

**RELATÓRIO FINAL DO  
ESTÁGIO SUPERVISIONADO DA ALUNA:**

*Mônica Almeida Silva*

Orientadora:

*Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte*

A photograph of a pile of cashew nuts, which are light brown and curved, scattered on a white background. The nuts are piled in the center of the page, with some scattered around the base of the pile.

**Cinética de secagem de amêndoas  
de castanha de caju em secador de  
bandejas**

Campina Grande, PB  
Novembro de 2006



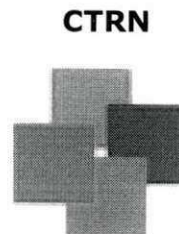
Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola

*Área de Armazenamento e Processamento  
de Produtos Agrícolas*



## Estágio Supervisionado

*Mônica Almeida Silva*

### *Cinética de secagem de amêndoas de castanha de caju em secador de bandejas*

#### BANCA EXAMINADORA

#### PARECER

\_\_\_\_\_  
Prof. Dra. Maria Elita Martins Duarte  
Orientador (UFCG)

\_\_\_\_\_  
APROVADA

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mario Eduardo R.M. Cavalcanti Mata  
Examinador (UFCG)

\_\_\_\_\_  
APROVADA

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Francisco de Assis Santos e Silva  
Examinador (UFCG)

\_\_\_\_\_  
APROVADA

CAMPINA GRANDE -PB  
Novembro de 2006

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Miguel e Socorro

Pelo incentivo e o apoio durante todo o curso.

As minhas irmãs Mônica e Mirella . Vocês fazem parte desse momento que a partir de hoje se torna realidade.

## **AGRADECIMENTOS**

A *Deus*, por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais em especial a minha mãe que esteve sempre ao meu lado nas horas em que chorei e nas horas em que sorri, nas horas em que me lamentei e nas horas em que venci e que me fez acreditar: “que nenhum sonho é tão louco que não possa ser perseguido” você fez, faz e fará sempre parte de minha história!

As minhas irmãs que sempre estiveram ao meu lado, dando apoio, amor e incentivo nos momentos que mais precisei.

A minha orientadora professora Elita pela dedicação, atenção, auxílio e orientação e pelos materiais cedidos, sem os quais teria sido impossível a realização e o desenvolvimento desse trabalho. Obrigada por tudo.

A todos os professores do Departamento de engenharia agrícola que, durante a minha graduação, compartilharam comigo seus conhecimentos.

Aos meus colegas de curso. Em especial a meus amigos Márcio, Priscila, Silvana, Thaís, Vibérica e Vitória pela alegria, companheirismo e pelos momentos de descontração e estudo ao longo de todos esses anos.

Muito Obrigada!

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>1.0 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>2</b>
1.1 Objetivos gerais	4
1.2 objetivos específicos	4
<b>2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
2.1 Características gerais da cultura	5
2.2 A amêndoa de castanha de caju	6
2.2.1 Processamento para obtenção da amêndoa de castanha de caju	7
2.2.2 Classificação da amêndoa	9
<b>2.3 Secagem</b>	<b>11</b>
2.3.1 Cinética da secagem convencional	11
2.3.2 – Secagem em camada fina	12
2.3.2.1– Equações empíricas de secagem em camada fina	14
2.3.3 – Secagem em camadas espessas	15
<b>2.4 Caracterização físico-química de produtos de oleaginosos</b>	<b>16</b>
2.4.1 Conteúdo de água	17
2.4.2 Índice de saponificação	17
2.4.3 Índice de acidez	18
2.4.4 Índice de iodo	18
2.4.5 Índice de peróxido	19

2.4.6 Índice de refração	19
2.4.7 Valor calórico	20
2.4.8 Ponto de solidificação	21
2.4.9 Densidade	21
2.4.10 pH	22
2.4.11 Colesterol	22
<b>2.5 Caracterização da qualidade nutricional dos óleos, azeites e gorduras</b>	<b>22</b>
2.5.1 Carboidratos	22
2.5.2 Cinzas	23
2.5.3 Proteínas	23
<b>3.0 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>24</b>
3.1 Matéria-prima, amêndoas de castanha de caju em pedaços	25
3.1.1 Seleção e caracterização	25
3.2 Caracterização da qualidade nutricional das amêndoas semi-cruas e torradas	27
3.2.1 Proteínas	27
3.2.2 Carboidratos	28
3.2.3 Fibra bruta	28
3.2.4 Lipídios	28
3.2.5 Cinzas	28
3.3 Tosta (secagem)	29
<b>4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>30</b>
4.1 Caracterização física	30

4.2 Caracterização química da amêndoa de castanha de caju semi-crua e tostada	30
4.2.1 Teor de água	31
4.2.2 Proteínas	31
4.2.3 Carboidratos	32
4.2.4 Fibra bruta	32
4.2.5 Lipídeos	32
4.2.6 Cinzas	33
4.3 Secagem	33
<b>5.0 CONCLUSÕES</b>	<b>37</b>
<b>6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>38</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Curva típica de um processo de secagem de um produto agrícola pelo sistema convectivo.	12
<b>Figura 2</b> – Fluxograma de processamento de amêndoas de castanha de caju para obtenção, caracterização e armazenagem de azeite	24
<b>Figura 3</b> – Pesagem do Becker + água+ amostra submersa para determinação do volume pelo método do deslocamento de massa de água	26
<b>Figura 4</b> – Picnômetro de comparação a ar para determinação da porosidade intergranular	27
<b>Figura 5</b> – Bandejas contendo amêndoas de castanha de caju	29
<b>Figura 6</b> - Ajuste dos dados experimentais da secagem de amêndoas de castanha de caju em secador de bandejas, à temperatura de 50,0°C, segundo modelo de Page.	34
<b>Figura 7</b> - Ajuste dos dados experimentais da secagem de amêndoas de castanha de caju em secador de bandejas, à temperatura de 60,0°C, segundo modelo de Page	34
<b>Figura 8</b> - Ajuste dos dados experimentais da secagem de amêndoas de castanha de caju em secador de bandejas, à temperatura de 70,0°C, segundo modelo de Page.	35
<b>Figura 9</b> - Ajuste dos dados experimentais da secagem de amêndoas de castanha de caju em secador de bandejas, para as três temperaturas, 50, 60 e 70°C, segundo modelo de Page.	36

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> . Composição química da amêndoa da castanha de caju <i>in natura</i>	6
<b>Tabela 2</b> – Índice de saponificação de óleos e gorduras comestíveis.	18
<b>Tabela 3</b> – Índice de iodo de óleos e gorduras comestíveis.	18
<b>Tabela 4</b> - Classificação dos óleos vegetais com relação ao índice de iodo	19
<b>Tabela 5</b> – Tabela de calorias de azeites e óleos.	21
<b>Tabela 6</b> – Teores de proteínas, glicídios, lipídios, cálcio, fósforo e ferro de óleos vegetais.	21
<b>Tabela 7</b> - Caracterização da composição centesimal da amêndoa da castanha de caju semi-crua e tostada	23
<b>Tabela 8</b> – Parâmetros do Modelo de Page estimados para amêndoas de castanha de caju às temperaturas de 50, 60 e 70 °C	36

## 1.0 INTRODUÇÃO

A cultura do cajueiro (*Anacardium Occidentale* L.) encontra-se mais disseminada entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, em várias partes do mundo, sendo que as melhores condições de cultivo são encontradas no nordeste brasileiro, nas costas leste e oeste da Índia e nas regiões litorâneas de Moçambique (Soares, 1986). O Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor mundial de castanha, onde a cultura é desenvolvida com maior intensidade nos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte (Barros et al., 1993; Peixoto, 2003). O primeiro produtor mundial de castanha é a Índia.

Do cajueiro são fornecidas duas matérias-primas para a industrialização: o pedúnculo, que é um pseudofruto, e a castanha, que é o verdadeiro fruto. A castanha é o principal produto do cajueiro e, segundo Maia et al. (1971) tecnicamente é composta por três partes. A primeira é o pericarpo ou casca (75%); a segunda, a película ou tegumento, que separa a casca da amêndoa (3%); e a terceira é a amêndoa (noz) (22%), comestível e de elevado valor comercial nos mercados interno e externo. Da castanha do caju ainda se extrai um líquido viscoso, acre, fenólico e cáustico, denominado LCC - líquido da casca da castanha (Holanda, 1988). O Líquido da casca da castanha de cajú, esta sendo convertida em matéria-prima excelente para a produção de resinas e pós de fricção para a indústria automotiva. Quando a extração é feita por prensa, o LCC cru tem uma cor marrom escuro, sendo versificante, cáustico e quando descaboxilado, apresenta uma cor mais escura, quase preta. O LCC é muito empregado na composição da formulação de lonas de freios, como "fillers", Há uma série enorme de outras aplicações do LCC na indústria, entre as quais: a Indústria de vernizes, plásticos, isolantes e tintas.

O processamento de amêndoas de castanha de caju é constituído basicamente de cozimento, secagem, corte, decortização, despeliculagem, classificação, fritura e embalagem. Os processos de beneficiamento da castanha para a extração da amêndoa são complexos, sendo consideradas três modalidades: manual, mecanizado e semimecanizado (Lopes Neto, 1981; Holanda, 1988 e Telles, 1988). A maioria das grandes empresas que processam amêndoas de castanha de caju no Nordeste Brasileiro trabalham com o processo mecanizado, enquanto que as pequenas e médias empresas utilizam sistema manual ou semi-mecanizado (Leite, 1994).

Em qualquer caso, a intenção é a obtenção da maior quantidade possível de amêndoas inteiras, já que o valor comercial está diretamente relacionado com a sua integridade física, associada também a outros parâmetros como tamanho e cor, de acordo com o sistema de classificação para amêndoas processadas estabelecido pela FAO-Food and Agriculture Organization (1983), pela Carteira de Comércio Exterior do Banco do Brasil S/A (Cacex, s.n.) e Ministério da Agricultura (1988).

A produção de amêndoas inteiras destina-se tradicionalmente à exportação. No período de 1996/1997, somente o estado do Ceará exportou em média o equivalente a U\$144 milhões, que representa um montante expressivo em relação aos demais produtos agrícolas do Nordeste.

As amêndoas fragmentadas, de preço bastante inferior, são vendidas principalmente no mercado interno, mas também no exterior, especialmente os pedaços maiores, que são vendidos para as indústrias fabricantes de sorvetes, bolos e chocolates. Desta forma, estabelece-se uma escala de valor comercial, com grande amplitude de valores, compreendida entre inteiras e pedaços, grânulos, xerém e farinha.

