume e indiretamente redução de custos em transportes e manipulação do produto além de prover um efetivo método de prolongamento de sua vida útil (Brasileiro, 1999).

Muitos aspectos de qualidade dos alimentos podem ser influenciados pela quantidade de água. A relação entre o conteúdo de água de um material e sua correspondente atividade de água a uma determinada temperatura é expressa por isotermas de sorção.

O conhecimento das isotermas de sorção é muito importante na concentração, desidratação e secagem, previsão de estabilidade química, enzimática e microbiológica, seleção de material para embalagens bem como na determinação da qualidade e vida de prateleira de alimentos (Dural e Hines, 1993). Diante do exposto e considerando o potencial de comercialização do fruto do cajá, especialmente para a agroindústria, o presente trabalho teve como objetivo geral estudar a cinética de secagem do cajá utilizando um secador de leito fixo, e como objetivos específicos:

- avaliar o efeito da temperatura e velocidade do ar de secagem do cajá;
- determinar as isotermas de dessorção para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C e ajustar os dados experimentais a modelos propostos na literatura e,
- caracterizar físico-quimicamente a polpa de cajá.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. A cajazeira**

A cajazeira (*Spondias lutea* L.) Figura 1 é uma planta da família Anacardiaceae originária da América Tropical, encontrada em quase toda parte do Brasil (Cardoso, 1992).



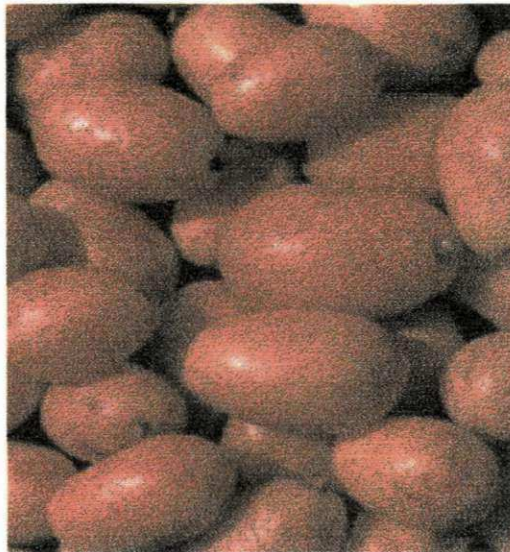
**Figura 1.** A cajazeira

Segundo Santos (1996) a cajazeira é uma árvore de grande porte, frondosa, de caule reto ou tortuoso, que pode exceder até 25 metros de altura. A casca quase sempre é acinzentada ou esbranquiçada, espessa e bastante fendida.



As folhas desta planta possuem de 20 a 30 cm de comprimento (Gomes, 1990; Santos, 1996). As flores têm cor branco-amareladas, aromáticas, hermafroditas, dispostas em grandes panículas terminais.

O fruto da cajazeira (Figura 2) é uma drupa ovóide ou oblonga, pesando em média 11,0 g, com diâmetro de até 6,0 cm de comprimento, achatado na base, de cor amarela, casca fina e lisa, pouco espessa, amarela-alaranjada, mole, ácido, algumas vezes doce, cobrindo um caroço grande, branco, suberoso e enrugado (Cardoso, 1992). Este autor ainda cita que o epicarpo é uma película amarela vivo, de fácil remoção. O mesocarpo bastante suculento, também é de cor amarela muito aromático e extremamente ácido. Possuindo uma semente, em cada fruto que pesa em média 4,2 g, de cor branca, fibrosa e tem em média 2,79 cm de comprimento por 1,69 cm de diâmetro.



**Figura 2.** Frutos da cajazeira

Segundo Peret (1985) na Amazônia a maturação do fruto ocorre durante o ano todo, com maior frequência nos meses de novembro e junho. Na Paraíba pode-se encontrar frutos de cajá de janeiro até setembro.

## **2.2. Atividade de água**

O conhecimento dos dados experimentais de atividade de água dos produtos biológicos torna-se indispensáveis nos estudos dos processos de secagem, armazenamento e embalagem, pois, sabe-se que quanto maior a atividade de água de um produto, mais propenso ele está ao ataque de microorganismos que, como células vivas, precisam de água para sobreviver.

Segundo Vittali (1987) a atividade de água é o parâmetro que indica a disponibilidade de água para o crescimento microbiano (deteriorantes ou não) e para o surgimento de reações deteriorantes e indesejáveis, entre tais reações pode-se citar: o escurecimento enzimático, a oxidação, e a hidrólise.

Spiess e Wolf (1983) definem a atividade de água ( $a_w$ ) como sendo o conteúdo de umidade que este produto apresenta quando a pressão de vapor da água em sua superfície ( $P$ ) se iguala a pressão de vapor da água do ar que envolve o alimento ( $P_0$ ), conforme a Equação 2.1.

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{\%UR}{100} \quad (1)$$

em que:

$a_w$  = Atividade de água;

$P$  = Pressão de vapor de água no produto, mm Hg;

$P_0$  = Pressão de vapor de água pura nas condições de temperatura e pressão, mm Hg;

$UR$  = Umidade relativa.

A atividade de água de um produto não é somente função do conteúdo de água, mas também de substâncias as quais exercem o efeito de ligação da água na estrutura do alimento. Produto com o mesmo conteúdo de umidade podem desta forma, ter diferentes atividades de água, dependendo, sobretudo, do seu conteúdo de água ligando substâncias a sua estrutura (Gouveia, 1999).

### **2.3. Isotermas de sorção**

As isotermas de sorção podem ser descritas como a relação entre a atividade de água ou da pressão parcial de vapor de um produto em função do seu teor de umidade a uma dada temperatura; é uma predição da capacidade do produto adsorver ou dissolver água (Araújo et al., 2001). Estes dados são indispensáveis para produtos alimentícios, no desenvolvimento de processos e no controle de qualidade das indústrias de alimentos, isto porque, as isotermas têm ampla aplicação no campo da secagem, embalagem e armazenamento.

A curva de isoterma pode se apresentar de duas formas: *isotermas de adsorção*, obtida quando um alimento totalmente seco é colocado em atmosferas com diversos incrementos de umidade relativa, sendo medidos o aumento de peso desse alimento devido ao ganho de água; *isoterma de dessorção*, obtida quando o alimento inicialmente úmido é colocado sob as mesmas condições atmosféricas criadas para adsorção sendo medidos neste caso a diminuição de peso do alimento, provocada pela perda de água (Kapsalis, 1987).

Uma isoterma de sorção pode apresentar três regiões, dependendo do estado de água presente no alimento: a primeira região representa a adsorção na monocamada molecular de um filme de água, e está entre 0 e 35% de umidade relativa; a Segunda região, que representa a adsorção nas camadas adicionais acima da monocamada, localizar-se entre 35% e 60% de

umidade relativa; a terceira região, localizada acima de 60% de umidade relativa, representa a água condensada nos poros do material, seguida pela dissolução de materiais solúveis presentes (Prado et al., 1999).

A obtenção dos dados experimentais com a finalidade de se determinar às curvas de umidade de equilíbrio são normalmente feitas por dois métodos (Brooker et al., 1992): o estático e o dinâmico. No estático, a umidade de equilíbrio entre o produto e a atmosfera circundante é atingida sem movimentação do ar ou do produto; no método dinâmico, o ar ou produto é movimentado até que o equilíbrio seja atingido.

Um outro método para o levantamento das curvas, também estático, foi utilizado por Capriste e Rotstein (1982), que consiste em um método indireto, ou seja, quantifica a atividade de água, através de um medidor eletrônico, de amostras com diferentes teores de umidade, obtidas à partir de um processo de secagem sob condições suaves. As amostras são retiradas do secador em intervalos de tempo pré-definidos, colocando-as em recipientes herméticos termostizados, a fim de homogeneizar a temperatura e a distribuição da umidade. A vantagem de utilizar esta metodologia é a aquisição de um maior número de dados experimentais, melhorando a precisão da curva de sorção. Como a aquisição de dados é feita através de um processo de secagem, possui a vantagem de diminuir o tempo de equilíbrio e atingir valores de atividades de água altos. Isto é vantajoso em relação ao método gravimétrico, onde muitas vezes perde-se as amostras por deterioração, quando estas se apresentam com altos valores de atividade de água (Yoshida et al., 2000).

Com intuito de prever o comportamento das isotermas de sorção, diversos autores propuseram modelos de ajuste de isotermas de sorção. Dentre estes o de GAB, BET, Oswin, Smith e Halsey são referenciados como sendo os mais empregados no processo de frutos para expressar a sua atividade de água (Gouveia et. al., 1997; Pena et. al., 2000).

Segundo Wang e Brennan (1991) o parâmetro E usado para auxiliar na avaliação do melhor ajuste dos modelos matemáticos aplicados em dados experimentais, é, geralmente, é ocultável quando o seu valor é menor, que 10% por indicar um bom ajuste ao propósito prático.

#### **2.4. Secagem**

A secagem é o processo comercial mais utilizado para preservar o alimento porque, comparado com outros métodos preservativos para períodos longos, como a centrifugação, o enlatamento, os tratamentos químicos, a irradiação, entre outros, é de custo mais baixo e de operação mais simples.

O principal objetivo da secagem consiste na remoção de grande parte de líquido de um produto por evaporação mediante a ação do calor, podendo realizar-se por meio natural expondo o produto ao sol e artificial por meio de secadores mecânicos.

