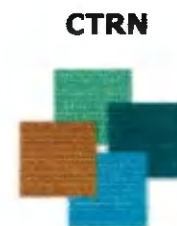




UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola

*Área de Armazenamento e Processamento  
de Produtos Agrícolas*



*Dissertação Apresentada pela Área de Concentração em  
Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas*



*Secagem e liofilização de manga: características  
físico-químicas e sensoriais.*

POR:

*Nicole Gualberto Agra*

ORIENTADORES :

*Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte*

*Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata*

*Nicole Gualberto Agra*

*Secagem e liofilização de manga: características físico-químicas e sensoriais.*

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

**CAMPINA GRANDE-PB**  
Junho/2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A277s Agra, Nicole Gualberto  
2006 Secagem e liofilização de manga: características físico-químicos e sensoriais/  
Nicole Gualberto Agra. — Campina Grande, 2006.  
135f.: il.

Referencias.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agricola ) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Maria Elita Martins Duarte e Mario Eduardo Rangel Moreira  
Cavalcanti Mata.

1— Manga – Secagem 2— Manga - Processamento 3 — Manga – Liofilização I  
— Título

CDU 634.441:531.364.7

**DIGITALIZAÇÃO:**  
**SISTEMOTECA - UFCG**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CTR  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

NICOLE GUALBERTO AGRA

SECAGEM E LIOFILIZAÇÃO DE MANGA: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-  
QUÍMICAS E SENSORIAIS

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Maria Elita Martins Duarte  
Dra. Maria Elita Martins Duarte-Orientadora

APROVADO

Mário Eduardo R.M. Cavalcanti Mata  
Dr. Mário Eduardo R.M. Cavalcanti Mata-Orientador

APROVADO

Alexandre José de Melo Queiroz  
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz-Examinador

APROVADO

Gabriel Francisco da Silva  
Dr. Gabriel Francisco da Silva-Examinador

APROVADO

JUNHO - 2006

*A Deus,  
e a meus pais, Feliciano Agra e Iana Lúcia,  
ao meu filho Samuel,  
às minhas irmãs Nadine e Constance  
grandes incentivadores, mestres no ensinamento da vida.*

DEDICO

## *Agradecimentos*

*A Deus, por ter me proporcionado condições para conseguir alcançar meu ideal, dando-me força para vencer tantos obstáculos.*

*Aos meus pais Feliciano Agra e Iana Lúcia, irmãs Nadine e Constance, cunhado Luciano Albino, pelo incentivo e carinho. À minha irmã Nadine Agra, pela acolhida durante este trabalho.*

*A todos os professores do curso que não mediram esforços para transmitir seus conhecimentos, em especial à Prof.<sup>a</sup> Maria Elita Duarte Braga, pela orientação, amizade, atenção e dedicação.*

*Aos professores José Tarsísio, Tereza Maria, Artur Andrade, pela atenção, sugestões e colaborações nas análises realizadas.*

*Às amigas e companheiras de trabalho Sânia Mara, Deyzi Gouveia, por toda a ajuda e companheirismo durante o trabalho.*

*À amiga Luciana Marques por toda ajuda e conhecimentos passados no início do trabalho.*

*A Vitória Lima, pela ajuda.*

*A Cândido José Ferreira Neto, pela ajuda nas análises.*

*A Rivanilda, por toda atenção e ajuda durante todo o curso.*

*A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho e que pela falta de espaço, não puderam ser citados.*

## SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| <b>LISTA DE FIGURAS</b>   | vii  |
| <b>LISTA DE TABELAS</b>   | ix   |
| <b>RESUMO</b>   | xii  |
| <b>ABSTRACT</b>   | xiii |
| <b>1- INTRODUÇÃO</b>  | 1    |
| 1.1 Objetivos geral .....   | 2    |
| 1.1.1 Objetivos específicos .....                                 | 2    |
| <b>2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                                   | 3    |
| 2.1- Descrição botânica.....                                      | 3    |
| 2.2- Matéria-prima.....   | 4    |
| 2.3- Variedades.....  | 5    |
| 2.4- Composição da manga.....                                     | 6    |
| 2.5- Características físico-químicas.....                         | 7    |
| 2.5.1- ° Brix .....   | 7    |
| 2.5.2- Vitaminas (Ácido ascórbico) .....                          | 8    |
| 2.5.3- Açúcares redutores e não-redutores.....                    | 9    |
| 2.5.4- pH.....  | 10   |
| 2.5.5- Acidez titulável.....                                      | 10   |
| 2.5.6- Teor de água.....  | 11   |
| Minerais .....  | 11   |
| Sólidos totais.....   | 11   |
| Cinzas .....  | 11   |
| 2.6- Industrialização da manga .....                              | 12   |
| 2.7- Métodos de conservação de alimentos.....                     | 13   |
| 2.7.1- Conservação pelo uso da radiação.....                      | 13   |
| 2.7.2- Conservação pelo uso do frio.....                          | 15   |
| 2.7.2.1- Refrigeração .....                                       | 16   |
| 2.7.2.2- Congelamento .....                                       | 19   |
| 2.7.3- Conservação pelo uso do calor.....                         | 27   |
| 2.7.4- Secagem .....  | 31   |
| 2.8- Teor de umidade de equilíbrio.....                           | 41   |
| 2.9- Liofilização.....  | 41   |
| 2.9.1- Fundamentos físicos da liofilização .....                  | 43   |
| 2.9.2- Velocidade da transferência de calor.....                  | 45   |
| 2.9.3- Velocidade da transferência de massa.....                  | 46   |
| 2.9.4- O liofilizador.....  | 47   |
| 2.9.5- Tipos de liofilizadores.....                               | 48   |
| 2.9.6- Efeito da liofilização sobre os alimentos.....             | 49   |
| 2.9.7- Vantagens e desvantagens do processo de liofilização ..... | 51   |
| 2.9.8- Parâmetros que influenciam o processo.....                 | 53   |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.10 Características sensoriais.....       | 53        |
| 2.10.1- Aparência e cor.....               | 54        |
| 2.10.2- Sabor .....                        | 55        |
| 2.10.3- Aroma .....                        | 56        |
| <b>3- MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....        | <b>57</b> |
| 3.1- Matéria - prima.....                  | 57        |
| 3.2- Congelamento da manga.....            | 59        |
| 3.3- Liofilização .....                    | 60        |
| 3.4- Secagem convencional.....             | 61        |
| 3.5- Embalagem do produto final.....       | 64        |
| 3.6- Caracterização físico-química.....    | 65        |
| 3.7- Análise microbiológica .....          | 67        |
| 3.8- Análise sensorial.....                | 67        |
| 3.9- Análise estatística .....             | 68        |
| <b>4- RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....     | <b>71</b> |
| 4.1- Caracterização físico-química.....    | 71        |
| 4.2- Análise microbiológica.....           | 80        |
| 4.3- Cinética de congelamento.....         | 83        |
| 4.4- Secagem .....                         | 87        |
| 4.4.1- Equação de Cavalcanti Mata.....     | 87        |
| 4.4.2- Equação de Page.....                | 88        |
| 4.4.3- Equação de Thompson .....           | 90        |
| 4.5- Análise sensorial.....                | 91        |
| <b>5- CONCLUSÕES</b> .....                 | <b>94</b> |
| <b>6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> ..... | <b>96</b> |
| <b>7- ANEXOS</b> .....                     |           |
| <b>ANEXO A</b> .....                       | 104       |
| <b>ANEXO B</b> .....                       | 105       |
| <b>ANEXO C</b> .....                       | 110       |