Mesmo sendo de baixo valor comercial, o material quebrado (pedaços e bandas) não perdeu suas características primordiais (nutricionais e organolépticas), apresentando importante valor nutritivo, calórico e sensorial. Sua composição média é: umidade - 9%; Proteínas - 20%; Gorduras - 43,5%; Carboidratos - 25%; Cinzas - 2,5% (Embrapa, 2004). Este "rejeito" da agroindústria pode ser usado para a fabricação de outros produtos, pois se permite ter um custo de produção reduzido sem diminuir, contudo, as características de alta qualidade do produto final. O fato de ser inteira ou em pedaços não faz diferença para a transformação desde que, o tratamento dado ao produto quebrado seja adequado e no momento certo.

Vários trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos nestas duas últimas décadas, visando ampliar o número de produtos industrializados do caju, entre os quais se destaca o de Andrade (1984), que trata da elaboração de creme de amêndoa de castanha de caju a partir de bandas e pedaços de amêndoas, o qual se assemelha ao creme de amendoim tostado, já comercializado no Brasil.

## **1.1 Objetivos gerais**

Este trabalho tem como objetivos a classificação e secagem de pedaços de amêndoas de baixo valor comercial, as quais possuem qualidade para elaboração de azeite de mesa.

## **1.2 Objetivos específicos**

- a) Efetuar a classificação das amêndoas;
- b) Realizar a caracterização da amendoa crua;
- c) Realizar a secagem (torra) em secador de bandejas até teor de água de 4, 2 e 0% (b.u.)
- d) Estudar o comportamento das curvas de secagem segundo equação de Page

## 2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Características gerais da cultura

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) pertence à família *Anacardiaceae*, a qual inclui árvores e arbustos tropicais e subtropicais (Johnson, 1973).

Na natureza existem dois tipos de cajueiro bem definidos, em relação ao porte, denominados comum e anão. O cajueiro comum, que é o mais difundido, possui porte mais elevado, com altura que varia de 8 a 15 m e envergadura da copa que chega a atingir 20 m. Apresenta grande variação na distribuição dos ramos e no formato da copa, que vai desde ereta e compacta até espreiadas. A capacidade produtiva individual do cajueiro comum é muito variável, com plantas que produzem menos de 1 kg até cerca de 180 kg de castanha por safra. Apresenta grande variabilidade no peso do fruto, que vai de 3 a 33 g, com peso do pedúnculo variando de 20 a 500 g. A idade mínima de estabilização da produção das plantas é superior a 8 anos, sendo normal também ocorrer entre 12 e 14 anos (Barros, 1993).

O fruto verdadeiro é a castanha, um aquênio reniforme, de 3 a 5 cm de comprimento por 2,5-3,5 cm de largura, apresentando coloração castanho-escuro lustrosa, coriáceo, liso, com mesocarpo espesso, alveolado, cheio de um líquido viscoso, acre e cáustico, denominado LCC (líquido da casca da castanha). No interior da castanha encontra-se a amêndoa, de formato rinóide (formato de rim), protegida por uma fina membrana (película) avermelhada, composta de dois cotilédones brancos, carnosos e oleosos, de alto valor nutritivo, que pode ser consumido ao natural, tostada e salgada, ou no preparo de bolos, doces, confeitos, farinhas e incorporadas em sobremesas diversas (Medina, 1978).

Segundo Casimiro et al. (1995) essa cultura é uma das mais expressivas na economia do estado do Ceará, que a explora na forma de sucos, doces, refrigerantes e amêndoas.

## 2.2 Amêndoa de castanha de caju

O produto de maior expressão econômica do cajueiro é a amêndoa, que é a parte comestível da castanha. A principal forma de consumo da amêndoa é torrada e salgada, usada no acompanhamento de coquetéis e como tira-gosto (Santos, citado por Peixoto, 2003).

A composição química da amêndoa está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química da amêndoa da castanha de caju *in natura*

Determinação	Valor
Umidade (%)	2,0 – 9
Proteína bruta (N x 6,25) (%)	20,0 – 21,0
Sais minerais (%)	1,7 – 3,1
Fibra bruta (%)	1,2
Extrato etéreo (%)	45,0 – 47,0
Carboidratos totais (%)	22,0 – 27,2
Cálcio (mg/100g)	165,0 – 550,0
Fósforo (mg/100g)	450,0 – 490,0
Ferro (mg/100 g)	1,8 – 5,0
Tiamina (µg/100 g)	140,0
Riboflavina (µg/100 g)	150,0
Ácido nicotínico (µg/100 g)	2200,0

**Fonte:** Peixoto (2003)

A castanha de caju difere das outras nozes por ter casca rija e conter um líquido fenólico e cáustico (LCC). Da transformação industrial da castanha de caju resultam como produtos principais a amêndoa e o líquido da casca, e como produtos secundários a película e a casca residual. Somente os produtos primários têm valor econômico no mercado internacional, sendo que a amêndoa apresenta uma cotação bem mais alta. A película pelo seu valor alimentar pode ser usada na preparação de rações animais, podendo também servir de matéria-prima na extração de pigmentos utilizados na fabricação de tintas (Esteves, citado por Peixoto, 2003).

### 2.2.1 Processamento para obtenção da amêndoa de castanha de caju

A extração da amêndoa é uma operação complexa, pois a casca, em razão de sua estrutura, é resistente ao corte e a ruptura. Além disso, o LCC pode se incorporar e inutilizar a amêndoa para o consumo (Holanda, 1988; Telles, 1988).

Russel (1969) descreve o processamento da castanha de caju resumindo-o em cinco operações. A primeira operação seria tornar as cascas susceptíveis ao corte, seguindo-se o corte, a despeliculagem, a seleção e a embalagem.

Segundo Lopes Neto (1981) os métodos utilizados para o processamento da castanha de caju podem ser reunidos em três grupos: manual, semimecanizado e mecanizado.

Os procedimentos técnicos para o beneficiamento artesanal da castanha de caju (Peixoto, 2003), embora sem detalhes considerados importantes (temperatura da estufa, conteúdo de água final e demais detalhes) são descritos, segundo o autor, como sendo os seguintes:

Colheita do fruto - é realizada no campo onde se faz o descastanhamento, que é o ato de separar a castanha do pseudofruto e sua classificação por tamanho (pequena, média e grande).

Secagem - logo após a colheita, a castanha (fruto) deve permanecer três dias ao sol, para que sua umidade diminua até, aproximadamente, 14%.

Cozimento - o cozimento em água fervente durante 15 a 20 minutos. O método prático de saber se a castanha está pronta, é verificar se a mesma está amolecida. Para fazer esta operação coloca-se no cozinhador 5 litros de água para cada 10 kg de castanha.

Resfriamento - após o cozimento, a castanha passará no mínimo 48 horas secando à sombra e ao ar livre, dependendo da umidade do ar.

Corte ou decortização - Um operador utilizando máquina, secciona ao meio a casca da castanha, tomando cuidado para não atingir a amêndoa, fato que pode ocorrer no máximo até 10% para não comprometer a rentabilidade da produção, sendo em seguida retirada a amêndoa



da casca com uma pinça por outra pessoa (tiragem) e separada em: amêndoa inteira, quebrada e casca.

Estufagem - As amêndoas inteiras e quebradas são levadas separadamente para a estufa, onde permanecem por 6 a 8 horas, sendo desidratada, sofrendo em seguida, um resfriamento de 30 minutos a 1 hora para facilitar a retirada da película (membrana que envolve a amêndoa).

Despeliculagem - Ato de retirar a película manualmente ou com a ajuda de um pequeno estilete, tendo o cuidado de não atingir a amêndoa, o que diminuirá sua qualidade.

Seleção - A amêndoa é selecionada por tipo: inteira, banda, pedaço, batoque e outros.

Embalagem – depende do destino: a) em nível de produtor, a amêndoa é embalada em recipientes de plástico rígido e levado à Unidade Central de embalagem, onde será selecionado de acordo com os tipos exigidos pelo mercado nacional e internacional; b) em nível de central, o produto é embalado em latas de flandê zincadas de 18 litros, com capacidade para 11,34 kg, onde se extrai, através de um compressor, o oxigênio e injeta-se CO<sub>2</sub> para preservação do produto, seguindo-se a recravagem que é o fechamento da lata para o mandrilhamento da tampa.

Estes procedimentos possuem grande semelhança com o sistema industrial, havendo variações no cozimento, estufagem e despeliculagem (Maia, 1982).

O sistema mecanizado apresenta as seguintes vantagens sobre o manual: menor necessidade de mão-de-obra, obtenção de produtos mais higiênicos, melhor qualidade das amêndoas em relação à cor, menor probabilidade de contaminação da amêndoa pelo LCC. Por outro lado, o sistema manual apresenta menor índice de quebra, o que é de grande importância para a indústria, já que as amêndoas inteiras possuem valor superior no mercado (Maia, 1982). Desta forma, o grande desafio da mecanização é que a decorticação da castanha de caju possibilite a obtenção de um percentual máximo de amêndoas inteiras.

Estudos têm mostrado que o índice de amêndoas inteiras no sistema mecanizado é de 55% a 60% para máquinas bem reguladas, enquanto que no sistema manual esse índice está

em torno de 75%. No mercado internacional, é extremamente importante a obtenção de amêndoas inteiras, pois representa um fator decisivo na cotação de preços.

A castanha ao ser retirada do pseudofruto deve passar por secagem, armazenamento e classificação, independente do processo a que seja submetida.