Conforme Prado et al. (2000) a evolução das transferências simultâneas de calor e de massa, no curso da operação de secagem, faz com que esta seja dividida, esquematicamente, em três períodos de secagem: período 0 ou período de se entrar em regime operacional; período 1 ou período de secagem à taxa constante; e período 2 ou de secagem, à taxa decrescente.

No período 0 ou período de se entrar em regime operacional, o produto é geralmente mais frio que o ar, e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é débil, e, por consequência, a transferência de massa e a velocidade de secagem também são. O calor

chegando em excesso acarreta uma elevação da temperatura do produto, ocorrendo um aumento de pressão e da velocidade de secagem. Este fenômeno continua até que a transferência de calor compense exatamente a transferência de massa.

No período 1 ou período de secagem à taxa constante, as transferências de calor e de massa na interface ar- produto que governam a secagem e fixam a velocidade de secagem. O produto permanece com a superfície coberta por uma camada de líquido, constituindo umidade não ligada, e com temperatura constante e igual à temperatura de bulbo úmido do ar. O líquido absorve calor e se vaporiza a uma taxa constante. Nesse período, a migração de umidade do interior para a superfície compensa a perda por vaporização; a secagem se comporta como a evaporação de uma superfície líquida. Para alimentos, um período de taxa de secagem constante pode ser observado quando o potencial de secagem do ar é muito baixo ou o teor de umidade do produto é muito alto (Chirife, 1983).

A velocidade de secagem durante o período de taxa constante depende de três fatores: dos coeficientes de transferência de energia e massa, da área da superfície onde ocorre a troca de energia e de massa e da diferença entre as temperaturas (ou as pressões de vapor) do ar que envolve o produto e da superfície desse produto. O mecanismo interno de migração de água não influencia a velocidade de secagem durante esse período (Gouveia et. al., 1997).

No período 2 ou período de secagem à taxa decrescente, as transferências internas da água é que governam e fixam a taxa de secagem, para produtos agrícolas e alimentícios este período é quase sempre o único observado (Murr e Park, 1993).

De acordo com Almeida et al. (2002) o período de secagem a taxa decrescente pode ser dividido em duas fases: na primeira fase a água livre presente no interior do produto é contínua, sem a presença de ar, e ocupa todos os poros do produto. O movimento de água do

interior para a superfície ocorre por capilaridade e este mecanismo controla a velocidade de secagem. Na Segunda fase a remoção de água da superfície de evaporação provoca a entrada de ar no interior do produto, o que dá origem a bolsas de ar que ficam dispersas na fase líquida dentro dos poros. Nesta fase ocorre o escoamento capilar em alguns pontos localizados.

Segundo Villar (1999) as curvas de secagem à taxa decrescente podem ser côncavas, convexas ou aproximar-se de uma linha reta; podem apresentar um ponto de inflexão quando ocorre uma mudança na forma física do material, como por exemplo, quando se produz contração e ruptura, e quando se forma uma película na superfície do material parcialmente seco.

O processo de secagem é analisado através da obtenção das curvas de secagem, apresentadas na forma de umidade adimensional ( $X/X_0$ ) em função do tempo, a taxa de secagem ( $N$ ) em função da umidade absoluta ( $X$ ) e o adimensional de água livre,  $(X-X_e/X_0-X_e)$  em função do tempo, em que  $X_e$  são valores de umidade de equilíbrio.

## **2.5. Efeito da temperatura e velocidade do ar de secagem**

Conforme Almeida et al. (2002) os produtos são muito diferenciados entre si, devido a sua forma, estrutura e suas dimensões, além das condições de secagem serem muito diversas, conforme as propriedades do ar de secagem e a forma como se faz o contato ar–produto. Uma vez que o produto é colocado em contato com o ar quente ocorre uma transferência de calor do ar ao produto sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de massa para o ar. Esta última se faz na forma de vapor de água, uma parte do calor que chega ao produto é utilizada para vaporizar a água.

A taxa de secagem pode ser acelerada com o aumento da temperatura do ar de secagem e, ou, com o aumento do fluxo de ar que passa pelo produto por unidade de tempo. A quantidade de ar utilizada para a secagem depende de vários fatores. Entre eles: a umidade inicial do produto e a espessura da camada.

Diversos autores analisando a cinética de secagem de frutas, consideram a temperatura do ar como o parâmetro de maior influência na taxa de secagem (Alsina et al. 1997; Prado et al., 2000). Os mesmos autores concluíram que a velocidade do ar de secagem tem um pequeno efeito sobre as curvas de secagem.

Alsina et al. (1997) quando estudaram o efeito da temperatura do ar de secagem entre 60 e 80 °C e velocidade do ar de secagem, variando entre 0,7 e 1,5 m.s<sup>-1</sup>, sobre a cinética de secagem da acerola em monocamada, comprovaram que a velocidade do ar exerce pouco influência na taxa de secagem, mas um considerável aumento da temperatura do ar de secagem.

Prado et al. (2000) secando tâmara verificou que a temperatura exerce maior influência que a velocidade do ar, resultado semelhante foi observado por Gouveia (1999) e Moura et al. (2001) secando gengibre e caju, respectivamente e também, por Krokida et al. (2000), quando afirma que a cinética de secagem de maçã é fortemente afetada pela temperatura do ar de secagem.

## **2.6. Secadores de leito fixo**

Diversos tipos de secadores têm sido estudados com a finalidade de melhor viabilizar a obtenção de um produto de alta qualidade pós-secagem segundo a variedade de materiais existentes (Villar, 1999). No Brasil os tipos de secadores empregando os diversos sistemas de



ventilação forçada que vem ganhando preferência entre os agricultores, são os de camada estacionária e o de fluxo cruzado. Existem outros termos dados a este secador, como secagem em leito fixo ou secagem em lote (Cavalcanti Mata, 1997).

Os secadores de leito fixo são secadores caracterizados por apresentar baixo custo e possuir fácil operação. Nesses secadores, o produto permanece estático durante a secagem e o ar aquecido é forçado a passar pela massa do produto. Eles possuem diversas vantagens por serem de configuração bastante simples, resultando num baixo custo de implantação e são muito versáteis uma vez que podem ser utilizados para a secagem de diferentes produtos alimentícios. Este tipo de secador é insuflado por um ventilador. Nos secadores de leito fixo, o ar de secagem movimenta-se da camada inferior para a superfície da massa do produto. A troca de umidade que acontece entre o produto e o ar ocorre em uma região denominada zona de secagem, a qual se move da camada inferior para a superfície da massa conforme a secagem, dando origem a um gradiente de umidade, o qual não pode ser elevado por comprometer a qualidade do produto final (Lima et. al., 1992; Nucci e Murr; 1995).

Os fatores que determinam o gradiente de umidade nos secadores de leito fixo são: o fluxo de ar, a espessura da camada e a temperatura de secagem. Segundo Lacerda Filho (1987) o gradiente será mais elevado quanto menor for o fluxo de ar e quanto maior for a temperatura de secagem e a espessura da camada do produto. Esses fatores também influenciam o consumo de energia e o tempo de secagem do produto.

## **2.7. Polpa de fruta**

As composições das polpas de várias frutas e vegetais são muito semelhantes ao produto *in natura*, as quais exercem uma influência positiva no apetite e refrescam, devido à

presença de seus componentes naturais (corantes, aromáticos e ácidos orgânicos) têm baixa caloria e alta diversidade de quantidade de microelementos. O crescente aumento no interesse por polpas de frutas e vegetais têm resultado em um aumento de sua produção (Zadernowski et al., 1997).

O Ministério da Agricultura e Abastecimento apresenta um regulamento técnico geral para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para a polpa de fruta com o objetivo de reconhecer os padrões de identidade e estabelecer as características mínimas e máximas de qualidade gerais, que deverão ser observados no produto “polpa de fruta”, quando destinada a produção de bebidas. De acordo com a mesma fonte, a polpa de cajá é um produto não fermentado e não diluído, obtido da parte comestível do cajá (*Spondias lutea* L.), através de processo tecnológico adequado (Brasil, 2000).

## **2.8. Caracterização físico-química**

Os frutos têm importante papel na alimentação humana, principalmente por serem importantes fontes de vitaminas, minerais e fibra dietética. Os componentes mais abundantes em frutos e hortaliças são a água e os carboidratos.

Do ponto de vista nutricional, são considerados as vitaminas e os minerais, como também os sólidos solúveis e polissacarídeos (amido em alguns frutos e hortaliças) como fonte energética. Outros polissacarídeos (celulose, hemicelulose e lignina) têm importância por constituírem as fibras dietéticas. Os frutos e hortaliças não são em geral boas fontes de lipídeos nem proteínas (Chitarra e Chitarra, 1990).

A Tabela 1 contém dados de pesquisa realizada por diferentes autores de caracterização físico-química de polpas de frutas, onde a polpa do fruto é contemplada pelos estudos de Aldrigue (1988).

Sobre o tema, o conhecimento do pH exerce importância por interferir na palatabilidade, desenvolvimento de microorganismos, definição da temperatura do tratamento térmico a ser utilizado, indicação da embalagem, seleção do tipo de material de limpeza e desinfecção, definição do equipamento com o qual a indústria vai trabalhar, seleção de aditivos entre outros (Ciabotti et al., 2000).