## LISTA DE FIGURAS

| <b>FIGURA</b> |   | <b>PÁGINA</b> |
|---------------|---|---------------|
| Figura 1      | Esquema de refrigeração   | 18            |
| Figura 2      | Fluxos das correntes de ar  | 40            |
| Figura 3      | Ponto triplo das substâncias  | 43            |
| Figura 4      | Representação do sistema de um liofilizador   | 44            |
| Figura 5      | Transferência de calor e vapor durante a liofilização   | 45            |
| Figura 6      | Sistema de liofilização   | 48            |
| Figura 7      | Estrutura porosa dos alimentos liofilizados   | 50            |
| Figura 8      | Fluxograma dos processos da manga liofilizada e manga-passa   | 58            |
| Figura 9      | Corte da manga  | 59            |
| Figura 10     | Liofilizador usado neste trabalho   | 60            |
| Figura 11     | Bandeja de liofilização com a manga já congelada  | 60            |
| Figura 12     | Secador de bandeja Polidryer PD 25, para desidratação de frutas   | 62            |
| Figura 13     | Modelo de formulário utilizado para análise dos atributos sensoriais da manga liofilizada   | 69            |
| Figura 14     | Modelo de formulário utilizado para análise dos atributos sensoriais da manga - passa   | 70            |
| Figura 15     | Mapa da estabilidade em função da atividade de água   | 73            |
| Figura 16     | Placa de petri com contagem de bolores e leveduras da amostra da manga liofilizada  | 82            |
| Figura 17     | Curva de congelamento dos quadros experimentais e calculados da manga, obtidas por regressão não linear à temperatura de $-24^{\circ}\text{C}$ .                            | 83            |
| Figura 18     | Curva de congelamento dos quadros experimentais e calculados da manga, obtidas por regressão não linear à temperatura de $-41^{\circ}\text{C}$ .                            | 84            |
| Figura 19     | Curva de congelamento dos quadros experimentais e calculados da manga, obtidas por regressão não linear à temperatura de $-100^{\circ}\text{C}$ .                           | 85            |
| Figura 20     | Curva de congelamento dos quadros experimentais e calculados da manga, obtidas por regressão não linear à temperatura de $-196^{\circ}\text{C}$ .                           | 86            |
| Figura 21     | Curva de secagem dos quadros experimentais e calculados da manga, pela equação de Cavalcanti Mata, obtidas por regressão não linear à temperatura de $55^{\circ}\text{C}$ . | 88            |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 22 | Curva de secagem dos quadros experimentais e calculados da manga, pela equação de Page, obtidas por regressão não linear à temperatura de 55° C.     | 89 |
| Figura 23 | Curva de secagem dos quadros experimentais e calculados da manga, pela equação de Thompson, obtidas por regressão não linear à temperatura de 55° C. | 90 |
| Figura 24 | Manga liofilizada  | 91 |
| Figura 25 | Manga-passa  | 91 |
| Figura 26 | Perfil sensorial da manga liofilizada elaborada a partir da manga a -24° C e da manga-passa obtida em secador de bandeja a 55° C.                    | 92 |
| Figura 27 | Gráfico da intenção de compra das mangas liofilizada e passa.  | 93 |