### **2.2.2 Classificação da amêndoa**

O sistema de classificação para amêndoas processadas, estabelecido pela Food and Agriculture Organization (FAO, 1983) e pela Carteira de Comércio Exterior do Banco do Brasil S/A (CACEX, s.n.) e Ministério da Agricultura (1988), compreende as seguintes classes:

a) Special Large Wholes (SLW) - contagem inferior ou até 180 amêndoas por libra/peso:

- SLW - Inteira Super Especial de 1ª,
- SLW2 - Inteira Super Especial de 2ª,
- SLW3 - Inteira Super Especial de 3ª ;

b) Large Wholes(LW) - contagem entre 180/210 amêndoas por libra/peso:

- LW - Inteira Especial de 1ª,
- LW2 - Inteira Especial de 2ª,
- LW3 - Inteira Especial de 3ª;

c) Wholes (W) - contagem entre 200/210 amêndoas por libra/peso:

- W1 - 210 - Inteira de 1ª,
- W2 - 210 - Inteira de 2ª;

Wholes (W) - contagem entre 220/240 amêndoas por libra/peso:

- W1 - 240 - Inteira de 1ª,
- W2 - 240 - Inteira de 2ª;

Wholes (W) - contagem entre 260/280 amêndoas por libra/peso:

- W1 - 280 - Inteira de 1ª,
- W2 - 280 - Inteira de 2ª;

Wholes (W) - contagem entre 300/320 amêndoas por libra/peso:

- W1 - 320 - Inteira de 1ª,
- W2 - 320 - Inteira de 2ª;

Wholes (W) - contagem entre 350/400 amêndoas por libra/peso:

- W1 - 400 - Inteira de 1ª,

- W2 - 400 - Inteira de 2ª;

Wholes (W) - contagem entre 400/450 amêndoas por libra/peso:

- W1 - 450 - Inteira de 1ª,

- W2 - 450 - Inteira de 2ª;

d) Small Wholes (SW) - contagem superior a 400 amêndoas por libra/peso:

- SW1 - 450 - Inteira de 1ª,

- SW2 - 450 - Inteira de 2ª;

e) Mixed Wholes - mistura de todos os tipos de inteira, desde a super especial à pequena:

- W1M - Inteira Misturada de 1ª,

- W2M - Inteira Misturada de 2ª;

Mixed Wholes - misturada de tipos inteiros W - 210 a W- 400:

- W1 - Inteira de 1ª,

- W2 - Inteira de 2ª,

- W3 - Inteira de 3ª,

- W4 - Inteira de 4ª;

f) Splites (S) - metades naturais das amêndoas (cotilédones inteiros), isentos de fraturas:

- S1 - Bandas de 1ª,

- S2 - Bandas de 2ª,

- S3 - Bandas de 3ª;

g) Butts (B) - amêndoas quase inteiras, apresentando pequena fratura transversal em um ou ambos cotilédones desde que não venha a ultrapassar mais de ¼ do tamanho da amêndoa:

- B1 - Batoques de 1ª,

- B2 - Batoques de 2ª,

- B3 - Batoques de 3ª;

h) Pieces (P) - fragmentos de amêndoas retidos na peneira de 4 mesh, ou seja, 4 malhas por polegada linear, arame 16 SWG:

- P1 - Pedações grandes de 1ª,

- P2 - Pedações grandes de 2ª,

- P3 - Pedações grandes de 3ª;

- fragmentos de amêndoas retidos na peneira de malha 16 arame 18 SWG:

- SP1 - Pedações médios de 1ª,

- SP2 - Pedações médios de 2ª;

- fragmentos de amêndoas retidos na peneira de malha 8 arame 20 SWG:

- SSP1 - Pedacos pequenos de 1ª,

- SSP2 - Pedacos pequenos de 2ª;

i) Grânulos - fragmentos de amêndoas retidos na peneira de malha 10 arame 20 SWG:

- G1 - Grânulos de 1ª,

- G2 - Grânulos de 2ª;

j) Xerém (X) - fragmentos de amêndoa retidos na peneira de malha 14 arame 20 SWG:

l) Farinha (FE) - fragmentos de amêndoas que vazaram na peneira de malha 14, arame 22 SWG.

## 2.3 – Secagem

### 2.3.1 Cinética da secagem convencional

A cinética da secagem está relacionada com as variações do conteúdo de água médio e temperatura do produto submetido à secagem. A cinética da secagem permite ainda calcular, entre outros parâmetros, o conteúdo de água total do produto, o tempo de secagem e o consumo de energia. A curva de conteúdo de água  $X(\text{kg}/\text{kg}_s)$  vs. tempo é obtida relacionando a massa de água contida no sólido com a massa do sólido seco (massa resultante no produto, quando toda a sua água for eliminada) de acordo com a seguinte expressão:

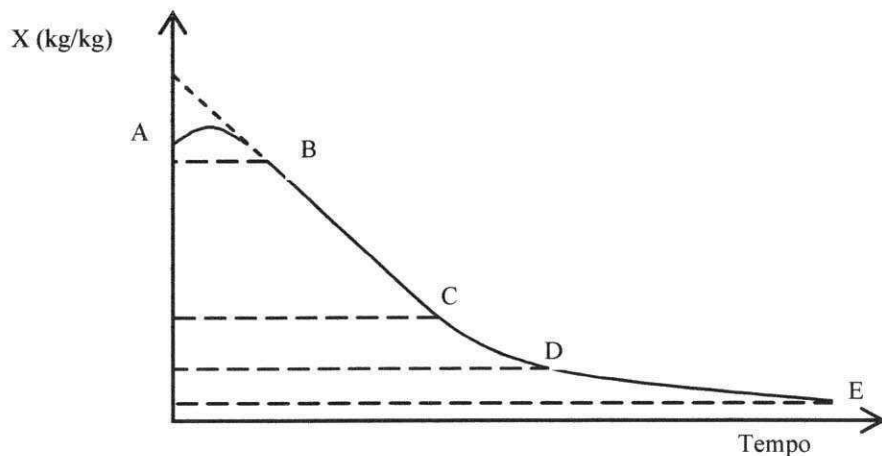
$$X\% = \frac{M_a}{M_s} \cdot 100, [\text{kg}/\text{kg}] \quad (1)$$

em que:

$M_a$  = massa de água [kg];

$M_s$  = massa de matéria seca [kg].

Na Figura 1 encontra-se, genericamente, a curva de conteúdo de água de um produto em função do tempo, típica de um processo de secagem convencional em camada fina, pelo sistema convectivo.



**Figura 1** – Curva típica de um processo de secagem de um produto agrícola pelo sistema convectivo.

A curva de umidade, como apresentada na Figura 1, consiste de quatro períodos, a saber:

- a) Período AB – também chamado de período transitório da secagem. Neste, todas as inicializações do processo são realizadas, ou seja, estabelecem-se os gradientes de transferência de massa e temperatura;
- b) Período BC – período de velocidade constante, representado graficamente por uma característica linear;
- c) Período CD e DE – períodos de velocidades decrescentes.

### 2.3.2 – Secagem em camada fina

De acordo com Brooker et al. (1992), a secagem de produtos agrícolas em camada fina apresenta duas fases distintas:

- a) taxa constante de secagem e
- b) taxa decrescente de secagem.

A fase de taxa constante de secagem de produtos biológicos pode ser observada quando os produtos têm alto conteúdo de água inicial (acima de 70-75%, base úmida-b.u). Normalmente, acima dessa faixa de conteúdo de água, a resistência interna ao transporte de água é muito menor que a resistência externa à remoção de água da superfície. Já a fase de taxa decrescente caracteriza-se pela descontinuidade da camada de água na superfície de evaporação. A resistência interna ao transporte de vapor de água torna-se maior que a resistência externa.

Vários mecanismos físicos têm sido propostos para descrever a transferência de massa (conteúdo de água) em produtos capilares porosos, tais como (Fortes, 1980):

- a) difusão de líquido, em virtude do gradiente de concentração;
- b) difusão de vapor, em virtude do gradiente de pressão;
- c) movimento de água, em virtude das forças capilares;
- d) fluxo de líquido e vapor, em virtude da diferença de pressão total, causada por pressão externa, contração, alta temperatura e capilaridade;
- e) escoamento por efusão, que ocorre quando o caminho livre das moléculas de vapor é da ordem do diâmetro dos poros;
- f) movimento do líquido, em virtude da força gravitacional; e
- g) difusão superficial, praticamente desprezível.

A teoria de difusão líquida tem como modelo matemático a equação de Fick, considerando que o fluxo de umidade no interior do sólido é gerado por um gradiente de concentração. A seguinte equação é válida:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla M), [1/s] \quad (2)$$

em que:

$$\frac{\partial M}{\partial t} - \text{taxa de difusão } [1/s];$$

D – coeficiente de difusão [m<sup>2</sup>/s];

M – conteúdo de água [kg/kg];

∇ - operador Del;

$\nabla$ . - divergente;

em que  $\nabla$  é definido por:

$$\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}.$$

### 2.3.2.1– Equações empíricas de secagem em camada fina

Page, citado por Cavalcanti Mata (1997), estudando a secagem de milho debulhado, em camada fina, propôs uma expressão derivada da equação de Fick (3) para representar o processo de secagem em toda a sua extensão.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = e^{-kt^n}, \quad (3)$$

em que:

$\eta$  - constante empírica, adimensional;

$t$  - tempo de secagem [h];

$k$  - constante de secagem [ $h^{-1}$ ];

$RU$  - razão de umidade;

$U$  - conteúdo de água [% base seca];

$U_e$  - conteúdo de água de equilíbrio [% base seca];

$U_i$  - conteúdo de água inicial [% base seca].

Thompson et al. (1968) propuseram a seguinte equação para secagem de milho, em temperatura de 60 a 149 °C:

$$t = A \ln(RU) + B(\ln(RU))^2, \quad (4)$$

em que,

$t$  - é o tempo de secagem [h];

$A = 1,86178 + 0,00488 T$ ;

$B = 427,3640 \exp(-0,03301 T)$ .

em que,  $T$  - temperatura do ar de secagem [°F].

### 2.3.3 – Secagem em camadas espessas

Van Rest e Isaacs (1968) evidenciaram que, em se tratando de teoria de secagem, o estudo da secagem de grãos, em camadas espessas, fundamenta-se nas características de secagem dos grãos em camadas finas. Desse modo, Hukill (1974), citado por Van Rest e Isaacs (1968), desenvolveram um modelo para secagem em camada espessa, considerando as características de secagem dos grãos em camadas finas.