A determinação da acidez total em alimentos é bastante importante, pois através dela pode-se obter dados valiosos na apreciação do processamento e do estado de conservação dos alimentos. A acidez é resultante dos ácidos orgânicos existentes no alimento, dos adicionados proposadamente e também daqueles provenientes das alterações químicas dos mesmos (Ciabotti et al., 2000). Segundo Chitarra e Chitarra (1990) os teores de acidez, em geral, não excedem 1,5 a 2,0%, com raras exceções, como o limão e o espinafre que podem conter teores acima de 3%. No entanto, alguns frutos também podem apresentar acidez muito baixa.

As cinzas em alimentos se referem ao resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica, sem resíduo de carvão. É importante observar que a composição das cinzas não corresponde a quantidade de substâncias minerais presentes nos alimentos, devido às perdas por volatilização ou mesmo pela reação entre os componentes. As cinzas são consideradas como medida geral de qualidade e freqüentemente é utilizada como critério na identificação dos alimentos (Guimarães et. al., 2001).

Os sólidos solúveis totais têm sido utilizados como índice de maturidade para alguns frutos, e indicam a quantidade de substâncias que se encontram dissolvidas no suco, sendo

constituído na sua maioria por açúcares. Na acerola, nas condições da região Nordeste, podem-se encontrar valores de 5 até um máximo de 12°Brix, sendo a média em torno de 7–8° Brix (Alves, 1996; Cavalcanti Mata et. al., 2001).

**Tabela 1.** Caracterização físico-química de polpas de frutas

Análise	Cajá (Aldrigue, 1988)	Cupuaçu	Cajá	Açaí (Pereira, et. al., 2001)
		(Brasil, 2000)		
Umidade (%)	85,8	-	-	84,73
Sólidos totais (%)	14,2	12	9,5	15,27
Sólidos solúveis (Brix)	13,1	9,0	9,0	4,8
Acidez total (%)	1,1	1,5	0,9	0,21
Açúcares totais (%)	13,3	6,0	-	-
Fibras	1,7	-	-	-
Lípideos totais (%)	0,1	-	-	6,49
pH	2,9	2,60	2,2	5,23
Cinzas (%)	0,5	-	-	0,64
Sólidos insolúveis (%)	2,9	-	-	10,41
Proteínas	-	-	-	1,63

**FONTE:** Aldrigue (1988); Brasil (2000); Pereira et al.(2001).

Para a indústria e, principalmente, para o mercado interno de fruto *in natura*, o teor elevado de sólidos solúveis totais (SST) é uma característica desejável. Segundo Noronha (1998) esse teor é também muito importante porque quanto maior a quantidade desses, menor será a quantidade de açúcar necessário a ser adicionada pela indústria no processamento de sucos, diminuindo o custo de produção e aumentando a qualidade do produto.

O teor de água presente em qualquer alimento é de capital importância, sendo de difícil determinação e execução, visto que os métodos usuais para a quantificação envolvem a destilação da água presente no alimento e, com isto, outros compostos voláteis também são evaporados. Segundo Angelucci citado por Pereira et. al., (2001b), na determinação do teor de água de um produto alimentício, o termo umidade refere-se à somatória da água volatilizada nas condições do método analítico e dos demais componentes também volatilizados ou decompostos pelo calor. Assim, o teor de sólidos totais de um produto representa, teoricamente, valor igual ou inferior ao valor real.

## **2.9. Características químicas**

A composição química das diferentes espécies alimentares varia no decorrer do ciclo de vida dos vegetais e depende de fatores de natureza genética, fisiológica e ambiental. É fundamental para determinação do potencial nutricional dos alimentos, como também, para a condução correta da aplicação dos processos de transformação e conservação.

Noronha (1998) avaliando as características físico-químicas de frutos de umbu-cajá, obteve o rendimento da polpa de aproximadamente 72% do peso do fruto, não havendo efeito significativo entre os dois estádios de maturação. O teor de sólidos solúvel variou entre 11,04 e 12,88%; acidez total titulável entre 18,04 e 16,83 mm Hg/100 g; pH 3,15 e 3,27; açúcares redutores 6,77 e 7,70% e umidade de 86,02 e 86,62%(b.u).

Analisando características tecnológicas de frutos do gênero Spondias no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Lima et al. (1990) constataram pH ácido da siriguela, 2,9; umbu-cajá, 2,85; cajarana, 2,8; umbu, 2,75 e cajá, 2,7. Com relação

à análise do teor de sólidos solúveis totais a siriguela apresentou 20,0; umbu-cajá, 13,0; cajarana, 17,0; umbu, 8,0 e cajá, 11,5.

Caracterizando frutos de cajá, Sacramento et al. (1998), observaram variações do peso médios dos frutos de 9,25 a 21,0 g. A casca apresentou variação de 8,40 a 18,74% do peso do fruto; a semente 15,67 a 36,86% e a polpa 56,07 a 73,27%. Quanto às características químicas, os frutos apresentaram médias de pH 2,75; sólidos, °Brix 13,27; acidez total em ácido cítrico 1,27% e açúcares redutores 8,15%, resultados que confirmam com dados obtidos por Silva (1995) em estudos realizados com suco da polpa dessa fruta, obtido por extração mecânica enzimática.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola e no Laboratório de Transferência em Meios Porosos e Sistemas Particulados do Departamento de Engenharia Química, ambos da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Campina Grande, PB.

#### **3.1. Matéria-prima**

Foram utilizados frutos de cajá (*Spondias lutea* L.) no estágio maduro proveniente do comércio de Campina Grande, PB. Os frutos foram selecionados, acondicionados em recipientes de plásticos herméticos e armazenados em freezer vertical à uma temperatura de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Para a realização do experimento os frutos foram retirados do freezer e descongelados a temperatura ambiente.

#### **3.2. Isotermas de dessorção**

As isotermas de dessorção foram determinadas através do método estático indireto, baseado no estudo efetuado por Capriste e Rotstein (1982), utilizando o equipamento *Thermoconstanter Novasina* TH-200. Para preparação das amostras, utilizaram-se frutos de cajá com casca em forma de círculos com aproximadamente 7,0 g e colocados em células plásticas, que acompanham o equipamento e pesadas em balança analítica, com precisão de 0,0001 g e levadas à estufa com temperatura  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  por um período de 6 horas, a fim de se obter a perda de umidade das amostras.

Após este período, as amostras foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador. Em seguida, as células plásticas, contendo as amostras foram levadas ao equipamento *Thermoconstanter Novasina* TH-200, para a leitura da atividade de água ( $a_w$ ), as leituras foram obtidas mediante às temperaturas de 30, 40 e 50 °C. Depois da leitura da  $a_w$ , as amostras foram retiradas do equipamento e pesadas em balança analítica da Marca HR-200 e colocadas na estufa, procedendo-se leituras em intervalos de 15 e 30 minutos. Este processo repetiu-se até que a última leitura da atividade de água fosse igual ou maior que a penúltima, desta forma, cada leitura de atividade de água correspondia a um ponto da curva da isoterma de dessorção a dada temperatura.

O teor de umidade de equilíbrio (em base seca) foi calculado, com base na diferença entre a massa da amostra no equilíbrio e a massa seca, calculado da seguinte forma:

$$X_{eq} = \frac{m_{eq} - ms}{ms} \quad (2)$$

em que:

$X_{eq}$  = umidade de equilíbrio em base seca, Kg Kg<sup>-1</sup>;

$m_{eq}$  = massa da amostra quando atingido o equilíbrio, g;

$ms$  = massa seca da amostra, g.

### **3.3. Modelos matemáticos para ajuste das isotermas**

Para prever o comportamento das isotermas de sorção da casca, foram testados os modelos de GAB (Eq 3), BET (Eq 4), Oswin (Eq 5) Smith (Eq 6), Halsey (Eq 7), e Henderson (Eq 8), para ajuste das isotermas de dessorção e escolha do modelo que melhor ajustasse os dados obtidos. O método Quasi-Newton (Statistica 5.0.) de análise de regressão não linear foi usado para estimar as constantes dos modelos.



**GAB**

$$X_e = \frac{X_m CK a_w}{(1 - K_{\infty})(1 - K_{\infty} + CK_{\infty})} \quad (3)$$

em que:

$a_w$  = atividade de água, adimensional, adimensional;

$X_e$  = conteúdo de umidade de equilíbrio, Kg Kg<sup>-1</sup>;

$X_m$  = conteúdo de umidade na monocamada molecular, Kg Kg<sup>-1</sup>;

$C$  e  $K$  = parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto.

**BET**

$$\frac{x}{x_m} = \frac{C a_w}{1 - a_w} \left[ \frac{1 - (n+1)(a_w)^n + n(a_w)^{n+1}}{1 - (1-C)a_w - C(a_w)^{n+1}} \right] \quad (4)$$

$a_w$  = atividade de água, adimensional;

$n$  = número de camadas moleculares;

$C_{BET}$  = constante de BET, dada por:  $C_{BET} = k \exp\left(\frac{Q_P}{RT}\right)$ ;

$X_e$  = teor de umidade de equilíbrio expressa em base seca, Kg Kg<sup>-1</sup>;

$X_m$  = teor de umidade na monocamada molecular, Kg Kg<sup>-1</sup>.