## LISTA DE TABELAS

| TABELAS   |   | PÁGINA |
|-----------|---|--------|
| Tabela 1  | Comparação entre o congelamento por nitrogênio líquido e frio mecânico (VICENT <i>et al</i> , 1994)   | 22     |
| Tabela 2  | Equações testadas para representar a secagem da manga à temperatura de 55° C.   | 64     |
| Tabela 3  | Valores médios das características físico-químicas da manga “in natura”   | 71     |
| Tabela 4  | Valores médios das características físico-químicas da manga liofilizada   | 72     |
| Tabela 5  | Valores médios das características físico-químicas da manga-passa.  | 72     |
| Tabela 6  | Análise de variância das características físico-químicas da manga   | 74     |
| Tabela 7  | Comparação entre os valores dos açúcares redutores da manga “in natura” e após cada processamento.  | 74     |
| Tabela 8  | Comparação entre os valores dos açúcares não-redutores da manga “in natura” e após cada processamento.  | 75     |
| Tabela 9  | Comparação entre os valores dos açúcares totais da manga “in natura” e após cada processamento.   | 76     |
| Tabela 10 | Comparação entre os valores da acidez da manga “in natura” e após cada processamento.   | 77     |
| Tabela 11 | Comparação entre os valores do teor de água da manga “in natura” e após cada processamento.   | 77     |
| Tabela 12 | Comparação entre os valores do pH da manga “in natura” e após cada processamento.   | 78     |
| Tabela 13 | Comparação entre os valores dos sólidos solúveis da manga “in natura” e após cada processamento.  | 79     |
| Tabela 14 | Comparação entre os valores da atividade de água da manga “in natura” e após cada processamento.  | 79     |
| Tabela 15 | Comparação entre os valores de cinzas da manga “in natura” e após cada processamento.   | 80     |
| Tabela 16 | Valores médios das determinações microbiológicas da manga liofilizada e manga-passa.  | 80     |
| Tabela 17 | Valores médios das determinações microbiológicas da manga liofilizada e manga-passa após 8 meses de armazenamento   | 81     |
| Tabela 18 | Coefficiente de difusão e difusividade efetiva média da manga nos três estágios de congelamento, quando a manga é submetida ao congelamento a -24, -41, -100 e -196° C. | 87     |
| Tabela 19 | Coefficiente da equação de Cavalcanti Mata, obtido por regressão não linear em secagem da manga a 55° C.  | 88     |
| Tabela 20 | Coefficiente da equação de Page, obtido por regressão não linear em secagem da manga a 55° C.   | 89     |
| Tabela 21 | Coefficiente da equação de Thompson, obtido por regressão não linear em secagem da manga a 55° C.   | 90     |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Tabela 22 | Média de 30 valores atribuídos pelos provadores para os atributos sensoriais para a manga liofilizada e para manga-passa. | 91  |
| Tabela 1a | Valores das Razões de Umidade e Temperatura para secagem da manda Haden “in natura” à temperatura de 55° C                | 104 |
| Tabela 2a | Valores das Razões de Temperatura e Temperatura para o congelamento da manda Haden “in natura” à temperatura de -24°C     | 105 |
| Tabela 2b | Valores das Razões de Temperatura e Temperatura para o congelamento da manda Haden “in natura” à temperatura de -41°C     | 106 |
| Tabela 2c | Valores das Razões de Temperatura e Temperatura para o congelamento da manda Haden “in natura” à temperatura de -100°C    | 107 |
| Tabela 2d | Valores das Razões de Temperatura e Temperatura para o congelamento da manda Haden “in natura” à temperatura de -196°C    | 109 |
| Tabela 3a | Resultado da análise sensorial da manga liofilizada e manga-passa.  | 110 |

## RESUMO

Mangas cortadas em palito foram submetidas a dois tipos diferentes de secagem: um a frio (liofilização), com temperatura de congelamento de  $-24^{\circ}\text{C}$ ; e outro a quente, secagem convencional, a  $55^{\circ}\text{C}$ , em secador de bandejas a gás Polidryer PD-25 e analisadas as suas características físico-químicas (açúcares redutores, totais e não redutores, acidez, teor de água, pH, atividade de água ( $28^{\circ}\text{C}$ ), cinzas, sólidos totais e sólidos solúveis) em cada um dos processamentos e na manga “in natura”; microbiológicas (bolores, leveduras, estafilococos e coliformes fecais) e sensoriais (aparência, cor, aroma e sabor) das fritas seca. As equações propostas por Cavalcanti Mata, Page e Thompson foram usadas para ajustar os dados de secagem da manga-passa através computacional Statistica 7.0 usando análises de regressão não linear com método numérico de Rosenbrock Quase Newton. Para a avaliação sensorial usou-se o programa computacional ASSISTAT 7.3 Beta por análise de variância, segundo tratamento fatorial. O delineamento experimental empregado para a caracterização físico-química da manga em cada processamento foi o inteiramente casualizado com 03 tratamentos e com três repetições (T1 - “in natura”, T2 – após liofilização, T3 – após secagem a  $55^{\circ}\text{C}$ ). Os valores que mostraram diferença significativa de médias foram complementados com o teste de Tukey, ao nível de 5% ( $p = 0,05$ ) ou de 1% ( $p = 0,01$ ) de probabilidade. Tendo em vista os resultados obtidos pode-se concluir quanto à *caracterização físico-química* que todas as análises foram significativas ao nível de 1%. Os teores de açúcares redutores, totais e não-redutores e acidez foram maiores na manga liofilizada, quanto ao pH, cinzas não houve diferença significativa entre os dois produtos e o Brix ficou maior na manga-passa, nas análises *microbiológicas*, as mangas encontram-se dentro dos padrões estabelecidos para consumo apresentando  $1 \times 10^3$  UFC/g para bolores e leveduras e ausência para coliformes e estafilococos, para a manga liofilizada e ausência de bolores e leveduras, coliforme e estafilococos para a manga-passa. Com relação aos *atributos sensoriais*, a melhor aparência foi da manga liofilizada e cor, sabor e aroma, da manga-passa, com uma média sete, que corresponde a “gostei ligeiramente” na escala hedônica, enquanto a manga liofilizada, teve uma média seis, correspondente a “gostei regularmente”. Para as *curvas de secagem* a equação que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem da manga foi a proposta por Cavalcanti Mata com  $R^2 = 99,83\%$  em média

**PALAVRAS CHAVES:** liofilização, processamento, manga.

## ABSTRACT

Mangoes sliced up into sticks underwent two different drying methods: one of which (lyophilization), was under a freezing temperature of 24° C; the other one was the hot, conventional drying method, under 55° C, into a gas dryer Polidryer PD-25, disposed in trays. Their physical-chemical characteristics (reducing sugars, total sugars and not-reducing sugars, acidity, water text, pH, activity of water (28° C), leached ashes, total solids and soluble solids) were analyzed in each one of these processings and also in the mango “in natura”; the microbiological (moulds, leavenings, staphylococci, and fecal coliforme); and the sensorial ones (appearance, color, aroma and taste) of the dry fried mangoes. The equations proposed by Cavalcanti Mata, Page and Thompson were used to adjust the data of the drying of dried mangoes by means of 7.0 computer Statistica, by using non-linear regression analyses with the Rosenbrock-Quase-Newton numeric method. The sensorial evaluation was carried out by means of the ASSISTAT 7.3 Beta computer program, applying a variance analysis, according to a factorial treatment. The experimental delineation used for the physical-chemical characterization of the mango in each of the processings was entirely performed with 03 treatments and with three repetitions (T1 – “in natura”, T2 – after lyophilization, T3 – after drying under 55° C). The values that showed a significant average difference were complemented with the Tukey test, at a 5% level ( $p = 0,05$ ) or at 1% ( $p = 0,01$ ) probability. Considering the results obtained we concluded that, considering the *physical-chemical characteristics*, that all the analyses were significant at a 1% level. The quantities of the reducing sugars, of total sugars and not-reducing sugars and the acidity were higher in the lyophilized mango; as regards the pH and the leached ashes there was no noticeable difference between the two products and the Brix was higher in the dried mango. The *microbiological* analyses certify that the mangoes are well within the pre-established standards for consume, presenting  $1 \times 10^3$  UFC/g of moulds and leavenings in the lyophilized mango and the absence of coliformes and staphylococci in the dried mango. As regards the sensorial characteristics, the lyophilized mango had a better appearance whereas the dried mango had a better color, taste and aroma, with a ste average corresponding to “I slightly liked it” in the hedonic scale, whereas the lyophilized mango reached a 6 average, which corresponds to “I liked it more or less”. As to the *drying curves* the equation that best suited the experimental data of the drying of mangoes was that proposed by Cavalcanti Mata with a  $R^2 - 99, 83\%$  average.