Segundo Hukill citado por Brooker et al. (1992), as expressões para calcular o teor de umidade dos grãos e a temperatura do ar, durante os processos de secagem em camadas espessas, em função do tempo de secagem e da posição do grão na camada, são dadas a seguir:

$$M = (M_o - M_e) \cdot \frac{e^{c \cdot x}}{e^{c \cdot x} + e^{k \cdot \theta} - 1} + M_e, \quad (5)$$

$$T = (T_o - T_g) \cdot \frac{e^{k \cdot T}}{e^{c \cdot x} + e^{k \cdot \theta} - 1} + T_g, \quad (6)$$

$$c = \frac{k \cdot (M_o - M_e)}{p \cdot (t_o - t_g)}, \quad (7)$$

$$p = \frac{600 \cdot Q \cdot Sa}{W \cdot V}, \quad (8)$$

em que:

$M$  – conteúdo de água do grão no tempo  $\theta$ , na altura  $x$  [% base seca];

$T$  – temperatura do ar no tempo  $\theta$ , na altura  $x$  [° C];

$c$  – constante de resfriamento [m<sup>-1</sup>];

$x$  – altura da espessura da camada [m];

$\theta$  – intervalo de tempo [h];

$k$  – constante de secagem [h<sup>-1</sup>];

$e$  – base dos logaritmos neperianos;



$Q$  – fluxo de massa de ar por unidade de área da seção transversal da massa de grãos, normal ao fluxo de ar [ $\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ];

$S_a$  – calor específico do ar [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$ ];

$W$  – massa específica da matéria seca contida nos grãos [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ];

$V$  – calor latente de vaporização da água contida nos grãos [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ];

$T_g$  – temperatura do ar na saída da massa de grãos, quando este está em equilíbrio higroscópico com o grão [ $^\circ\text{C}$ ];

$T_o$  – temperatura inicial do ar de secagem [ $^\circ\text{C}$ ];

$M_o$  – conteúdo de água inicial do grão [% base seca];

$M_e$  – conteúdo de água de equilíbrio higroscópico do grão [% base seca];

$P$  – constante para determinar condição de secagem [ $\text{m}/\text{mim}\cdot^\circ\text{C}$ ].

Bakker-Arkema et al. (1978) afirmaram que, comumente os secadores convencionais são avaliados em função de sua capacidade horária, sendo que a energia específica raramente é considerada. Informaram que os parâmetros avaliados no campo são: a) dos grãos: tipo de grãos, conteúdo de água inicial e final (% b.u), temperatura inicial e final ( $^\circ\text{C}$ ), conteúdo de água inicial e final da impureza (%), massa específica aparente inicial e final ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), massa do produto úmido (kg) e índices de qualidade; b) do ar: temperatura do ar ambiente ( $^\circ\text{C}$ ), temperatura do ar de secagem ( $^\circ\text{C}$ ) e umidade relativa (%); c) do secador: fluxo de ar ( $\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{t}^{-1}$ ), volume ( $\text{m}^3$ ) ou fluxo de grãos ( $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ), tempo de secagem (h) ou comprimento da coluna de secagem (m), tempo de resfriamento (h) ou comprimento da coluna de resfriamento (m), largura da coluna de secagem (m), pressão estática (mmca), tempo de carga (h) e tempo de descarga, (h); d) de energia: ventilador e transportadores ( $\text{kWh}\cdot\text{lote}^{-1}$ ) ou ( $\text{kWh}\cdot\text{h}^{-1}$ ) e o tipo e quantidade de combustível ( $\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}$  ou  $\text{kJ}\cdot\text{lote}^{-1}$ ); e) do desempenho: duração do teste ou volume de produto úmido (h ou  $\text{m}^3$ ), água removida (% b.u), capacidade de secagem de produto úmido ( $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ), consumo específico de energia para secagem, sem energia elétrica e com energia elétrica ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  de água evaporada).

#### 2.4 Caracterização físico-química de produtos de oleaginosos

As determinações feitas na análise de produtos com alto teor de óleos e gorduras são, geralmente, as dos chamados índices, que são expressões de propriedades físicas ou químicas desses produtos e não as percentagens de seus constituintes. Assim, são determinados o

conteúdo de água, o índice de acidez, índice de saponificação, índice de iodo, índice de peróxido, índice de refração, valor calórico, ponto de solidificação, densidade, pH e colesterol. São estes índices que, juntamente com as reações características, servem para identificação e avaliação da maioria dos óleos, azeites e gorduras (Adolfo Lutz, 1976).

#### **2.4.1 Conteúdo de água**

O conteúdo de água é a quantidade de água não combinada na amostra, pois a existência de uma porcentagem mínima de água, caracteriza-o como um produto de melhor qualidade com maior durabilidade (Vieira, 1994).

Pedroza et al. (1997), objetivando avaliar os efeitos do tipo e do período de armazenagem sobre os teores de óleo e os conteúdos de água, armazenaram sementes de urucum (*Bixa orellana*, L.), em silos de zinco e em sacos de nylon, durante oito meses. Os teores de óleo foram determinados pelo método de Soxhlet da AOAC (1990) e os conteúdos de água pelo método da estufa à  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Os teores de óleo diminuíram com o período de armazenagem tanto para as sementes armazenadas em silos como também para as armazenadas em sacos, e conteúdos de água oscilaram de acordo com as estações do ano, também para os dois tipos de armazenagem.

#### **2.4.2 Índice de saponificação**

O índice de saponificação é definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres, resultantes da hidrólise de uma grama da amostra, é inversamente proporcional ao peso molecular médio dos ácidos graxos dos glicerídeos presentes. É importante, para demonstrar a presença de óleos ou gorduras de alta proporção de ácidos graxos, de baixo peso molecular, em mistura com outros óleos e gorduras (Adolfo Lutz, 1976). Na Tabela 2 pode-se verificar o índice de saponificação de alguns óleos.

**Tabela 2**– Índice de saponificação de óleos e gorduras comestíveis.

<b>Óleos</b>	<b>Índice de saponificação</b>
Coco	256
Oliva	190
Amendoim	156
Algodão	193
Milho	191
Girassol	132
soja	192

Fonte: Araújo (1995)

### 2.4.3 Índice de acidez

A acidez é definida como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres de 1 g da amostra, o índice de acidez revela o estado de conservação do óleo ou azeite. A decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácidos graxos livres (Adolfo Lutz, 1976)

### 2.4.4 Índice de iodo

O índice de iodo (I.I), é a medida da insaturação de óleos e/ou gorduras, expressa em número de gramas de iodo absorvido por 100 g da amostra. Por conseguinte, um índice de iodo elevado significa alto grau de insaturação (Araújo, 1995). Na Tabela 3, pode-se verificar índices de iodo de alguns óleos:

**Tabela 3** – Índice de iodo de óleos e gorduras comestíveis.

<b>Óleos</b>	<b>Índice de iodo</b>
Coco	7-10
Oliva	76-90
Amendoim	84-102
Algodão	99-121
Milho	110-128
Girassol	122-139
soja	125-138

Fonte: Araújo (1995)

Em uma determinada amostra de óleo, faz-se a determinação do índice de iodo, para verificar, se o mesmo é um óleo secante, semi-secante ou não-secante. Na Tabela 4 encontra-se a classificação dos óleos vegetais em função do índice de iodo.

**Tabela 4** - Classificação dos óleos vegetais com relação ao índice de iodo, (mg/100g):

	<b>Secante</b>	<b>Semi-secante</b>	<b>Não-secante</b>
Faixa do Índice de Iodo	130 a 200	$100 < I.I < 130$	<100

Fonte: Araújo (1995)

#### 2.4.5 Índice de peróxido

O índice de peróxido é um indicador muito sensível do estágio inicial da oxidação, e sua presença é indicio de que a deterioração do sabor e odor, em função de sua instabilidade, está por acontecer. Quando a sua concentração atinge certo nível, mudanças complexas ocorrem, formando composto de baixo peso molecular, oriundo de sua degradação. Durante o processo de oxidação, os valores de peróxidos alcançam determinada concentração e, posteriormente, diminuem. Sua degradação é influenciada por diversos fatores, tornando imprevisível sua retenção no óleo, ou na gordura, ou sua conversão em voláteis. Em nível industrial, o índice de peróxido é um indicador comumente utilizado para determinar o fim da vida útil do óleo/gordura. A formação destes é precedida pela degradação química do óleo/gordura, o que indica a presença de elevada concentração de uma mistura de substância complexas e potencialmente tóxicas (aldeídos, peróxidos e compostos cíclicos) (Araújo, 1995).

Durante o armazenamento, as gorduras e os alimentos que contém peróxido tornam-se, às vezes, rançosos. A velocidade com que essa mudança ocorre, depende da natureza do alimento e das condições de armazenamento (Angelucci et al., 1987).

#### 2.4.6 Índice de refração

Os óleos e gorduras possuem poder de refringência diferentes e de acordo com sua natureza, desviam com maior ou menor intensidade os raios luminosos que os atravessam. O índice de refração, tanto para os óleos como para as gorduras, são indicados à temperaturas de

40 °C. O índice de refração de uma gordura aumenta com o comprimento das cadeias hidrogenadas, e aumenta ainda, com o grau de insaturação dos ácidos graxos constituintes dos triglicerídeos (Moretto e Alves, 1986)

O índice de refração de uma substância pura é uma constante, se mantida às condições de temperatura e pressão e, como tal, pode ser usada como meio de identificação. Em análise de alimentos, embora não se trate de substâncias puras no estreito sentido, em certos casos, como o de óleos, gorduras, óleos essenciais e azeites, o índice de refração apresenta variação pequena e é então usado para uma avaliação do produto. O índice de refração da água a 20 °C é 1,3330. A presença de sólidos solúveis na água resulta numa alteração do índice de refração. É possível determinar a quantidade de soluto pelo conhecimento do índice de refração da solução aquosa. Esta propriedade é utilizada para determinar a concentração de sólidos solúveis de soluções de açúcar (Adolfo Lutz, 1976).

#### **2.4.7 Valor calórico**

Segundo Angelucci et al. (1987), caloria é uma medida de energia, que equivale a quantidade de calor necessária para se elevar de um grau centígrado um grama de água (no passado costumava-se definir caloria como a quantidade de calor necessária para se elevar de 14,5 °C para 15,5 °C um grama de água, mas medidas recentes mostraram que de 8 °C a 80 °C, este calor é constante, com uma precisão de 0,2%). Como esta unidade de energia é muito pequena, utiliza-se, na prática, uma unidade mil vezes maior, ou seja, a quilo-caloria, abreviada pelas letras kcal. As calorias podem ser obtidas dos carboidratos (açúcares), das proteínas, das gorduras e do álcool. O teor calórico dos alimentos não tem nada a ver com o seu teor de vitaminas e sais minerais. Uma dieta bem balanceada deve então, considerar a necessidade calórica de cada indivíduo.

O valor energético fornecido pelos nutrientes dos alimentos, segundo determinado por Atwater, é o seguinte:

- 1g de proteína fornece, em média, (4kcal).
- 1g de gordura fornece, em média, (9kcal).
- 1g de carboidratos fornece, em média, (4kcal).