**OSWIN**

$$X_e = a \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b \quad (5)$$

$a_w$  = atividade de água, adimensional;

$a$  e  $b$  = constantes de ajuste do modelo;

$X_e$  = umidade de equilíbrio, Kg Kg<sup>-1</sup>.

**SMITH**

$$X_e = Mb - Ma \ln[(1 - a_w)] \quad (6)$$

em que:

$X_e$  = umidade de equilíbrio expressa em base seca, Kg Kg<sup>-1</sup>;

$Ma$  e  $Mb$  = parâmetros de ajuste;

$a_w$  = atividade de água, adimensional.

**HALSEY**

$$a_w = \exp\left(\frac{-a''}{X_e^b}\right) \quad (7)$$

em que:

$a_w$  = atividade de água, adimensional;

$X_e$  = umidade de equilíbrio expressa em base seca, Kg Kg<sup>-1</sup>;

$a$  e  $b$  = constantes que dependem da temperatura e natureza do produto.

**HENDERSON**

$$1 - a_w = \exp[-k(k \cdot X_e^n)] \quad (8)$$

em que:

$a_w$  = atividade de água, adimensional;

$k$  e  $n$  = constantes de ajuste;

$X_e$  = umidade de equilíbrio expressa em base seca, Kg Kg<sup>-1</sup>.

Para confirmar que os parâmetros de regressão foram de fato únicos, a regressão foi repetida com estimativas de valores iniciais acima e abaixo dos calculados, mediante o método iterativo, tendo como critério para a avaliação o emprego do modelo do erro médio relativo:

$$E = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - Mp_i)|}{M_i} \quad (9)$$

em que:

$E$  = erro relativo médio;

$M_i$  = valores obtidos experimentalmente;

$Mp_i$  = valores preditos pelo modelo;

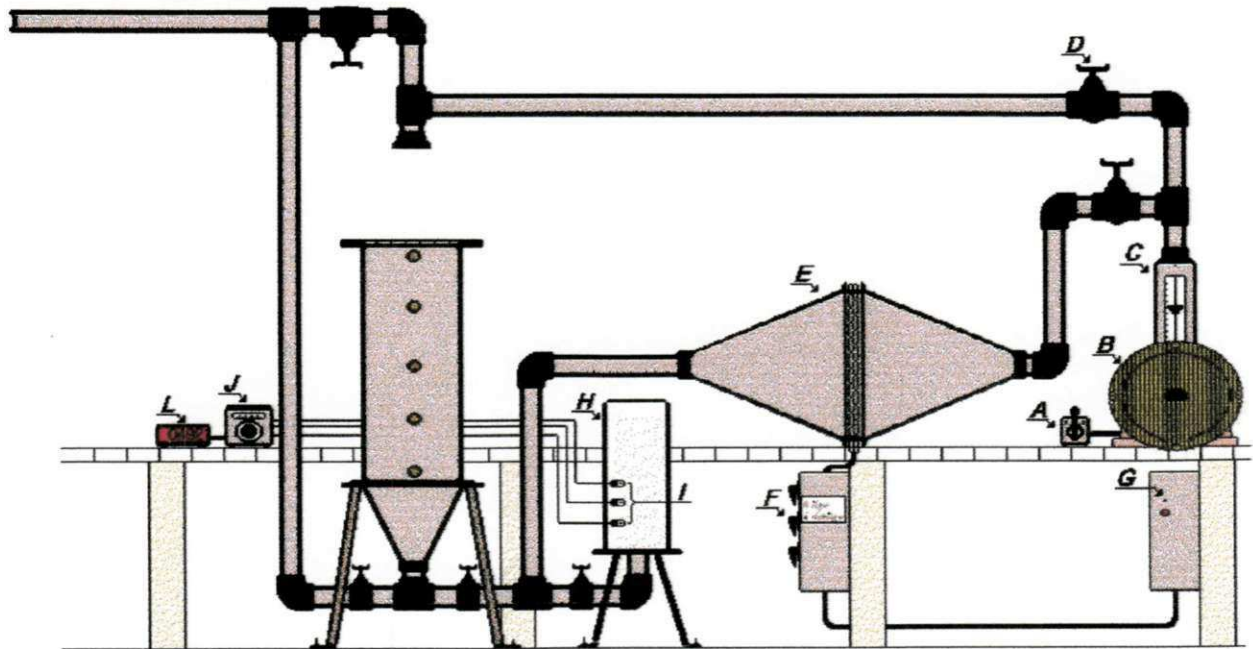
$n$  = número de dados experimentais.

### **3.4. Secagem no secador de leito fixo**

A secagem do cajá foi realizada utilizando-se um secador de leito fixo (Figura 3). As curvas foram apresentaram quatro níveis de temperatura (50, 60, 70 e 80 °C) e duas velocidades do ar de secagem (1,0 e 1,5 m s<sup>-1</sup>).

O secador consiste de um compressor radial que impulsiona o ar no interior da linha de alimentação do leito, rotâmetro, que mede a vazão do ar de secagem, resistências elétricas que aquecem o ar de secagem, válvulas para especificar a vazão na linha de alimentação, dois termopares do tipo Chromel-alumel, controlador de temperatura, chaves seletoras, milivoltímetro digital e câmara de secagem.

A câmara de secagem é composta por uma coluna cilíndrica de 17,80 cm de diâmetro e 60 cm de altura. Possui uma seção inferior tronco-cônica que funciona como um distribuidor de ar, onde são colocadas esferas de vidro, empilhadas aleatoriamente, permitindo a uniformidade do ar de secagem em todo o leito. A câmara é isolada termicamente nas laterais com uma camada de amianto de 1,5 cm de espessura. Nas suas laterais existem furos, onde são colocados termopares para a medição da temperatura do ar de secagem. Existe, também um outro termopar que é inserido no fundo da seção cônica, que serve para enviar sinal para o controlador de temperatura. Todas as medições de temperaturas são lidas em um milivoltímetro.



**Figura 3.** Secador de leito fixo: A- chave do compressor; B- compressor radial; C- medidor de vazão; D- válvula reguladora; E- aquecedor elétrico; F- chave das resistências; G- chave do sistema de controle; H- câmara de secagem; I- termopares; J- controlador de temperatura; L- milivoltímetro digital.

Antes do início de cada secagem foram retiradas amostras do produto para determinação do teor de umidade inicial, conforme o procedimento descrito no item 3.5. As amostras foram colocadas em uma cesta de material metálico em tela de arame de malha fina. Após o equipamento ser ligado, foi determinada a velocidade do ar através da válvula reguladora e de um anemômetro de hélice colocado na parte superior da câmara de secagem, bem como ajuste das temperaturas a ser trabalhada. O conjunto foi pesado e colocado na câmara de secagem para iniciar o processo.

As leituras em relação à perda de peso de cada amostra foram realizadas em intervalos regulares de 30 e 60 minutos, onde as amostras eram retiradas da câmara de secagem, pesadas em balança de precisão e recolocadas rapidamente no secador. A perda de peso foi acompanhada até atingir peso constante. Em seguida as amostras foram colocadas em recipientes de alumínio e levadas à estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 60 °C por 24 horas para posterior determinação de matéria seca.

### **3.5. Determinação do conteúdo de umidade**

Para a determinação do conteúdo de umidade do cajá foi utilizado o método descrito pela AOAC (1998), onde cinco amostras de cajá eram levadas à estufa a uma temperatura de 100 °C por 3 horas. Todas as medidas de massa foram feitas em balança Mettler PC 440, com precisão de leitura de 0,0001 g.

### **3.6. Caracterização físico-química da polpa de cajá**

#### **3.6.1. Processo de obtenção da polpa de cajá**

Os frutos do cajá ao serem recebidos no laboratório, foram selecionados

manualmente com a finalidade de eliminar os frutos deteriorados. Depois da seleção, os frutos foram lavados e desinfetados manualmente por imersão em recipientes de plástico contendo solução de hipoclorito de sódio, com concentração de 30 ppm, seguidas de enxágüe com água potável. Posteriormente foram processados em um liquidificador industrial da Marca Siemens, logo após, a polpa foi acondicionada em embalagens de polietileno e armazenada em câmara frigorífica à temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Para todas as determinações analíticas a polpa de cajá foi descongelada, homogeneizada e deixada equilibrar à temperatura ambiente.

### **3.6.2. Análises físico-químicas**

#### **3.6.2.1. pH**

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, em um pHmetro modelo pH 300 M de Marca Analyser, previamente calibrado com soluções tampões de pH 7,0 e 4,0.

#### **3.6.2.2. Sólidos solúveis ( $^{\circ}\text{Brix}$ )**

O  $^{\circ}\text{Brix}$  foi determinado por meio da leitura direta em refratômetro digital automático modelo RDA 8600 de Marca Acatec.

#### **3.6.2.3. Umidade e sólidos totais**

Foram determinados pelo método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (Lara et al., 1976). Os resultados foram expressos em porcentagem (p/p).