KEY WORDS: lyophilization; mango; processing.

## 1 – INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica*, L.) da família *Anacardiaceae* é uma das frutas tropicais mais procuradas no mundo, originária do Sul da Ásia, destaca-se pelo sabor e aroma agradáveis, junto ao seu valor nutritivo, tais como vitaminas A, B e C, dentre outros. O interesse por esta fruta não está somente na produção para o consumo “in natura”, mas também para fins de industrialização em polpas, sucos, sorvetes, chicletes, compotas, geléias e derivados (SIQUEIRA et al., 1988).

A manga é uma fruta de alto valor comercial em muitas regiões do mundo, principalmente as tropicais. Segundo Pelegrine, citado por RIBEIRO (2004), a manga brasileira, apesar da modesta atuação no mercado internacional de fruta “in natura”, tem recebido incentivos empresariais com tecnologia de produção mais adequadas, devido à importância econômica alcançada nos últimos anos, tanto no mercado interno quanto no externo.

Cortez, citado por RIBEIRO (2004), afirma que apesar da importância da fruticultura para o país, existe uma grande necessidade de tecnologias pós-colheita capazes de minimizar as perdas. Frutas que apresentam potencial para a exportação como caju, manga, mamão, abacaxi, têm perdas pós-colheita que chegam a mais de 50 % de que é produzido.

O interesse pela cultura de manga atualmente, não está apenas voltado à produção de frutas para consumo “in natura”, mas, sobretudo para fins de industrialização em polpas, sucos, sorvetes, compotas, geléias e derivados (SIMÕES, 1997).

Segundo GURGEL *et al.* (1989) apesar da produção de manga ser muito grande no Brasil, são poucos os trabalhos realizados com relação à industrialização deste fruto.

A desidratação é um dos métodos mais antigos na preservação de frutas, de modo geral, é realizada por um processo que retira grande parte ou quase a totalidade de água livre da fruta, tornando possível limitar ou evitar o crescimento de microrganismos ou outras reações de ordem química, facilitando o transporte e armazenamento a um custo relativamente baixo, porém, pode provocar algumas perdas de vitaminas, sais minerais, de textura e modificação da cor e odor.

A retirada da água livre da fruta pode ser realizada por meio de calor (secagem convencional) ou do frio (liofilização), tendo como resultado, produtos diferentes, mas

ambos com um baixo teor de água, possibilitando uma vida de prateleira bem prolongada para o produto.

Sendo um dos processos mais antigos conhecidos pelo homem, a secagem em muitos casos não requer a ajuda do homem e apresenta várias vantagens, como conservação, concentração dos nutrientes, baixo custo, dentre outros.

A secagem convencional é realizada pelo calor produzido artificialmente em condições de temperatura, umidade e corrente de ar cuidadosamente controlados. Liofilização ou crio secagem (“freeze-drying”) é um processo de desidratação de produtos em condições de pressão e temperatura tais que a água, previamente congelada, passa do estado sólido diretamente para o estado gasoso, ou seja, ocorre uma sublimação (GAVA,1998).

Este método de desidratação tem como objetivo preservar a qualidade do produto. Um fator proeminente é a estrutura rígida proporcionada pelo congelamento da superfície do material onde ocorre a sublimação (LIAPIS *et al.*, 1985).

Algumas das vantagens de se utilizar a liofilização comparada ao processo convencional de secagem é, além da aparência do produto, a maior conservação de seus nutrientes, e como desvantagem, tem o custo, pois é um processo caro, comparado ao convencional.

## 1.1. Objetivo geral

Diante desses fatos, esta pesquisa experimental teve como objetivo:

Comparar os produtos obtidos a partir da manga Haden, por dois processos de secagem: liofilização e secagem convencional.

### 1.1.1. Objetivos específicos:

- Cinética de congelamento da manga em 4 temperaturas (-24, -41, -100 e -196°C).

Como parâmetros de comparação para os dois produtos obtidos (manga liofilizada e manga –passa) foram realizadas as seguintes análises:

- Características físico-químicas;
- Análises microbiológicas.
- Características sensoriais, análise de intenção de compra e preferência;



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Considera-se a manga entre as três mais importantes frutas tropicais do mundo, após a banana, e o abacaxi. Seu fino aroma, sua atrativa coloração e seu valor nutritivo tornaram-na favorita do homem desde épocas imemoriais (TODA FRUTA, 2004).

De fato, a mangueira é de suma importância às populações de todos os países tropicais onde é cultivada, ocupando uma posição tão ou mais importante entre as fruteiras tropicais do que as fruteiras de clima temperado (MEDINA *et al.*, 1981).

A manga tem uma grande diversidade de usos, destacando-se dentre eles, o seu consumo “in natura”, pode ser em estado verde, meio maduro ou completamente madura; cozida e adoçada pode ser usada no preparo de doces, conservas, pastas e geléias; sozinha ou acompanhada de outras frutas, no preparo de purês, néctares, refrescos e nevados (IBRAF, 2004).

Segundo MEDINA *et al* (1981), mangas verdes são usadas no preparo de “amchur” (fatias secas ao sol), “chutney” (pasta condimentada), pickles, confeito, geléias e conserva, enquanto mangas maduras são utilizadas na elaboração de polpas, geléias, fatias para enlatados, manga seca e flocos de cereais.