O valor calórico calculado do alimento será a soma das calorias fornecidas por esses nutrientes. Na Tabela 5 são mostradas as quantidades de calorias de determinados óleos e azeites:

**Tabela 5 – Tabela de calorias de azeites e óleos.**

<b>Óleos e Azeites</b>		
<b>PRODUTO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>kcal.</b>
Azeite de dendê	10g	89
Azeite de oliva	10g	90
Óleo de amendoim	10g	90
Óleo de bacaba	10g	90
Óleo de algodão	10g	90
Óleo de coco	10g	135
Óleo de gergelim	10g	90
Óleo de girassol	10g	90
Óleo de milho	10g	90
Óleo de pequi	10g	90
Óleo de soja	10g	90
Óleo de germe de trigo	10g	89

Fonte: Revista Saúde e Vida "on Line" (1996)

#### **2.4.8 Ponto de solidificação**

Define-se ponto de solidificação como sendo o ponto em que os ácidos graxos nos óleos se solidificam, passando do estado líquido para o estado sólido (Instituto Adolfo Lutz, 1976).

#### **2.4.9 Densidade**

A densidade é a relação entre a massa "m" de um líquido e o seu volume unitário "v", a uma determinada temperatura. É um parâmetro importante para compreender o poder de solvatação de uma substância nas diversas fases do solvente (Queiroz, 1993). Esta sofre influência direta da pressão e temperatura, aumenta com o aumento da pressão à temperatura constante, e diminui com o aumento da temperatura à pressão constante.

#### **2.4.10 pH**

Segundo Chitarra e Chitarra (1990), para uma faixa de concentração de ácidos entre 2,5 e 0,5%, o pH aumenta com a redução da acidez. Uma pequena variação nos valores de pH, é detectado nas análises organolépticas.

#### **2.3.11 Colesterol**

Colesterol é um tipo de gordura sintetizada no fígado, necessário ao funcionamento normal do organismo. O colesterol que se tem no sangue, depende da quantidade de gordura saturada existente em alimentos de origem animal (carnes, leite, gema de ovo) ou de origem vegetal (manteiga, óleo de amendoim) que comemos (Ikemori e Moreira, 1998).

Os óleos vegetais não possuem colesterol, mas esteróis (sitosterol, campesterol, brasicasterol), os quais podem ser oxidados durante o aquecimento à temperatura elevada, formando compostos indesejáveis (Araújo, 1995).

### **2.5 Caracterização da qualidade nutricional dos óleos, azeites e gorduras.**

As quatro maiores classes de compostos essenciais à vida são os ácidos nucléicos, as proteínas, os lipídeos e os carboidratos (Angelucci et al. 1987).

#### **2.5.1 Carboidratos**

Principal fonte energética dos alimentos está presente nas frutas frescas e secas, mel, açúcar, cereal (arroz, aveia, cevada e centeio) e vegetal (Rodrigues, 1997).

Nas dietas com alto teor de carboidratos, o organismo procurando manter o nível normal de açúcar do sangue, transforma este último em triglicerídeos. Muitos pesquisadores têm prevenido contra o uso de dietas ricas em carboidratos e de baixo teor de gorduras, porque um forte aumento na ingestão de carboidratos pode causar elevação nos níveis de triglicerídeos no sangue e causar arteriosclerose (Moretto e Alves, 1986).

### 2.5.2 Cinzas

Cinzas em alimentos se referem ao resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica, sem resíduo de carvão. A composição da cinza obtida não corresponde, necessariamente, à soma das substâncias minerais presentes no alimento em si, devido às perdas por volatilização ou mesmo pela interação entre componentes. O perfil da cinza pode ser considerado como medida geral de qualidade e freqüentemente é utilizado como critério na identificação dos alimentos. A cinza contém, geralmente, cálcio, magnésio, ferro, fósforo, chumbo, sódio e outros componentes minerais (Angelucci et al., 1987).

### 2.5.3 Proteínas

As proteínas são fontes de energia e tal como os carboidratos, cada grama de proteína fornece 4 kcal, que, se não forem consumidas pelo organismo, serão convertidas em reserva de gordura do corpo. Os nutricionistas determinaram teores mínimos de proteínas para se ingerir diariamente. Estes teores são da ordem de 10% do valor calórico total. Não existe nenhuma vantagem em se ingerir mais do que se necessita, pois todo o excesso será convertido em gorduras, como já foi explicado (Castro, 1999).

A Tabela 6 contém os teores de proteínas, glicídios, lipídios, cálcio, fósforo e ferro de alguns óleos vegetais.

**Tabela 6** – Teores de proteínas, glicídios, lipídios, cálcio, fósforo e ferro de óleos vegetais.

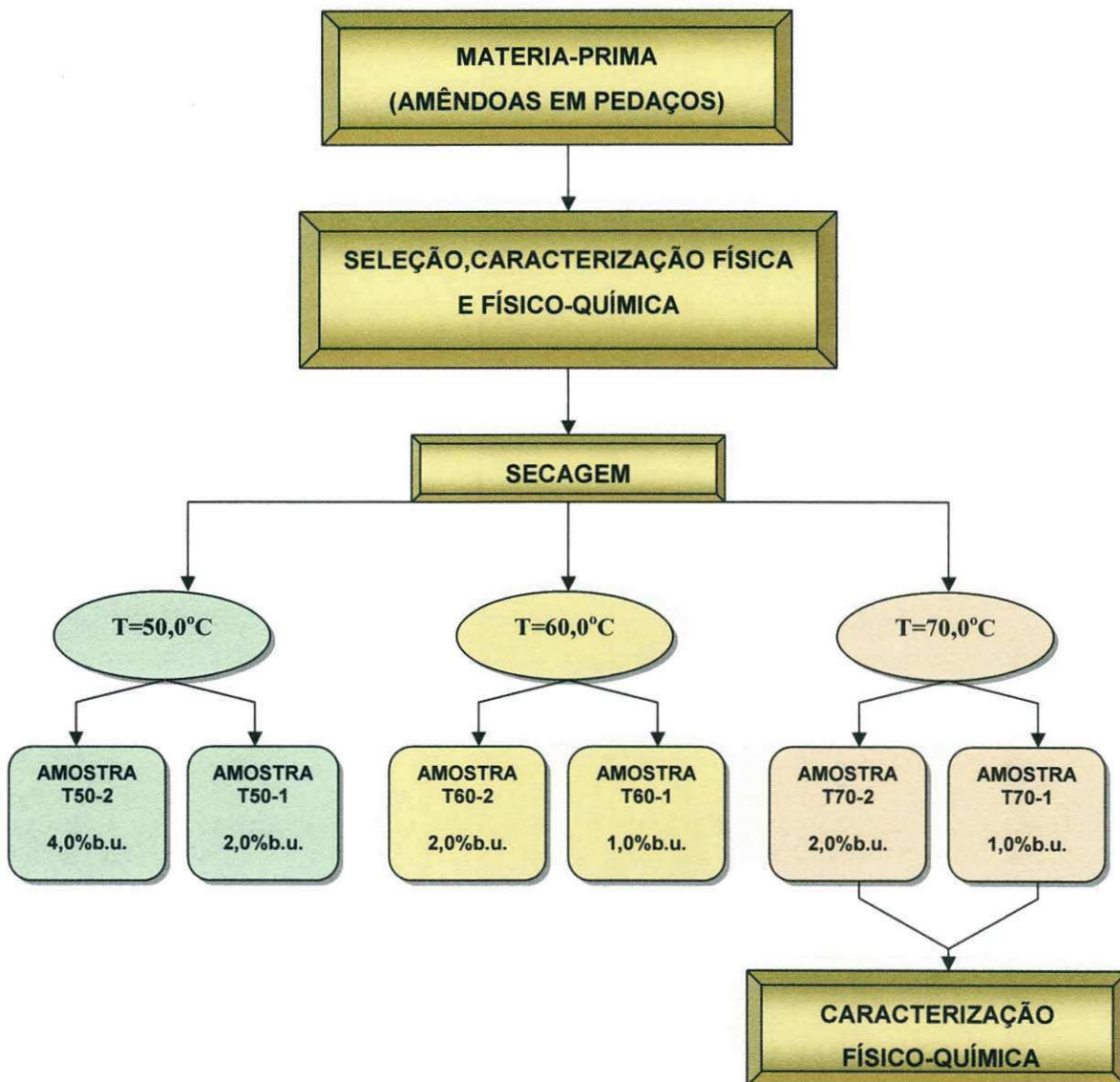
Produto (100 gramas)	Proteínas (g)	Glicídios (g)	Lipídios (g)	Cálcio (mg)	Fósforo (mg)	Ferro (mg)
Óleo de Algodão	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00
Óleo de amendoim	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00
Óleo de bacaba	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00
Óleo de babaçu	0,00	0,00	99	0,00	0,00	0,00
Óleo de dendê	0,00	0,00	98	0,00	0,00	0,00
Óleo de gergilim	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00
Óleo de milho	0,00	0,00	83	0,00	0,00	0,00
Óleo de oliva	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00
Óleo de pequi	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00
Óleo de soja	0,00	0,00	100	0,00	0,00	0,00

Fonte : Castro (1998)



### 3.0 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. Na Figura 2 apresenta-se um fluxograma das etapas executadas nesta pesquisa.



**Figura 2** – Fluxograma de processamento de amêndoas de castanha de caju para obtenção, caracterização e armazenagem de azeite

### 3.1 Matéria-prima, amêndoas de castanha de caju em pedaços

As amêndoas de castanha de caju (em pedaços) foram adquiridas de uma Indústria localizada no município de Fortaleza, estado do Ceará. As amêndoas foram adquiridas brancas, tendo passado apenas pelo processo de cozimento, feito comumente para liberação da casca.

#### 3.1.1 Seleção e caracterização

O material foi selecionado visualmente por amostragem, o material foi caracterizado quanto a (o):

a) massa específica real – relação entre a massa ( $m_1$ ) e o volume (V). Esta determinação foi realizado, individualmente, para uma quantidade razoável (30 pedaços), levando-se em consideração a diversidade de pedaços com tamanhos e formas diferentes.