**3.6.2.4. Acidez total titulável**

A acidez total foi determinada pelo método acidimétrico nº 942.15b da AOAC (1998). Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

**3.6.2.5. Cinzas**

Foi determinada segundo método oficial nº 940.26 da AOAC (1998), expressos os resultados em porcentagem (p/p).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Isotermas de dessorção

Os resultados experimentais da umidade de equilíbrio com suas respectivas atividade de água a diferentes temperaturas durante a dessorção do cajá, encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores de atividade de água e umidade de equilíbrio do cajá

Temperatura (°C)	Atividade de água ( $a_w$ )	Umidade de equilíbrio $X_{eq}$ (Kg Kg <sup>-1</sup> )
30	0,495	0,120
	0,533	0,161
	0,559	0,199
	0,567	0,231
	0,593	0,292
	0,650	0,420
40	0,471	0,231
	0,485	0,267
	0,497	0,290
	0,530	0,353
	0,551	0,380
	0,636	0,433
	0,691	0,619
50	0,583	0,143
	0,617	0,180
	0,660	0,241
	0,698	0,306
	0,787	0,473
	0,876	0,694



Conforme os valores contidos na Tabela 2, constata-se que os conteúdos de umidade de equilíbrio aumentam com o aumento da atividade de água. Estes resultados são concordantes com o que ocorre para a maioria dos produtos higroscópicos, como observado por Prado et al. (1999), Gouveia et al. (1999) e Silva et al. (2002) avaliando isotermas de tâmaras, gengibre e manga, respectivamente. No entanto, a atividade de água ( $a_w$ ) aumentou com o aumento da temperatura, comportamento este que diverge dos obtidos por Kechaou e Maalej (1999) onde os autores concluíram para banana que atividade de água decresce com o aumento da temperatura.

Na Tabela 3 encontram-se as constantes estimadas para os modelos de GAB, BET, Oswin, Smith, Halsey e Henderson, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os erros médios relativos ( $E$ ) e na Figura 4, a representação gráfica das isotermas obtidas na forma usual de umidade de equilíbrio (b.s) com o inverso da atividade de água.

Na Tabela 3, observa-se que o conteúdo de umidade da monocamada ( $X_m$ ) da equação de BET aumentou com o aumento da temperatura e o parâmetro C da mesma equação, decresceu com o aumento da temperatura. Para o modelo de GAB, o  $X_m$  apresentou variações aleatórias dentro da faixa de temperatura estudada, resultado semelhante se deu para o conteúdo de umidade da monocamada do referido modelo, para as isotermas de dessorção da goiaba (Araújo, 2001).

**Tabela 3.** Estimativas dos parâmetros das isotermas de dessorção do cajá dos modelos empíricos, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro médio relativo ( $E$ )

Modelo	Constantes, $R^2$ e $E$	Temperatura (°C)		
		30	40	50
BET	$X_m$	0,446	5,402	9,118
	$C$	39,03	0,042	0,015
	$n$	3	3	3
	$E$ (%)	1,42	7,50	19,23
	$R^2$ (%)	96,66	92,67	81,89
GAB	$X_m$	0,573	0,019	9,749
	$C$	10,41	2,405	0,013
	$K$	0,381	1,060	0,747
	$E$ (%)	0,60	6,39	5,35
	$R^2$ (%)	99,44	94,63	98,79
HALSEY	$A$	0,948	0,240	0,090
	$B$	3,523	0,855	1,119
	$E$ (%)	1,05	6,79	9,16
	$R^2$ (%)	97,78	94,75	96,77
HENDERSON	$A$	0,152	0,057	0,052
	$B$	-0,491	0,126	0,105
	$C$	5,552	0,724	0,635
	$E$ (%)	0,71	6,31	5,99
	$R^2$ (%)	99,18	94,86	98,74
OSWIN	$A$	0,684	0,289	0,150
	$B$	0,155	0,910	0,794
	$E$ (%)	0,71	6,57	8,33
	$R^2$ (%)	99,02	94,80	97,37
SMITH	$Ma$	0,469	63,283	0,455
	$Mb$	0,345	-0,150	-0,247
	$E$ (%)	1,59	5,92	2,80
	$R^2$ (%)	95,39	94,75	99,71

Ainda nessa Tabela, verifica-se que o parâmetro  $C$  decresceu com o aumento da temperatura estudada. Decréscimo similar foi encontrado por Moura et al. (2001) secando caju. Provavelmente esta divergência entre os valores destes parâmetros seja proveniente das diferenças de estabilidade tanto físicas como químicas destes produtos desidratados.

Observa-se na Tabela 3 que os resultados das estimativas dos parâmetros das isotermas de dessorção, variando com a temperatura, considerando as constantes estimadas, os coeficientes de determinação e os módulos dos erros médios relativos, tem-se que todos os modelos, exceto BET a temperatura de 50 °C ( $R^2=81,89\%$  e  $E=19,23\%$ ), representaram bem os dados experimentais. O modelo de Smith foi o que apresentou menor erro médio relativo as isotermas do cajá as temperaturas de 40 e 50 °C e GAB ( $E=0,60\%$ ) a temperatura de 30 °C contra 1,59% do modelo de Smith. Igualmente a essa temperatura (30 °C) o coeficiente de determinação do modelo de GAB (99,44%) foi superior ao de Smith (95,39%). A escolha do modelo de Smith encontra respaldado em pesquisa realizada por Pereira et al. (2001b), em que, entre as equações estudadas, a de Smith representou satisfatoriamente a isoterma de dessorção do abacate, para a temperatura de 40 °C, pelo método higrométrico.

É importante observar que os modelos de GAB, BET, Oswin, Smith, Halsey e Henderson descrevem satisfatoriamente o ajuste das isotermas de dessorção do cajá para cada temperatura estudada, uma vez que os valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), foram superiores a 90% e os erros médios relativos ( $E$ ) foram abaixo de 10%, exceto para o modelo de BET a temperatura de 50 °C.

As isotermas de dessorção do cajá (Figura 4), para a temperatura de 30, 40 e 50 °C, apresentam a forma característica de equilíbrio de material higroscópico, onde os pontos correspondentes às curvas alinham-se ao longo da mesma, observa-se também que o aumento da atividade de água para cada temperatura resulta em aumento de umidade de equilíbrio, a taxa de dessorção é mais alta no início do processo, diminuindo

continuamente à medida que se aproxima da umidade de equilíbrio, comportamento que conduz a afirmativa de aumento da taxa de dessecção com a diminuição de umidade relativa.

Além disso, vale ressaltar que o equilíbrio é atingido assintoticamente com um aumento relativamente rápido de temperatura do produto nos instantes iniciais do processo. Este aspecto é importante devido o comportamento das curvas de distribuição de temperatura apresentar uma boa correspondência entre as taxas de secagem e as taxas de aquecimento da fruta durante a secagem, principalmente no início do processo em que a redução da umidade é mais fácil.