O interesse pela cultura de manga atualmente, não está apenas voltado à produção de frutas para consumo “in natura”, mas, sobretudo para fins de industrialização em polpas, sucos, sorvetes, compotas, geléias e derivados (SIMÕES, 1997).

A manga tem propriedades medicinais como laxativa, diurética e revigorante (TODA FRUTA, 2004).

### 2.1. Descrição botânica

A mangueira pertence ao Reino vegetal, Ramo Phanerogamae, Sub-Ramo Angiosperme, Classe Dicotiledone, Ordem Sapindales, Família Ananardiace, Gênero *Mangifera* e a espécie cultivada é a *indica* (MANICA, 1981).

A mangueira consiste de 64 gêneros, principalmente árvores e arbustos, vegeta anualmente e estas são as responsáveis pela frutificação (SIMÃO, 1971).

Mallik citado por MANICA (1981), diz que flores não polinizadas produzem um quarto de frutos em relação a flores polinizadas e concluem que um agente externo é necessário para transferir o pólen.

De acordo com Silva citado por SÃO JOSÉ *et al.* (1996), o caule é tipo tronco, lignificado, com uma casca rugosa bastante espessa, fissurada longitudinalmente, apresentando coloração variando do cinza escuro ao preto.

As folhas apresentam forma e tamanhos variados, simples, penadas, lanceoladas, oblongo-lanceadas, acuminadas, com base cuneada, margens lisa ou levemente onduladas. A consistência é coreácea ou às vezes membranácea, coloração verde escuro nas folhas maduras e arroxeadas ou bronzeadas nas folhas novas em desenvolvimento (SÃO JOSÉ *et al.*, 1996).

A mangueira apresenta-se com um tipo de fruto denominado drupa carnosa, achatado lateralmente, com variações conforme o tipo do tamanho, forma, coloração, presença de fibras, aroma e sabor. Sua massa varia entre 300 e 600g, sendo possível encontrar frutos de 1000g (AZEVEDO, 1999).

As formas mais comuns são: arredondadas, ovaladas, cordiforme e elíptica.

## 2.2. Matéria-prima

A propagação da mangueira se faz através do processo vegetativo, isto é, da enxertia das variedades comerciais sobre portas-enxerto obtidos a partir de sementes (ALBUQUERQUE *et al.*, 1992).

De acordo com Bleinroth, citado por SILVA (1985), a manga é um fruto que apresenta uma alta taxa de respiração durante o seu processo de maturação. A intensidade respiratória varia de uma variedade para outra e está relacionada também com a temperatura ambiente.

O tempo que o fruto leva para amadurecer é determinado pelo estágio fisiológico pré-climatérico, sendo as mudanças físicas, fisiológicas e bioquímicas iniciadas no estado climatérico (CHAPLIN, 1984).

O climatérico é um estágio crítico e marcado pelo elevado pico de atividade respiratório chamado pico de climatério. Os frutos neste período alcançam a sua plena maturidade e sendo colhidos neste estágio, amadurecem satisfatoriamente com desenvolvimento normal da relação açúcar/acidez e com seu sabor típico (MANICA, 1981).

Para Malo citado por MANICA (1981), a “Tommy Atkins” são as mangas de boa produção, boa duração da casca e qualidade para a comercialização, com o inconveniente de ter aumentado um pouco o teor de fibras. A “Tommy Atkins” é um cultivar

monoembriônico, com bom vigor. Fruto médio a grande, com 380 a 720g, de cor bonita, atrativa, com polpa de excelente sabor, pouca fibra, casca espessa, com grande duração, de cor amarela a vermelho brilhante.

Os frutos destinados ao processamento de polpas são selecionados baseando-se na obtenção da menor carga microbiana possível, bem como no atendimento às expectativas das propriedades sensoriais de cor, sabor e aroma do produto (SIMÕES, 1997).

### 2.3. Variedades de manga

Desde remotos tempos, a manga é conhecida e cultivada pelos povos da Índia e Malásia. As variedades existentes são numerosíssimas, como é o caso de fruteiras e plantas antigas.

Há, no mundo, umas 500 variedades de mangueiras, produzindo mangas de muitos tamanhos, formatos, cores e sabor. As menores pesam cerca de 150g, enquanto as maiores alcançam ou ultrapassam 1 quilo. No Brasil, há dezenas de variedades (PIMENTEL, 1983).

Serão citadas algumas dessas variedades:

- Bourbon

Fruto de tamanho médio, forma oblongo-alongada, formando quase um S, pesando 250 a 350g; casca grossa, lisa, de cor esverdeada; polpa muito sucosa, com fibras longas e moles; cor amarela pálida.

- Carlota

Fruto pequeno de forma ovalada, pesando de 150 a 200g; casca fina, de cor esverdeada amarela. Descasca facilmente. Polpa de cor amarelo-pálida a amarelo-ouro, macia a firme, muito doce, com agradável aroma, moderadamente sucosa, quase sem fibras.

- Espada

Fruto de tamanho médio, de forma oblongo-alongada, pesando 200 a 250g; casca grossa, lisa, de cor verde-amarelada; polpa amarelo-ovo, muito fibrosa, dura, sabor doce levemente terebentinoso, muito apreciado, tendo contra si as fibras grossas e ásperas.

- Extrema

Fruto médio a grande, de forma ovalada e achatada na base e no ápice, pesando de 250 a 400g; casca fina, lisa de cor amarela clara, com pontuações verdes; polpa de cor amarela alaranjada muito intensa, sem fibras, de sabor agradável.

- Família

Fruto grande de forma oblongo-arredondada, pesando de 750 a 1.120g; casca com lenticelas brancas, lisa, fina, verde-amarelada; polpa firme, levemente acidulada, aromática, de bom sabor, com fibras moles, de cor amarela.

## 2.4. Composição da manga

Nutrição se refere ao processo de utilização dos alimentos pelo corpo. Inclui a digestão de alimentos adequados; digestão dos alimentos para que o corpo possa utilizar os nutrientes; absorção dos nutrientes na circulação sanguínea; uso dos nutrientes individualmente pelas células e a egestão (eliminação) de resíduos não aproveitados (CAMARGO *et al*, 1986).

Segundo Escudero, citado por EVANGELISTA (1992), os nutrientes se definem: “são substâncias cuja ausência no regime ou diminuição abaixo do limite mínimo, produz no fim de certo tempo, enfermidade carencial”.