Volume - foi realizado pelo método do deslocamento de massa de água, com tratamento prévio da amostra contra absorção de água (tratamento com óleo comestível, por exemplo). Este método consiste em procedimentos de pesagem individual da amostra nas seguintes situações:

$m_1$  = pesagem da amostra feita diretamente em balança analítica;

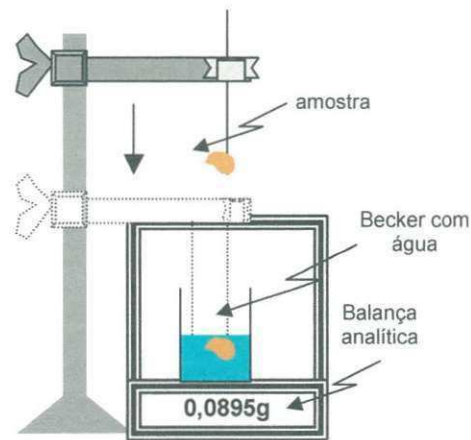
$m_2$  = pesagem de um Becker contendo água em quantidade suficiente para cobrir a amostra sem tocar as paredes do recipiente;

$m_3$  = pesagem do Becker com água + produto submerso e suspenso por uma haste, de forma a provocar, apenas, o deslocamento de massa de água equivalente ao seu volume (Figura 2)

O volume foi dado por:

$$V = \frac{(m_3 - m_2)}{\rho_{H_2O}} \quad (9)$$

em que  $\rho_{H_2O}$  é a massa específica da água e V é o volume da amostra.

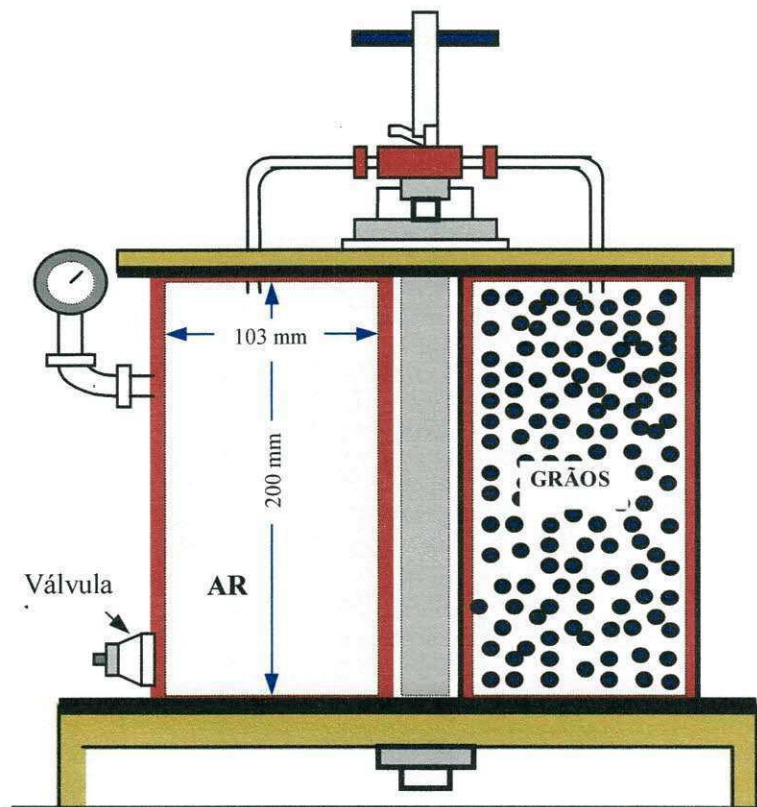


**Figura 3** – Pesagem do Becker + água+ amostra submersa para determinação do volume pelo método do deslocamento de massa de água

- b) massa específica aparente – foi determinada pela relação entre a massa de uma certa quantidade do produto e o seu volume, utilizando-se um recipiente de volume conhecido.
- c) Porosidade aparente – A porosidade (percentagem de espaços vazios intergranulares) de cada amostra foi determinada usando-se um picnômetro de comparação a ar. Esse aparelho é constituído basicamente por cilindros idênticos de volume conhecido, intercomunicáveis através de tubulação acoplada em uma placa de vedação que veda os dois cilindros (Figura 4). Colocam-se sementes em um dos cilindros (nº 2) até seu completo enchimento e com a válvula de intercomunicação fechada coloca-se a placa de vedação sobre os dois cilindros, pressionando-se através de um mecanismo de prensa para que a vedação seja perfeita. Em seguida, com o auxílio de um compressor, aplica-se uma pressão  $P_1$  no cilindro número 1 (vazio). Abre-se em seguida a válvula de intercomunicação e faz-se a leitura da pressão  $P_2$  (Cavalcanti Mata e Duarte, 2003).

Determina-se, então a porosidade pela expressão:

$$P = \frac{(P_1 - P_2)}{P_2} \times 100 \quad (10)$$



Fonte: Cavalcanti Mata e Duarte (2003)

**Figura 4** – Picnômetro de comparação a ar para determinação da porosidade intergranular

- d) conteúdo de água inicial – determinado pelo método padrão de estufa (105°C durante 24 horas) e expresso em base úmida

### 3.2 Caracterização da qualidade nutricional das amêndoas semi-cruas e torradas

#### 3.2.1 Proteínas

O teor de proteínas foi determinado pelo método kjedahl, empregando-se como fator de conversão de nitrogênio o valor de 6,25; com três repetições para cada lote, conforme procedimento da AOAC- Association of Official Analytical Chemists (1990) os resultados foram expressos em porcentagem (gramas de proteínas por 100 gramas de amostra "in natura").

### **3.2.2 Carboidratos**

O teor de carboidratos, com três repetições para cada lote, foi calculado pela diferença:

$\% \text{ carboidratos} = 100 - (\% \text{ proteínas} + \% \text{ lipídios} + \% \text{ cinzas} + \% \text{ umidade} + \% \text{ fibra}).$

### **3.2.3 Fibra bruta**

A determinação do teor de fibra bruta, com três repetições para cada lote, foi realizada utilizando-se o método AOAC - Association of Official Analytical Chemists (1990). Os resultados foram expressos em porcentagem.

### **3.2.4 Lipídios**

O teor de lipídios foi determinado com três repetições para cada lote, utilizando-se o método Soxhlet da AOAC - Association of Official Analytical Chemists (1990), segundo o qual amostras de  $\pm 2,0\text{g}$ , são colocadas em um papel de filtro, no mesmo recipiente utilizado para a extração da gordura. Com o aquecimento e volatilização do éter de petróleo e posterior condensamento e circulação através da amostra ocorrem o carregamento do material que nele se solubiliza. Esse processo foi repetido até que não restasse nenhum material a ser extraído. O éter foi destilado e coletado em outro recipiente, o lipídio remanescente foi pesado e os resultados expressos em porcentagem. O tempo utilizado para extração foi de, aproximadamente, seis horas.

### **3.2.5 Cinzas**

O teor de cinzas foi determinado pelo método da AOAC - Association of Official Analytical Chemists (1990), com três repetições para cada lote. As cinzas residuais foram calculadas pela diferença entre o peso do cadinho, previamente tarado mais o peso da amostra, e o peso com a amostra calcinada. Os resultados foram expressos em porcentagem (g/100g).

### 3.3 Tosta (secagem)

As amêndoas foram divididas em lotes, e secas em secador de bandejas (Figura 5) nas temperaturas de 50, 60 e 70°C:



**Figura 5** – Bandejas contendo amêndoas de castanha de caju

A secagem (tosta) das amêndoas de castanha de caju foi realizada em secador de bandejas o qual utiliza GLP como combustível.

## **4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Caracterização física**

#### **Tamanho**

Pela análise do material adquirido concluiu-se tratar de uma mistura de amêndoas de amêndoas classificadas segundo a literatura como S1 ( Bandas de 1ª), S2 ( Bandas de 2ª) e S3 (Bandas de 3ª), nos percentuais de 41,4; 40,2 e 18,4% respectivamente.

#### **Massa específica real**

A massa específica real das amêndoas de castanha de caju, com 5,08% de umidade, é  $1,0497\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

#### **Porosidade**

A porosidade aparente média das amêndoas, obtidas com 5 repetições, para amostras retiradas aleatoriamente, é 32%.

#### **Massa específica aparente**

A massa específica aparente das amêndoas de castanha de caju, com 5,08% de umidade, é  $0,722\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

### **4.2 Caracterização química da amêndoa de castanha de caju semi-crua e tostada**

Os resultados apresentados na Tabela 7 representam a comparação entre as médias das características físico-químicas da castanha branca (semi-crua) e da castanha torrada à temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$ , por ser esta temperatura, entre as estudadas, a que pode afetar mais acentuadamente as características analisadas.

**Tabela 7 - Caracterização da composição centesimal da amêndoa da castanha de caju semi-crua e tostada**

	<b>Amêndoa Semi-Crua</b>	<b>Amêndoa Tostada</b>	<b>DMS</b>
Teor de água (% b.u.)	5,08 a	1,25 b	0,036
Proteínas (%)	22,11 a	21,76 a	0,607
Carboidratos (%)	23,00 b	25,20 a	1,636
Fibra bruta (%)	1,20 b	1,60 a	0,359
Lipídios (%)	46,21 b	47,76 a	1,265
Cinzas( %)	2,40 a	2,43 a	0,327

As médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de Probabilidade

#### **4.2.1 - Teor de água**

Ao se analisar os teores de água, Tabela 7, obtidos para amêndoas semi-cruas e tostadas, percebe-se o decréscimo em seu teor de umidade o que já era, evidentemente, esperado desde que o processo de tosta não deixa de ser um processo de secagem. A diferença observada foi significativa ao nível de 5% de probabilidade.

A perda de umidade durante a tostagem da castanha é um fato bem relatado e varia de trabalho para trabalho, dependendo do teor de água inicial, tempo de tosta e temperatura de exposição (Cavalcante, 1983; Andrade,1984; Maia et al., 1971; Melo,1989 e Queiroga Neto, 1993)

#### **4.2.2 - Proteínas**

Entre os valores de proteínas das amêndoas semi-cruas e tostadas, Tabela 7, não foram obtidas diferenças significativas. Estes valores de proteínas, tanto em amêndoas semi-cruas como em amêndoas tostadas estão muito próximos aos encontrados na literatura por (Cavalcante, 1983) que foram 22,30% e 20,58% para amêndoas cruas e tostadas, respectivamente e próximos também, dos valores de 21,25% para a castanha crua e 20, 56% para a castanha tostada, encontrados por Andrade ((1984)



#### **4.2.3 - Carboidratos**

O valor do teor de carboidratos aumentou após a tostagem, Tabela 7. Apesar de significativo, este aumento foi bem pequeno, o que pode ter ocorrido é que este valor se manteve estável ou até diminuiu um pouco, porém como ele é obtido em termos percentuais e houve uma diminuição no teor de água, logicamente o teor de carboidratos apresentará um percentual maior em 100 gramas do produto (agora com 3,83% de água a menos).