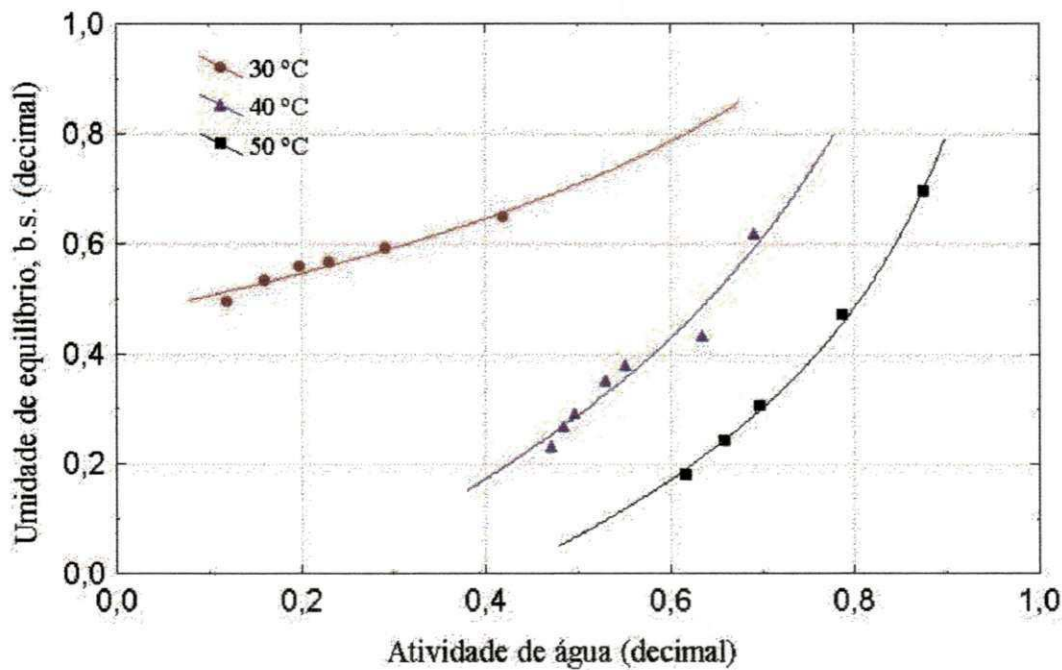


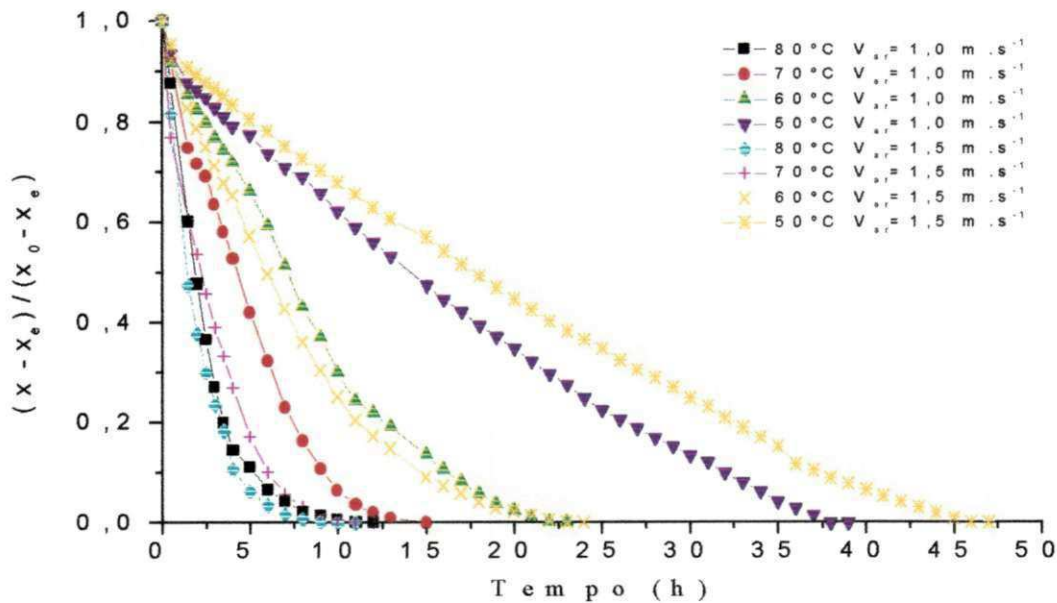
Figura 4. Isotermas de dessecção do cajá para três temperaturas, ajustadas pelo modelo de Smith

#### **4.2. Cinética de secagem**

Estudou-se a cinética de secagem em camada fina, analisando-se a influência das variáveis operacionais como temperatura e velocidade do ar de secagem. As curvas da cinética de secagem estão apresentadas na forma de adimensional do conteúdo de umidade,  $(X-X_e)/(X_0-X_e)$  em função do tempo, as tabelas contendo os dados experimentais encontram-se no Apêndice A (Tabela A1 e A2), e sua representação gráfica na Figura 5.

A representação gráfica das curvas de secagem é de comportamento similar, isto é, o processo de secagem ocorre no período de taxa decrescente para as condições estudadas, não apresentando período a taxa constante. A ausência do período à taxa constante foi observado em gengibre por Gouveia et al. (1997), em caju por Moura et al. (2001) e em goiaba por Araújo et al. (2001). Observa-se ainda, que o tempo de secagem, depende da temperatura. Todas as curvas para cada critério em particular, representaram curvas características de adimensional de umidade similar, variando amplamente com os valores absolutos da temperatura.

Mediante os resultados da Figura 5, verificou-se que a variação da velocidade do ar de secagem teve uma pequena influência na cinética de secagem. Este efeito sugere que a resistência externa não influencie nas condições de operações utilizadas e que o controle de secagem depende da difusão interna do cajá. Esta constatação está de acordo com o fato de não ter sido observado período de secagem a taxa constante. Comportamento similar foi observado por Villar (1999) e Brasileiro (1999), ambos estudando secagem de acerola, respectivamente. Embora, não sendo significativa a influência desta variável na cinética de secagem, porém, nota-se que quando se trabalhou com a temperatura de 50 °C e velocidade de 1,5 m.s<sup>-1</sup>, a secagem ocorreu de forma mais lenta nesta condição. Deste modo, pode-se considerar como uma variável de menor importância no processo.



**Figura 5.** Cinética de secagem do cajá para quatro temperaturas e duas velocidades do ar de secagem

Analisando as curvas de secagem da Figura 5, observou-se que a cinética de secagem foi fortemente influenciada pela temperatura, a aplicação de temperaturas mais elevadas reduz significativamente o tempo necessário para secar o cajá, ou seja, para um mesmo tempo de processo, quanto maior for a temperatura do ar, maior é a taxa de secagem. Nota-se que a perda do conteúdo de umidade é bem rápida no início do processo de secagem, cuja estabilização para a temperatura mais baixa (50 °C) ocorre num período de tempo de aproximadamente 38 horas e 30 minutos, e para a temperatura mais alta (80 °C) a partir de aproximadamente 9 horas e 30 minutos, indicando que a temperatura é a variável de maior influência no processo. Este comportamento foi observado por Yoshida e Menegalli (2000), Prado et al. (2000) e Almeida et al. (2002), secando milho superdoce, tâmaras e algaroba, respectivamente.

A fim de se encontrar uma equação de ajuste para as curvas de secagem do cajá foram feitos ajustes (Tabelas 4 e 5) a partir de equações polinomiais. Observa-se que os coeficientes ajustados para cada temperatura correspondem a coeficientes de regressão ( $R^2$ ), entre 95,81% e 99,89%, e erro médio relativo ( $E$ ), entre 0,88% e 0,98%. Contudo, todas as equações podem ser usadas como modelo de ajuste das curvas de secagem de cajá por apresentarem valores de  $R^2$  superiores a 95%. Por serem de natureza empírica, essas equações só podem ser utilizadas para predizer dados de secagem para as condições de temperaturas e velocidades do ar de secagem estudadas.

**Tabela 4.** Equações da cinética de secagem do cajá para a velocidade do ar de  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$

Temperatura (°C)	Equação polinomial		
	$V_{ar} = 1,0 \text{ m.s}^{-1}$	$R^2$ (%)	$E$ (%)
50	$Y = 8.10^{-8}x^2 - 0,001x + 0,95$	99,88	0,94
60	$Y = 5.10^{-7}x^2 - 0,001x + 0,99$	99,64	0,97
70	$Y = 1.10^{-6}x^2 - 0,002x + 0,99$	99,73	0,98
80	$Y = 4.10^{-6}x^2 - 0,004x + 0,92$	95,81	0,90

**Tabela 5.** Equações da cinética de secagem do cajá para a velocidade do ar de 1,5 m.s<sup>-1</sup>

Temperatura (°C)	Equação polinomial		
	$V_{ar} = 1,5 \text{ m.s}^{-1}$	$R^2$ (%)	$E$ (%)
50	$Y = 5.10^{-8}x^2 - 0,001x + 0,96$	99,89	0,95
60	$Y = 6.10^{-7}x^2 - 0,002x + 0,97$	99,83	0,96
70	$Y = 3.10^{-6}x^2 - 0,003x + 0,90$	98,71	0,89
80	$Y = 4.10^{-6}x^2 - 0,004x + 0,88$	95,17	0,88

#### 4.3. Caracterização físico-química

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios, obtidos a partir de três repetições, das análises físico-químicas da polpa de cajá utilizada neste trabalho.

**Tabela 6.** Conteúdo de umidade em base úmida, sólidos totais, acidez em ácido cítrico, pH, cinzas e °Brix

Composição	Valores obtidos
Umidade (%)	87,0
Sólidos totais (%)	13,0
Acidez total em ácido cítrico (%)	1,2
pH	3,0
Cinzas (%)	0,4
Sólidos solúveis (°Brix)	14,3



Mediante os resultados da Tabela 6, todos os valores experimentais estão de acordo com os padrões de identidade e qualidade para a polpa de cajá, estabelecidos pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento (Brasil, 2000) apresentados na Tabela 1. Pode-se perceber que o congelamento da polpa de cajá não influencia nas características físico-químicas da mesma. Esse comportamento está coerente com o relatado por Gouveia (1999) para o gengibre. Verifica-se também, que os valores para acidez titulável e pH manteve-se dentro da mesma faixa dos encontrados por Aldrigue (1988), Lima et al. (1995), constata-se que a comparação dos resultados foi satisfatória. O teor de cinzas calculado foi bem próximo em relação ao encontrado por Aldrigue (1988). Sendo assim possível observar que os resultados foram compatíveis, exceto para o teor de sólidos solúveis (°Brix) que apresentou uma diferença significativa em relação ao valor encontrado por Oliveira et al. (1999), segundo Chitarra e Chitarra (1990), esta diferença deve-se provavelmente, a fatores tais como: condições climáticas, grau de maturidade e práticas empregadas.

## 5. CONCLUSÕES

Do presente trabalho e para as condições em que foi realizado, concluiu-se que:

1. As curvas de dessecamento do cajá para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C foram melhor representadas pelo modelo de Smith. A avaliação do melhor ajuste foi feita pelo valor do erro médio relativo entre os valores experimentais e os valores estimados, representou o valor do erro médio relativo de 1,54%, para a temperatura de 30 °C; 5,92% para a temperatura de 40°C e 2,8% para a temperatura de 50 °C.
2. A dependência das isotermas com a temperatura pode perfeitamente ser expressa não somente pelo modelo de Smith, mas também pelos modelos de GAB, Oswin, Halsey e Henderson para as temperaturas de 30, 40 e 50 °C e, o modelo de BET para as temperaturas de 30 e 40 °C.
3. A cinética de secagem do cajá ocorre dentro do período de taxa decrescente, sendo pouco influenciada pela velocidade do ar de secagem (1,0 a 1,5 m.s<sup>-1</sup>) e fortemente pelas temperaturas (50, 60, 70 e 80 °C).
4. A polpa do cajá apresentou 87% de umidade, 13% de sólidos totais, 1,2% de acidez total em ácido cítrico, pH de 3,0 e °Brix de 14,3, o que lhe confere um fruto de bom padrão na classificação do Ministério da Agricultura e Abastecimento.