São nutrientes os protédeos, glicídeos, lipídios, minerais, vitaminas, água, oxigênio e fibra.

Segundo Singh citado por MAIA *et al.* (1998a), a manga tem uma excelente composição, variando com os seguintes constituintes: água, carboidratos, ácidos, proteínas, lipídios, minerais, pigmentos, taninos, vitaminas e substâncias voláteis que formam coletivamente o “flavor”. No entanto, água e carboidratos constituem os principais componentes, com exceção dos lipídios e proteínas, os demais constituintes contribuem significativamente para o valor nutricional do fruto.

De acordo com SIQUIERA (1998), Rubens Descartes, um estudioso da manga, examinou mais de mil análises feitas no mundo todo, e cita as seguintes composições químicas da polpa:

|                |                 |
|----------------|-----------------|
| Água           | 84,80 a 77,70 % |
| Sólidos totais | 15,20 a 23,30 % |
| Proteínas      | 0,32 a 1,12 %   |

|                      |                |
|----------------------|----------------|
| Matérias graxas      | 0,08 a 0,53 %  |
| Açúcar invertido     | 1,72 a 6,40 %  |
| Sacarose             | 6,34 a 16,40 % |
| Ácido (como cítrico) | 0,27 a 1,50 %  |
| Fibras               | 0,97 a 4,40 %  |
| Cinzas               | 0,25 a 0,53 %  |

A composição química da manga tem relação com as condições da cultura, variedade, estágio de maturação, etc., variando muitas vezes com estas condições, mas, em geral, a fruta fresca possui um alto teor de sólidos solúveis totais e o conteúdo de açúcar é alto, comparando com o de outras frutas (MEDINA, 1981).

Segundo CHITARRA (1998), os compostos químicos responsáveis pelo sabor do fruto são açúcares, ácidos orgânicos e compostos fenólicos.

Nas frutas frescas os sólidos totais são mais altos, os açúcares variam de acordo com a variedade, mas em todas, a sacarose é o principal açúcar presente. Muitas variedades têm mais proteínas que as frutas comuns, há bastante tanino (RADOMILLE *et al*, 1991).

À medida que o fruto vai crescendo aumenta proporcionalmente o teor de amido, mas quando ela completa o seu desenvolvimento fisiológico inicia-se a sua redução, com a transformação em açúcares. As percentagens de açúcares e amido variam muito de uma variedade para outra. Os açúcares constituem a maior quantidade de sólidos solúveis na manga madura. No início da maturação, a maioria dos açúcares é de redutores, mas as frutas completamente maduras contêm mais açúcares não-redutores (na forma de sacarose) do que redutores (BRAVERMAN, 1980).

## 2.5. Características físico-químicas

### 2.5.1. °Brix

Segundo CARVALHO *et al.* (1990), o °Brix é a percentagem, em gramas, de sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou na polpa. No caso de frutas, esses sólidos aquo-solúveis são constituídos por: açúcare (65 a 85% dos sólidos dissolvidos), ácidos orgânicos, sais minerais, vitamina C e do complexo B dentre outras substâncias.

Segundo CARVALHO *et al* (1990), a determinação do brix pode ser feita por aparelhos de leitura direta (refratômetro) ou indireta (densímetro de brix).

### 2.5.2. Vitaminas (Ácido ascórbico)

Vitaminas são compostos químicos de natureza orgânica que ocorrem em quantidades mínimas nos alimentos e que são necessárias para a vida e o crescimento (CAMARGO *et al*, 1986).

As vitaminas são substâncias variadas, muitas delas já conhecidas em sua composição química, as quais, introduzidas no organismo em pequenas quantidades, desempenham importante papel na manutenção da saúde, no crescimento, na defesa contra infecções, na nutrição (BALBACH, s/a.).

As vitaminas podem ser parcialmente ou totalmente destruídas, não só quimicamente por reações por compostos oxidantes e redutores, mas ainda por contaminação enzimática, com inevitáveis perdas de valor nutritivo do alimento, fato que pode ser diminuído, ou mesmo evitado, por condições adequadas de processamento (BRASIL & GUIMARÃES, 1998).

A aceleração dos processos enzimáticos favorece a mudança de cor das frutas, a transformação dos ácidos e do amido em açúcar favorece a formação de aldeídos e ésteres que vão dar à fruta o aroma, mas vai favorecer também os processos oxidantes, sobretudo a destruição do ácido ascórbico (LEDERER, 1991).

Gofur, citado por COELHO (2000), relata que em seu estado inicial de desenvolvimento, a manga apresenta um bom teor de ácido ascórbico, decrescendo rapidamente logo após a constituição da fruta.

A manga é uma fruta rica em caroteno, que lhe dá a coloração amarela quando madura. A quantidade de carotenóide aumenta progressivamente, sendo que o  $\beta$ -caroteno é encontrado em maior proporção, 37% na fruta verde e 50% na fruta madura. O  $\beta$ -caroteno é o precursor da vitamina A, encontrado em quantidade variável dependendo da variedade da manga, região onde é cultivada, práticas culturais e estágio de maturação com que a fruta é colhida (MEDINA, 1981).

A vitamina C é a que mais se altera durante o armazenamento, pelo menos em temperatura ambiente, pois sua degradação vai depender do tempo e da temperatura do armazenamento. A oxidação da vitamina C faz-se tanto à custa do oxigênio do ar, quanto do oxigênio contido em pequenas quantidades nas células.

Na manga, o ácido ascórbico apresenta resultados inversos ao da vitamina A, isto é, tende a decrescer com a maturação da manga (MEDINA, 1981).

O conteúdo de vitamina C das frutas varia de acordo com as condições nas quais foram cultivados e com as condições sob as quais foram armazenados (KRAUSE & MAHAN, 1991).

### 2.5.3. Açúcares redutores e não-redutores

Segundo Singh citado por SILVA (1985), na composição química da manga são encontradas elevadas concentrações de carboidratos. De acordo com os seus constituintes e funções, podem ser classificados em açúcares simples, amido e celulose.

Os carboidratos, que também se acham em elevadas proporções na composição da manga, são formados por amido, açúcares, celulose, pectina e tanino (MEDINA, 1981).