#### **4.2.4 - Fibra bruta**

Para o teor de fibra bruta, Tabela 7, também observou-se um pequeno decréscimo em relação ao valor da castanha semi-crua, estes fatos também devem retratar a diminuição no conteúdo de água obtido com a tostagem da amêndoa.

#### **4.2.5 - Lipídeos**

O teor de lipídios, Tabela 7, obtido para a amêndoa semi-crua (46,21 %) foi semelhante ao encontrado por Maia et al. (1971), que obtiveram variação de 45,18 % a 47,58 % quando pesquisaram amêndoas de diferentes localidades do Ceará. Este valor foi ainda comparável ao relatado por Melo (1989), que foi de 46,5 %. Entretanto, resultados inferiores (42,25%) foram obtidos por Queiroga Neto (1993). Na amêndoa tostada, a média encontrada foi de 47,76 %. Comparando-se os teores de lipídeos obtidos, para as amêndoas semi-cruas e tostadas, constata-se uma diferença significativa em nível de 5 %. Este resultado era esperado, já que a amêndoa possui um menor teor de água, como verificado para carboidratos e fibras. O trabalho de Cavalcante (1983) relatada diferença superior, 44,52% de lipídios nas amêndoas cruas e 57,20% nas tostadas. Franco (1992) encontrou 37 % para a amêndoa crua e 47,20% para a tostada, enquanto Andrade (1984) encontrou diferença menor 45,30% e 45,71% para a amêndoa crua e tostada, respectivamente. Em relação a base seca, a diferença nos teores de lipídios encontrados não se apresentou significativa. Os valores obtidos foram de 49,04 % para a amêndoa crua e 49,15 % para a tostada

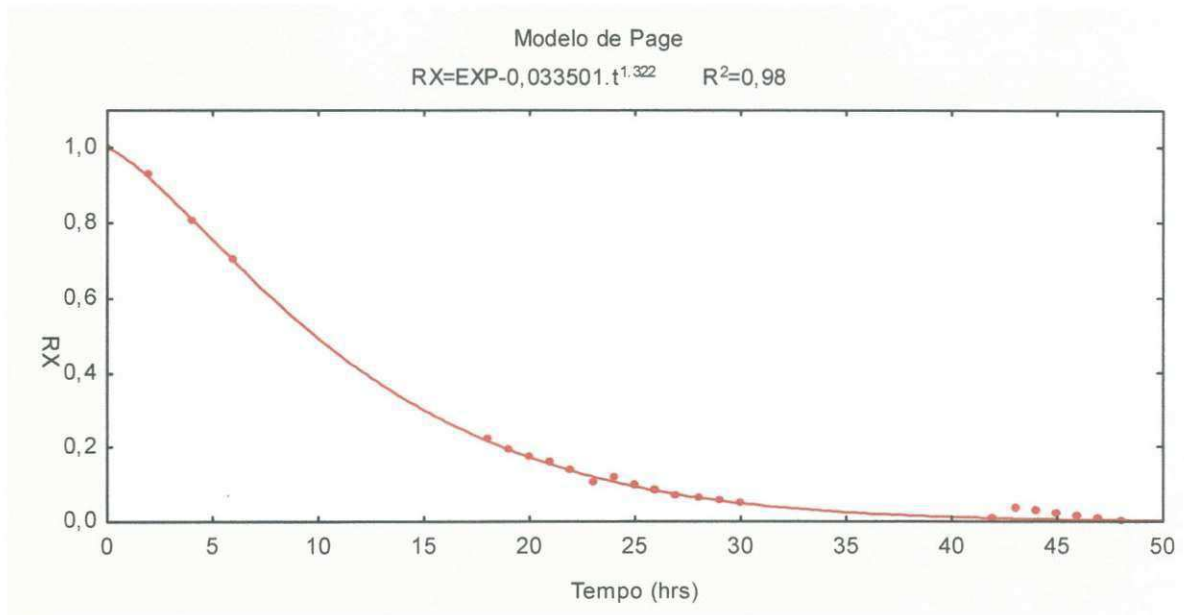
#### 4.2.6 - Cinzas

As médias observadas para teores de cinzas, Tabela 7, das amêndoas de castanha semi-cruas e tostadas foram, respectivamente, 2,40 % e de 2,43 % em base úmida. Estatisticamente, a diferença não é significativa e estes valores são próximos aos encontrados na literatura. Cavalcante (1983) encontrou para amêndoas cruas um teor de cinzas totais de 2,60 %, e um teor 2,30 % para amêndoas tostadas. Melo (1989) verificou valor próximo ao encontrado no presente trabalho para a amêndoa crua, 2,2 %, enquanto que Queiroga Neto (1993) obteve o teor de 2,66 %. Maia et al. (1971) estudando amêndoas de diversas procedências, constataram valores de teores de cinzas entre 2,36% e 2,62 %, e valor médio de 2,43 %.

#### 4.3 Secagem

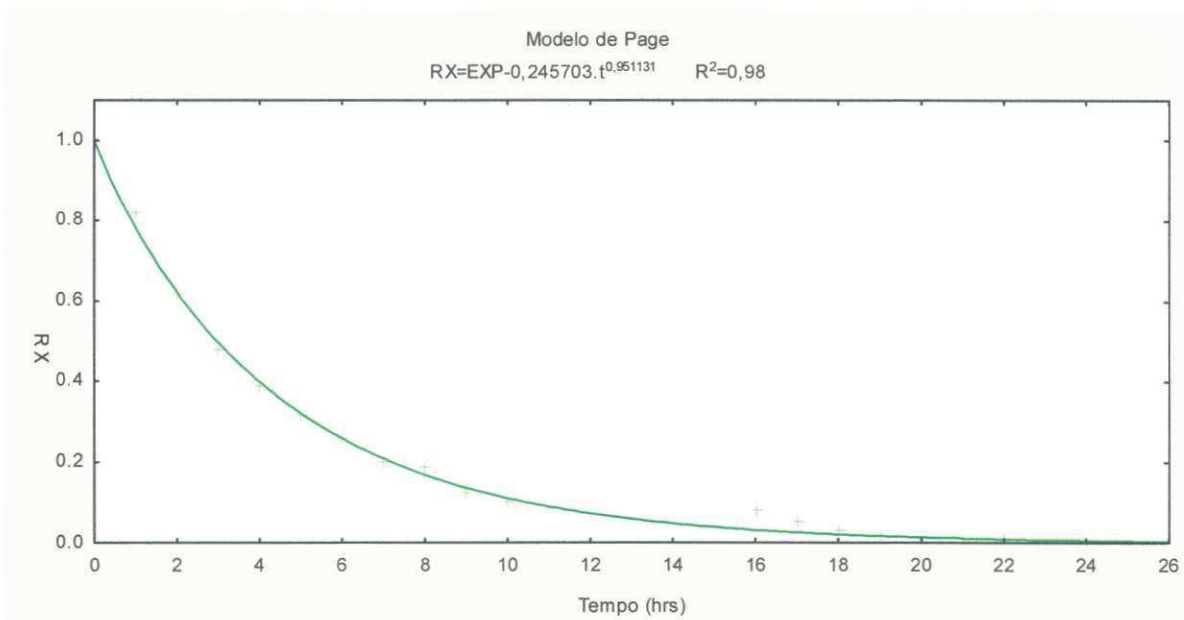
A cinética de secagem às temperaturas de 50, 60 e 70°C, foi analisada conforme Modelo de Page, para estimar seus respectivos parâmetros.

Na Figura 6 encontra-se a curva ajustada conforme o Modelo de Page aos dados experimentais de secagem obtidos à temperatura de 50,0°C. Percebe-se por esta figura que a secagem até os teores de água desejados 4% b.u. (RX = 0,3) e 2% b.u. (RX = 0) foram atingidos aos 15 e 40 minutos, respectivamente.



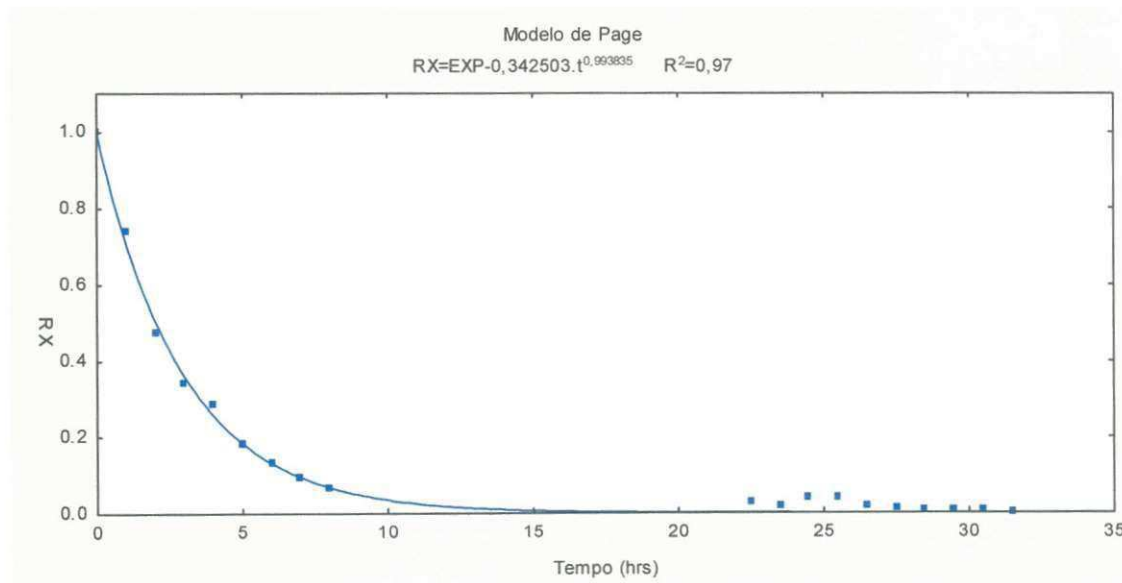
**Figura 6** - Ajuste dos dados experimentais da secagem de amêndoas de castanha de caju em secador de bandejas, à temperatura de 50,0°C, segundo modelo de Page.

A Figura 7 representa a curva ajustada conforme o Modelo de Page aos dados experimentais de secagem obtidos à temperatura de 60,0°C. Percebe-se por esta figura que a secagem até os teores de água de 2% b.u. ( $RX = 0,2$ ) e 1% b.u. ( $RX = 0$ ). foram atingidos aos 8 e 20 minutos, respectivamente.