## **6. SUGESTÕES**

- Estudar o desempenho da secagem do cajá submetido a um pré-tratamento químico.
- Fazer a modelagem matemática da cinética de secagem, considerando o encolhimento da fruta.
- Analisar a influência do processo de secagem do cajá na qualidade do produto final em termos de propriedades físico-químicas e sensoriais.
- Estudar a higroscopicidade do cajá desidratado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDRIGUE, M.L. Caracterização física, química e físico-química do cajá (*Spondias lutea* L.) In: SEMINÁRIO AGROPECUÁRIO DO ACRE, 2, Rio Branco. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DPV, 1988. p.323-327.

ALMEIDA, F.A.C.; GOUVEIA, J.P.G. de, J.E.; VILLAMIL, J.M.P.; SILVA, M.M. Secagem natural e artificial de vagens de algaroba. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Viçosa, v.27, n.1, p.48-57, 2002.

ALSINA, O.L.S., SILVA, O.S.E; SANTOS, J.M. Efeitos das condições operacionais na cinética de secagem de fatias de bananas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. CD Roms.

ALVES, R.E. Características das frutas para exportação. In: NETTO, A.G.; ARDITO, E.F.G.; GARCIA, E.E.C.G. ; BLEINROTH, E.W.; FREIRE, F. das C.O.; MENEZES, J.B.; BORDIN, M.R.; SOBRINHO, R.B.; ALVES, R.E. **Acerola para a exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita**. MAARA/SDR - Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. 30p. (EMBRAPA-SPI. Publicações Técnicas Frupex, 21)

ARAÚJO, M.E.R. **Predição da cinética de secagem do fruto da goiabeira (*Psidium guajava* L.)**. Campina Grande: UFPB, 2001, 79p. (Dissertação de Mestrado).

ARAÚJO, M.E.R.; ALMEIDA, F.A.C.; GOUVEIA J.P.G. de; SILVA, M.M. Atividade de água em goiaba (*Psidium guajava* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, Foz do Iguaçu, **Anais...**, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. **Official Methods of Analysis**, 1998. 16 ed.; Gaithersburg, 1141p.

BRASIL. Instrução normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000. Estabelece o regulamento técnico para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para a polpa de fruta. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília-DF, 10 de janeiro. 2000 seção 1, n.6, p.54-56.

BRASILEIRO, I.M.N. **Cinética de secagem de acerola “in natura” em monocamada.** Campina Grande: UFPB, 1999. 80p. (Dissertação de Mestrado)

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Theory and simulation of grain drying. In: **Drying and storage of grains and oilseeds.** Westport the AVI publishing Company, 1992. p.205-240.

CAPRISTE, G.H.; ROTSTEIN, E. Prediction of sorption equilibrium data for starch-containing foodstuffs. **Journal of Food Science.** v.47, p.1501-1507, 1982.

CARDOSO, E.A. **Germinação, morfologia e embriologia de algumas espécies do gênero spondias,** Areia: UFPB, 1992. 58p. (Dissertação de Mestrado)

CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M. Secagem a nível de pequeno produtor. In: ALMEIDA, F. A. C.; HARA, T.; CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M. (ed.). **Armazenamento de grãos e sementes nas propriedades rurais.** Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap.2, p.52-32.

CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M., ALMEIDA, M.M., BRAGA, M.E.D. Armazenagem do fruto umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) semi-maduro e maduro: alterações das características físicas. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA DE ALIMENTOS, 3, **Anais...** 2001. CD Roms.

CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: MUJUNDAR, A.S (ed). **Advances in drying.** Washington: Hemisphere Publishing Cooperation. p.73-102. 1983.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e amanhuseio.** Lavras, ESAL / FAEPE, 1990, p.101-102.

CIABOTTI, E.D., BRAGA, M.E.D., CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M. Alterações das características físico-químicas da polpa de maracujá amarelo submetido a diferentes técnicas de congelamento inicial. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais.** Campina Grande, v.2, n.1, p.51-60, 2000.

DURAL, N.H.; HINES, A.L. New theoretical isotherm equation for water vapor-food systems: multilayer adsorption on heterogeneous surface. **Journal of Food Engineering.** v.20, n.1, p.75-96, 1993.

GOMES, R.P. A cajarana e a cajazeira. In: **Fruticultura Brasileira.** 11 ed. São Paulo: Nobel, 1990. 135p.

GOUVEIA, J.P.G. de, ALMEIDA, F.A.C., FERNANDEZ, F.R.; MURR, F.E.X. Estudo das isotermas de sorção e calor isostérico do gengibre sem casca. **Anais...** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, Pelotas, 1999.

GOUVEIA, J.P.G. de, FERNANDEZ, F.R.; MURR, F.E.X., PRADO, M.E.T. Ginger desorption rate. **Proceedings...** In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE, São Paulo, 1997. p.26.

GOUVEIA, J.P.G. de. **Avaliação da cinética de secagem de gengibre (*Zingiber officinale*, Roscoe) em um secador de leito fixo.** Campinas: UNICAMP, 161p., 1999. (Tese de Doutorado)

GUIMARÃES, F.L.G., BRAGA, M.E.D., CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M. Avaliação das características físico-químicas e sensoriais da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) submetida a diferentes condições de processamento e de armazenagem frigorificada. In: CONGRESO INTERNACIONAL L DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 4, Chillán. **Anais...**, 2001. p.30-33.

KAPSALIS, J.G. Influences of histereses and temperature on moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L.B. **Water activity: theore and applications to food.** New York: Marcel Dekker, 1987, v.9, p.173-213.

KECHAOU, N., MAALEJ, M. Desorption isotherms of imported banan. **Drying Technology**, New York, v.17, n.6; p.1201-1213, 1999.

KROKIDA, M.K.; KIRANOUDIS, C.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying related properties of apple. **Drying Technology**, New York, v.18, n.6; p.1251-1267, 2000.

LACERDA FILHO, A.F. Avaliação de diferentes sistemas de secagem e seus efeitos na qualidade do café (*Coffea arabica*, L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA, 1, **Anais...** Rio de Janeiro, 1987,

LARA, A.B.W.H; NAZÁRIO, G.; ALMEIDA, M.E.W; PREGNOLATO, W. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** 2 ed. São Paulo: Melhoramentos, 1976. v.1, 371p.

LIMA, E.D.P.A.; CARDOSO, E.A.; SILVA, H.; LIMA, C.A.A., SILVA, A.Q. Características tecnológicas dos frutos do gênero *Spondias* família Anacardiaceae. In: Reunião Nordestina de Botânica, 14, 1990. Recife. **Resumos...** p.109.

- LIMA, E.M. de. **Estudos de diagnose, caracterização de plantas e de frutos de cajá, em fase de colheita no brejo paraibano.** Areia: UFPB, 1995. 76p. (Dissertação de Mestrado)
- LIMA, M.F.M. de. **Desidratação de polpa de umbu em leito de jorro – estudos fluidodinâmicos e térmicos.** Campina Grande: UFPB, 1992. 118p. (Dissertação de Mestrado)
- LIMA, M.F.M., ALMEIDA, M.M., VASCONCELOS, L.G.S., ALSINA, O.L.S. Drying of umbu pulp in spouted bed: characteristic curves In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 8, Montreal, **Drying'92.** Amsterdam: Elsevier, 1992. v.B. p.1508–1513.
- LOZANO, N.B. de. **Contribucion al estudio de la anatomia floral de la polinizacion Del jobs (*Spondias mombim* L.).** Bogotá, Caldasia, v.15, n.71–75, p.369–380. 1986.
- MOURA, R.S.F., ALMEIDA, F.A.C.; GOUVEIA, J.P.G. de, SILVA, M.M da.; FIGUEIRÊDO NETO, A. Efeito da temperatura e da velocidade do ar na secagem de caju. **Anais...** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Pelotas, 2001. Cd Roms.
- MURR, F.E.X., PARK, K.J. Drying parameters of potato In: III CONFERENCE OF FOOD ENGINEERING, 1993, Chicago. **Proceedings...**, 1993. p.13.
- NORONHA, M.A.S. **Características físico-químicas de frutos de umbu-cajá *Spondias* sp. Provenientes dps pols baixo-Jaguaribe (CE) e Assu-Mossoró (RN).** Mossoró: ESAM, 1998. 48p. Monografia (Graduação em Agronomia).
- NUCCI, M.C.C., MURR, F.E.X. Influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem na qualidade do gengibre seco In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3, 1995, Campinas. **Livro de Resumos..**, 1995. v.1. p.158–158.
- OLIVEIRA, M.E.B. de.; BASTOS, M.S.R.; FEITOSA, T. et al. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, n.3, 1999.
- PENA, R.S; RIBEIRO, C.C; GRANDI, J.G. Aplicação de modelos matemático bi e tri-paramétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos.** v.20, n.1, 2000.
- PEREIRA, E.A., QUEIROZ, A.J.M., FIGUEIRÊDO, R.M.F., FERREIRA NETO, C.J. Avaliação físico-química dos frutos do açazeiro oriundos do município de Abaetuba-PA In:

SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 4, 2001, Campinas. **Resumos...**, 2001a. p.147.

PEREIRA, E.A.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. de; QUEIROZ, A.J. de M; FARIAS, E.S. Isotermas de dessorção de umidade à 40 °C da polpa de abacate (*Persea americana*, Mill). In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 4, **Resumos...** Campinas, 2001b. p.257.