Quantitativamente, a mudança mais importante associada à maturação das frutas é a degradação dos carboidratos poliméricos, frequentemente ocorre a quase total conversão do amido em açúcares.

De acordo com SÃO JOSÉ *et al.* (1996), os valores referentes aos teores de açúcares redutores e totais crescem gradualmente, observando-se uma pequena queda durante a maturação fisiológica, no entanto, os açúcares não-redutores permanecem mais ou menos constantes durante o amadurecimento da manga.

As percentagens de amido e açúcares variam muito de uma variedade para outra. Os açúcares constituem a maior quantidade de sólidos solúveis na manga madura. No início da maturação, a maioria dos açúcares é de redutores, mas as frutas completamente maduras contêm mais açúcares não-redutores (na forma de sacarose) do que redutores (MEDINA, 1981).

Kader citado por BLEINROTH (1988), afirma que as frutas tropicais possuem teores de carboidratos variando entre 10 a 25% de seus pesos frescos, sendo que os principais são: açúcares (sacarose, glicose e frutose) e os polissacarídeos (celulose, amido e pectina).

As frutas sofrem alterações metabólicas provocadas por transformações químicas, provocando mudanças de sabor, em virtude do aumento de açúcares pela transformação de amido em glicose, frutose e sacarose (BRAVERMAN, 1985).

De acordo com CHITARRA & CHITARRA (1990), os principais açúcares solúveis presentes nos frutos são a glicose e frutose (açúcares redutores) e a sacarose (açúcares não-redutores).

#### 2.5.4. pH

Leitão citado por GUIMARÃES (2000), afirma que o pH é uma característica intrínseca do alimento, de fundamental importância na limitação dos tipos microrganismos capazes de se desenvolver e na maior ou menor facilidade de conservação.

A concentração de íons hidrogênio (pH) de um alimento é importante pela influência que exerce sobre tipos de microrganismos aptos à sua multiplicação e, portanto, sobre as alterações que logicamente deveriam produzir (GAVA, 1998).

Para a industrialização de frutas é interessante que seu pH seja inferior a 4,3, pois confere aos produtos industrializados maior resistência aos microrganismos patogênicos. Durante a maturação dos frutos de manga, há um crescimento do seu pH (GAVA, 1998).

#### 2.5.5. Acidez titulável

De acordo com Chitarra & Chitarra, citado por ARAÚJO (2000), a acidez é usualmente calculada com base no principal ácido presente, expressando-se o resultado como percentagem de acidez titulável e nunca da total, devido aos componentes ácidos voláteis que não são detectados.

Os métodos que avaliam a acidez resumem-se em titular a solução padronizada de álcali a acidez do alimento, empregando a fenolftaleína como indicador do ponto final da titulação (CARVALHO *et al.*, 1990).

A determinação da acidez total em alimentos pode fornecer dados valiosos no processamento e na conservação do alimento.

Segundo Soler, citado por GUIMARÃES (2000), o teor de acidez tende a aumentar com o decorrer do crescimento da fruta, até o seu completo desenvolvimento fisiológico, quando então começa a decrescer, à medida que vai amadurecendo.

As mangas verdes, fisiologicamente desenvolvidas, de variedades para pickles, contêm os seguintes ácidos: málico e cítrico em maior quantidade e os demais, como oxálico, succínico, oxalacético, dentre outros, em proporções muito pequenas (MEDINA, 1981).

A acidez total da fruta, que é expressa em ácido cítrico ou málico, demonstra que as frutas verdes possuem uma acidez que varia de 0,67 até 3,36% e as maduras de 0,17 a 0,56% (MEDINA, 1981).



### 2.5.6. Teor de água

Os frutos são alimentos que apresentam elevado teor de água, e por isso, estão sujeitos a sofrerem inúmeras alterações, já que a água (solvente universal de todos os sistemas biológicos) é o principal veículo para o processamento de alterações de natureza química e bioquímica dos alimentos (BRASIL & GUIMARÃES, 1998).

### 2.5.7. Minerais

São substâncias inorgânicas. Nos alimentos e no corpo estão combinados na forma de sais. Os macrominerais essenciais são: cálcio, fósforo, potássio, enxofre, cloro, sódio, magnésio e ferro. As microminerais essenciais são: manganês, cobre, iodo, flúor, zinco, molibdênio, selênio, cobalto e crômio (GUIMARÃES *et al*, 1986).

Os sais minerais acham-se presentes na manga em quantidades que variam de 0,26 a 1,16%, ou, em média, 0,49%. Os sais minerais são constituídos principalmente de cálcio, magnésio, potássio, silício, fósforo e ferro. O cálcio constitui 0,1%, o potássio 0,06% e o ferro 0,3 mg/g de polpa (MEDINA, 1981).

### 2.5.8. Sólidos Totais

Segundo BOBBIO & BOBBIO (1992a), sólidos totais são todas as matérias secas do produto, ou seja, o que sobra quando se tira a água do mesmo.

De acordo com Krishnamurthy *et al*, citado por BLEINROTH *et al* (1976), os teores de sólidos totais da polpa da manga permanecem constantes em todos os estádios de maturação.

### 2.5.9. Cinzas

As cinzas em alimentos se referem se ao resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica, sem resíduo de carvão. As cinzas são consideradas como medida geral de qualidade e frequentemente são utilizadas como critério na identificação dos alimentos (BOBBIO & BOBBIO 1992a).

De acordo com Seelig, citado por MEDINA( 1981), a manga contém em 100g de polpa: 81,7g de água, 66 unidades calóricas, 0,4g de matéria graxa, 16,8g de carboidratos,

incluindo 0,9g de fibras 0,7g de proteína, 0,4g de cinzas, 10mg de cálcio, 13mg de fósforo, 0,4mg de ferro, 7mg de sódio, 189 mg de potássio, 18mg de magnésio, 4.800 U.I. de vitamina A, 0,05 mg de tiamina, 0,05mg de riboflavina, 1,1 mg de niantina e 35 mg de vitamina C.

## 2.6. Industrialização da Manga

O processamento de um alimento tem por finalidade básica a conservação da qualidade deste alimento, sendo importante lembrar que nenhum processo de conservação pode melhorar a qualidade de um alimento, podendo, no máximo, manter suas características originais.