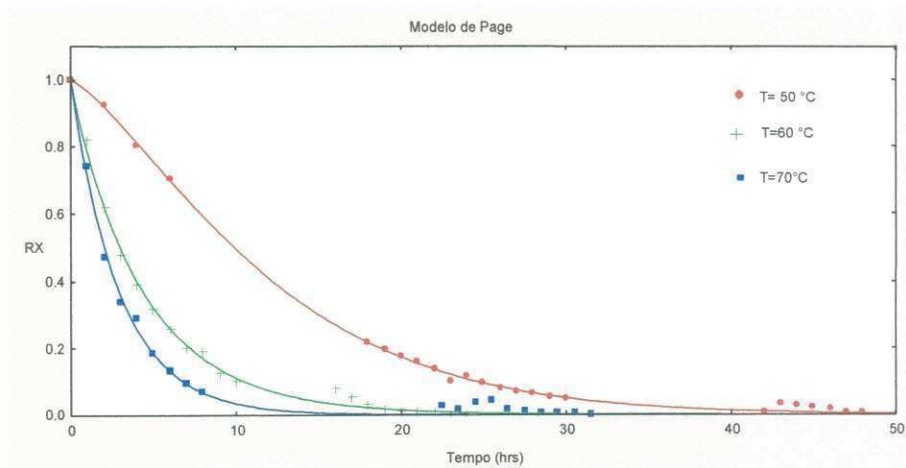
**Figura 7** - Ajuste dos dados experimentais da secagem de amêndoas de castanha de caju em secador de bandejas, à temperatura de 60,0°C, segundo modelo de Page.

Encontra-se representada na Figura 8 a curva ajustada segundo Modelo de Page obtida a partir dos dados experimentais de secagem de amêndoas de castanha de caju à temperatura de 70,0°C. Percebe-se por esta figura que, nesta temperatura, a secagem até os teores de água de 2% b.u. (RX = 0,2) e 1% b.u. (RX = 0) foram atingidos aos 5 e 15 minutos, respectivamente.



**Figura 8** - Ajuste dos dados experimentais da secagem de amêndoas de castanha de caju em secador de bandejas, à temperatura de 70,0°C, segundo modelo de Page.

Na Figura 9 encontram-se os dados experimentais e os dados calculados, segundo a equação de Page, da secagem de amêndoas de castanha de caju, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. Pelo comportamento das curvas e com base nos coeficientes de correlação, os quais estão, todos, acima de 97%, que a Equação de Page representa muito bem os dados experimentais de secagem de amêndoas de castanha de caju.



**Figura 9** - Ajuste dos dados experimentais da secagem de amêndoas de castanha de caju em secador de bandejas, para as três temperaturas, 50, 60 e 70°C, segundo modelo de Page.

Na Tabela 8 encontram-se os coeficientes da equação de Page obtidos por regressão não linear em diferentes temperaturas (50, 60 e 70°C) amêndoas de castanha de caju, Percebe-se por esta tabela que o coeficiente  $k$ , aumenta com o aumento da temperatura e que os coeficientes  $n$ , apresentaram valores próximos de 1. Todos os ajustes foram obtidos com coeficientes de correlação superiores a 99,5%, em todas as temperaturas.

**Tabela 8** – Parâmetros do Modelo de Page estimados para amêndoas de castanha de caju às temperaturas de 50, 60 e 70 °C

Temperatura (°C)	$K (x10^{-2})$	$n$	$R^2$
50,0	3,35	1,322	0,98
60,0	24,57	0,995	0,98
60,0	34,24	0,994	0,97

## 5.0 CONCLUSÕES

1. Quanto a seleção e caracterização do produto concluiu-se que o material analisado é constituído de 41,4; 40,2 e 18,4% de amêndoas do tipo S1, S2 e S3, respectivamente; a massa específica real das amêndoas de castanha de caju, com 5,08% de umidade, é  $1,0497\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ; a porosidade aparente média é 32%; a massa específica aparente é  $0,722\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .
2. A tostagem realizada nas amêndoas de castanha de caju não foram suficientes para causar grandes alterações em sua composição química, apesar das diferenças significativas para os teores de carboidratos, lipídeos e fibra bruta, que ficaram em torno do desvio padrão obtido.
3. A equação de Page representa muito bem os dados experimentais de secagem amêndoas de castanha de caju, com coeficientes de correlação superiores a 97% e o coeficiente K , que representa a difusão de massa aumenta com o aumento da temperatura.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J. S. **Aspectos da industrialização da castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.)**. Fortaleza, 1984. 187p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Ceará.
- ANGELUCCI, E.; CARVALHO, L.R.; CARVALHO, N.R.P.; FIGUEIREDO, B.I.; MANTOVANI, B.M.D.; MORAES, M.R. **Análise química de alimento: Manual Técnico**. Campinas, SP. 1987, 123p.
- AOAC-Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 15.ed. Arlington, 1990. 684p.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e prática**; Viçosa : U.F.V. Imprensa Universitária, 1995, 335p.
- Bakker-Arkema, F.W.; Lerew, L. E.; De Boer, S. F.; Roth, M. G. **Grain dryer simulation**. Michigan, ARS-USDA, 1974; 80p. (Research Report n. 224).
- BARROS, L. M.; et al., **Recomendações técnicas para a cultura do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1993. 65p. (EMBRAPA-CNPAT - Circular Técnica, 1).
- Brooker, D. B.; Bakker-Arkema, F. W.; Hall, C. W. **Drying and storage of grains and Oilseeds**. New York: AVI, 1992. 450p.
- CACEX - Carteira do Comércio Exterior/Banco do Brasil S.A. - Tipos exportáveis de amêndoas de castanha de caju. CACEX/BB/Departamento Geral de Exportação. 3p. (s.n), mimeografado.
- CASIMIRO, A R. S.; et al., **Avaliação de leveduras industriais na fermentação do suco de caju - II; Aspectos cinéticos**. In: Simpósio Ibero-Americano de Engenharia de Alimentos, 1., Campinas, SP. **Anais...** Campinas: SIEA/UNICAMP, 1995.
- CASTRO, A. A. **Extração, caracterização físico - química, nutricional e viscosidade do azeite de coco babaçu (*Orbignya spp*)**. 1999. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.
- CASTRO, A. L. S. **Desenvolvimento de um protótipo de secador por microondas**. 1994. 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1994.
- CAVALCANTE, J. F. M. **Une contribution a l'etude de la valeur nutritive de la noix de cajou (*Anacardium occidentale* L.) an Bresil**. Bélgica, 1983. 61p. Dissertação (Mestrado em Sciences Naturelles Appliquees), Universite Catholique de Louvain,
- CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Efeito da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo em camada estacionária, sobre a armazenagem de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*L.) variedade "carioca"**. Campinas. Universidade Estadual de Campinas. 1997. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p. 83-97, 2003.

CHITARRA, M.I.F; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras : ESAL/FAEPE, 1990. 293p.

FAO/WHO - Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Proposed draft standard for cashew kernels. Rome: Codex Alimentarius Commission, 1983. 8p. (mimeografado).

FAO/OMS/UNU. Necessidades de energia y de proteínas. Ginebra: Organization Mundial de la Salud Mundial, 1985. 65p. (Informe Técnico).

FORTES, M. ; OKOS, M. R. Drying theories: Their bases and advances in drying. **Science press**, USA, p.59-67, 1983.

FRANCO, G. **Nutrição: texto básico e tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. São Paulo: Atheneu, 1992. 307p.

HOLANDA, L. F. F. **Castanha de caju (*Anacardium occidentale*, L.): processo mecânico de extração da amêndoa**. 1988. 216 f. Tese (Professor Titular) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, CCA, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1988.

HUKILL, W. V. Drying of grain. In: CHRISTEN, C. M.(ed). **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul, Minn: American Society of Cereal Chemists, 1974, cap.13, p.481-508.

IKEMORI, E.A; MOREIRA, A.P.R.F. **Controle dos níveis de colesterol**. Fundação Antônio Prudente. Disponível em dezembro de 1998.<<http://www.hcanc.org.br/colest1.htm>>

INSTITUTO Adolfo Lutz. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 2ª ed, São Paulo, 1976, 371p.

JONHSON D.V. **O caju do Nordeste no Brasil – Um estudo geográfico**, Tradução de José Alexandre Robatto Orrico, Fortaleza : BNB, 1974 134p.

LOPES NETO, A. **A agroindústria do caju no nordeste do Brasil e em outros grandes países produtores**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1981. 472p.

MELO, M. S. O. N. **Antioxidantes naturais da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.R.), da castanha do caju (*Anacardium occidentale*, L.) e do fruto do dendezeiro (*Elaeis guineensis*, Jacq)**. São Paulo, 1989. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos alimentos), Universidade de São Paulo.

METAXAS, A. C.; MEREDITH, R. J. **Industrial microwave heating**. United Kingdon: Peter Peregrinus Ltda, 1988. 105p.

MACHADO, J.C.V. **Reologia, viscometria e escoamento**. SEREC/CEN/NOR. 1996, 86p.



MAIA, G. A HOLANDA, L.F.F., MARTINS, C. B. Características químicas e físicas da castanha de caju (*Anacardium occidentale*, L.). **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.1, n.1, p.39 -46, jul.,1971.

MEDINA.J.C Goiaba. Cultura. In: **Série frutas tropicais**, 6 São Paulo: Secretária de Agricultura e Abastecimento- ITAL,1988. p.1-120.

MORETTO, E.; ALVES, R.F. **Óleos e gorduras vegetais, processamento e análises**. Florianópolis : Ed. UFSC, 1986. 179p.

PEIXOTO, D. O. **Elaboração de um creme de amêndoas de castanha de caju e otimização do tempo de tostagem da amêndoa**. 2003. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003

QUEIROZ, F. **Estudo da cinética de extração do óleo essencial de capim – limão com dióxido de carbono líquido**. 1993. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas 1993.

TELLES, P.R.S. Industrialização do pseudofruto e da castanha. In: LIMA, V.P.M.S. (Org) **Cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil/Escritório de Estudos Econômicos do Nordeste, 1988, cap.13, p.357-401. (Estudos Econômicos e Sociais, 35).

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, Mich, v.11, n.4, p.582 – 586. 1968.

VAN REST, D. J.; ISAACS, G. W. Exposed layer drying rater of grain. **Trasactions of the ASAE**, St. Joseph, v.11, n.2, p.236 – 237 e 239, mar/apr., 1968.

VIEIRA, F.F. **Análise de óleos vegetais**. U.E.P.B. Campina Grande, 1994, p.7. (Apostila).