PERET, J.A. **Frutas da Amazônia**. Rio de Janeiro. SUFRAMA, 1985. 36p.

PRADO, M.E.T.; ALONSO, L.F.T.; PARK, K.J. Isotermas de sorção de modelos matemáticos. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.19, n.1, p.143–146, 1999.

PRADO, M.E.T.; PARK, K.J.; ALONSO, L.F.T. Srinkage of dates (*Phoenix dactilyfera*). **Drying Technology**. Estados Unidos: v.18, n.1 e 2, p.295–310, 2000.

SACRAMENTO, C.K.; BARRETO, W.S.; LOPES, J.R.; LEITE, J.B.V Características tecnológicas dos frutos do gênero spondias família anacardiaceae. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 15, **Anais...** Poço de Caldas: SBF/UFLA, 1998. p.168.

SANTOS, G.M. **Caracterização de frutos de cajá (*Spondias mombim* L.) e cajá-umbu (*Spondias* sp) e todos de NPK em folhas e frutos**. Areia: UFPB, 1996. 49p. Monografia (Graduação em Agronomia).

SILVA, A.P.U.; MAIA, G.A; OLIVEIRA, G.F.S; FIGUEIRÊDO, R.W; BRASIL, I.M. Características de qualidade de suco polposo de cajá (*Spondias lutea* L.), obtido por extração mecânica enzimática. In: ENCONTRO NACIONAL DE ANÁLISES DE ALIMENTOS, **Livro de Resumos**. João Pessoa, 1995.

SILVA, F.S. da.; SILVA, A.Q. da SILVA; H. **Morfologia e fenologia de plantas de “Umbuguela” (*Spondias* sp.), oriundas do município de Princesa Isabel (Semi-Árido Paraibano)**. Areia: UFPB, 1995. 53p.

SILVA, M. M.; GOUVEIA, J.P.G. de; ALMEIDA, F.A.C. Dessorção e calor isostérico em polpa de manga **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n. 1, p.123-127, 2002

SPIESS, W.E.L.; WOLF, W.F. The results of cost go project on water activity. In: Jowitt, R. (ed) **Physical Properties of Foods**. London an New York: Applied Science Publisher, 1983. p.65–91.



VILLAR, C.G. **Estudo do desempenho de um secador convectivo de bandejas para a secagem de bananas: análise da influencia das variáveis operacionais.** Campina Grande: UFPB, 1999. 75p (Dissertação de Mestrado)

VITTALI, A.A. Importância da atividade de água em alimentos. In: **Seminário sobre atividade de água em alimentos**, v. 1, Campinas, ITAL, 1987.

WANG, N.; BRENNAN, J.G. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. **Journal of food Engineering**, v.14, n.1, 1991.

YOSHIDA, C.M.P, MENEGALLI, F.C. Drying of supersweet corn. In: **INTERNACIONAL DRYING SYMPOSIUM**, 12, Noordwijkerhout. **Proceedings...** Elsevier, 2000.

ZADERNOWSKI, R.; MARKIEWICZ, K.; NESTEROWICZ, J; PIERZYNOWSKA, K.G. Physical and chemical characteristics of pulpy juices. **Fruit Processing**, Hachenburg, germany, v.7, p.441-447, 1997.

# **APÊNDICE A**

A 1. Cinética de secagem do cajá para a velocidade do ar de secagem de  $1,0 \text{ m. s}^{-1}$ 

	T= 50°C	T= 60°C	T= 70°C	T= 80°C
Tempo ( h )	( adm )*	( adm )*	( adm )*	( adm )*
0	1,000	1,000	1,000	1,000
0,5	0,936	0,918	0,923	0,876
1,5	0,879	0,853	0,748	0,600
2	0,864	0,823	0,716	0,477
2,5	0,849	0,798	0,691	0,365
3	0,829	0,769	0,635	0,270
3,5	0,811	0,742	0,582	0,199
4	0,791	0,718	0,528	0,144
5	0,775	0,661	0,421	0,111
6	0,737	0,592	0,323	0,066
7	0,709	0,514	0,231	0,041
8	0,690	0,430	0,164	0,022
9	0,658	0,369	0,108	0,013
10	0,622	0,300	0,065	0,005
11	0,590	0,243	0,037	0,000
12	0,560	0,219	0,020	0,000
13	0,532	0,192	0,009	
15	0,474	0,136	0,000	
16	0,447	0,107		
17	0,422	0,082		
18	0,395	0,057		
19	0,371	0,038		
20	0,347	0,024		
21	0,322	0,011		
22	0,297	0,001		
23	0,276	0,000		
24	0,249			
25	0,225			
26	0,206			
27	0,188			
28	0,170			
29	0,153			
30	0,135			
31	0,121			
32	0,100			
33	0,082			
34	0,063			
35	0,043			
36	0,029			
37	0,016			
38	0,000			
39	0,000			

\*adimensional de umidade =  $(x - x_c) / (x_0 - x_c)$

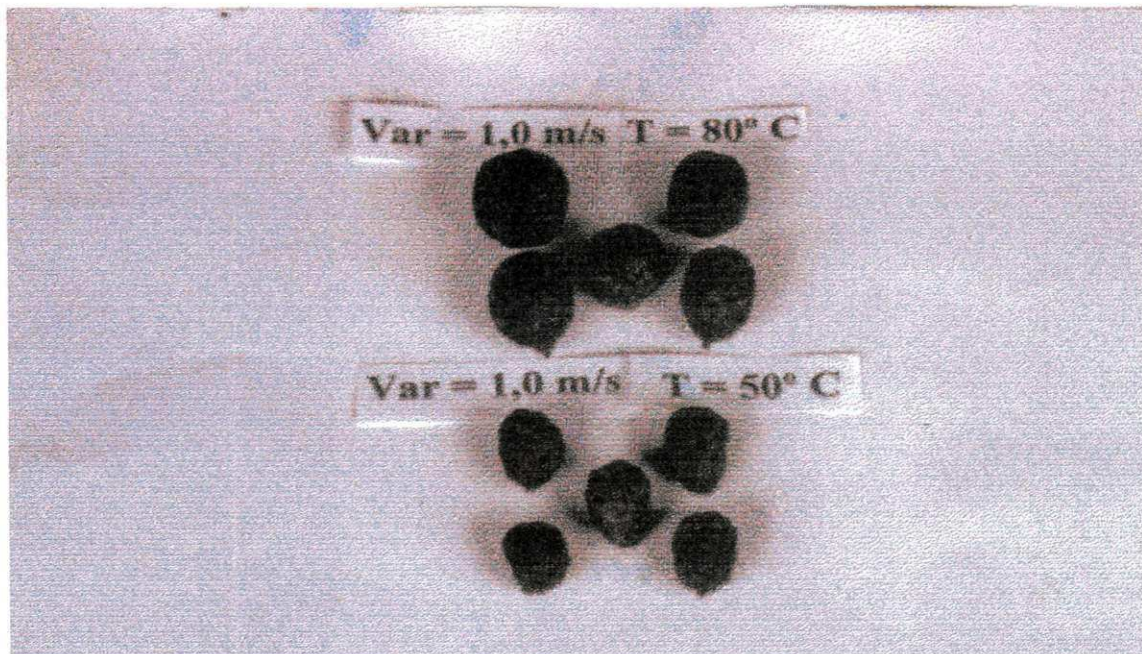
A 2. Cinética de secagem do cajá para a velocidade do ar de secagem de  $1,5 \text{ m. s}^{-1}$ 

	T= 50°C	T= 60°C	T= 70°C	T= 80°C
Tempo ( min )	( adm )	( adm )	( adm )	( adm )
0	1,000	1,000	1,000	1,000
0,5	0,952	0,925	0,770	0,817
1,5	0,908	0,827	0,605	0,476
2	0,893	0,788	0,537	0,379
3	0,866	0,712	0,390	0,236
4	0,834	0,652	0,270	0,108
5	0,805	0,572	0,172	0,064
6	0,782	0,497	0,102	0,036
7	0,751	0,428	0,058	0,018
8	0,726	0,361	0,032	0,008
9	0,702	0,304	0,016	0,003
10	0,679	0,252	0,006	0,000
11	0,655	0,205	0,001	0,000
12	0,627	0,173	0,000	
13	0,605	0,148		
15	0,570	0,091		
16	0,541	0,074		
17	0,516	0,059		
18	0,492	0,042		
19	0,469	0,030		
20	0,447	0,023		
21	0,427	0,015		
22	0,402	0,006		
23	0,382	0,001		
24	0,365	0,000		
25	0,347			
26	0,323			
27	0,305			
28	0,289			
29	0,270			
30	0,249			
31	0,233			
32	0,210			
33	0,190			
34	0,171			
35	0,153			
37	0,105			
38	0,090			
39	0,079			
40	0,067			
42	0,043			
43	0,031			
44	0,020			
45	0,010			
46	0,001			
47	0,000			

\*adimensional de umidade=  $(x-x_c) / (x_o-x_c)$

# **APÊNDICE B**

**B.1.** Fotografia do cajá obtidos após a secagem no secador de leito fixo, para as temperaturas de  $80^{\circ}\text{C}$  e  $50^{\circ}\text{C}$  com velocidade de  $1,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



**Figura 6.** Frutos de cajá após secagem