Segundo GURGEL *et al.* (1989) apesar da produção de manga ser muito grande no Brasil, são poucos os trabalhos realizados com relação à industrialização deste fruto.

De acordo com SILVA (1985), a manga apresenta, em média, um rendimento de 55% em seu processamento.

Além de minimizar os prejuízos com as perdas decorrentes da comercialização do produto “in natura”, o processamento de frutas é uma atividade agroindustrial de relevante importância na medida em que se agrega valor econômico a fruta (CABRAL & FURTADO, 1996).

O tamanho e a forma são de extrema importância no processamento de frutas, pois facilitam os cortes, o descascamento e até o projeto de determinados equipamentos depende desses parâmetros.

Segundo PIMENTEL (1983), o Brasil, bem como em outros países, produzem grande quantidade de manga, a qual é consumida como fruta fresca. As tentativas de processamento nem sempre são bem sucedidas, por algumas razões: a matéria-prima não é uniforme; dificuldade de transporte, amadurecimento e conservação antes do processamento; safra curta, não justificando uma instalação industrial específica para manga.

A manga em calda é o mais importante produto que se pode obter de manga, portanto o mais aceito no mercado internacional. Para a sua elaboração, faz-se necessário à escolha de matérias-primas da mais alta qualidade (PIMENTEL, 1983)

Para CABRAL & FURTADO (1996), a polpa é o produto obtido pelo esmagamento da parte comestível de fruta por processos tecnológicos adequados. O purê

ou polpa de fruta é o produto processado que via-de-regra, visa substituir “in natura” a fruta na sua falta.

O néctar de manga é um dos mais importantes provenientes de frutas tropicais. Seu consumo e sua aceitação são consideráveis em todo o mundo, sendo a Índia o maior produtor mundial (PIMETEL, 1985)

Segundo MAIA (1998d), o termo “néctar de frutas” é usado na indústria para designar a mistura de suco e polpa de frutas misturados com açúcar, que pode conter colorante artificial, aromatizante e ácido cítrico, para produzir um produto pronto para o consumo.

O suco de manga é outro produto de bastante aceitação. É classificado de acordo com sua classificação como : suco integral, suco concentrado ou suco desidratado.

O produto obtido da polpa da manga à qual se fez adição de açúcar e ácido, com posterior evaporação por aquecimento leva o nome de “mangada ou massa de manga”. É um produto de venda limitada no Brasil, tendo como principais concorrentes a goiabada e a marmelada.

As mangas verdes caídas das mangueiras são fatiadas e secadas ao sol. O “amchur” como é chamado, é bastante usado na Índia, substituindo o tamarindo e preparações culinárias (PIMETEL, 1985).

Segundo PIMETEL (1985), há ainda três importantes produtos oriundos da manga, para os indianos. São ele os pickles, o “chutney” e as conservas. Podem ser feitos de mangas recém-cortadas ou de fatias conservadas com sal para posterior processamento desse produto.

O “chutney” é um produto pastoso ou semifluido preparado de vários ingredientes como frutas e vegetais e condimentos diversos. Um bom “chutney” de manga deve ter paladar aceitável e aroma e sabor agradáveis (PIMETEL, 1985).

## **2.7. Métodos de conservação de alimentos**

### **2.7.1. Conservação pelo uso da radiação**

A utilização da conservação por radiação oferece um método de esterilização fria, pelo qual, podem-se conservar os alimentos sem perder suas características naturais.

As radiações ionizantes usadas nos estudos de irradiação de alimentos são: gama, X, beta e elétrons acelerados. Os raios gama e X são radiações eletromagnéticas de idêntica

natureza, porém, diferentes quanto à origem. Enquanto a radiação gama tem como origem um núcleo estável, a X é originada de elétrons orbitais, que acelerados atingem uma placa metálica gerando o raio X. Da mesma forma, a radiação beta é constituída de um fluxo de elétrons provenientes e os elétrons acelerados são obtidos por captação e aceleração de elétrons orbitais (CAMARGO et al, 1986).

A energia absorvida pelo alimento irradiado é medida em ergs. A unidade absorvida é rad (Radiation Absorbed Dose), que equivalente a 100 ergs por grama de alimento.

Segundo CAMARGO et al (1986), os tratamentos utilizados na irradiação de alimentos podem ser divididos em três classes principais:

- Radurização – usa doses pequenas (de 5 a 100 krad) a fim de impedir o brotamento (batata, alho, cebola), retardar o período de maturação e deterioração de frutas e hortaliças, controlar os insetos que infestam grãos (trigo, feijão, etc.), frutas e hortaliças.
- Radicidação ou radio pasteurização – usa doses intermediarias (100 a 1000 krad) com o fim de pasteurizar sucos de frutas, retardar a deterioração de peixes, controlar a presença de Salmonella.
- Radapasteurização – também chamada de esterilização comercial, com doses elevadas (de 4,5 a 5,6 Mrad) na esterilização de carnes em geral.

Dentre estes, os tratamentos de batata e trigo já são usados comercialmente, e os demais, são realizados apenas estudos.

### **Vantagens da radiação dos alimentos**

- Os alimentos não são submetidos à ação do calor, portanto, suas características organolépticas não se alteram;
- Permite o tratamento de alimentos envasados;
- Os alimentos podem ser conservados com pouca manipulação e sem aditivos químicos.

### **Desvantagens da radiação dos alimentos**

A maior desvantagem desse tipo de conservação é o alto custo, mas citaremos mais algumas:

- Eventuais perdas do valor nutritivo;
- A possibilidade que alguns microrganismos desenvolvem resistência à radiação;
- A resistência do consumidor quanto ao consumo de alimentos irradiados, por medo dos efeitos da radiação induzida.

As doses de irradiação empregadas, em pouca intensidade, não exercem efeito algum sobre a digestibilidade das proteínas. Doses mais elevadas provocam a hidrólise dos grupos sulfídricos e aminoácidos sulfurados das proteínas, o que provoca queda no aroma e sabor dos alimentos. Os carboidratos também são hidrolisados e oxidados a compostos mais simples (CAMARGO *et al*, 1986).

As vitaminas são geralmente, sensíveis às radiações ionizantes, nos alimentos, a desnutrição destes nutrientes é da mesma ordem da desnutrição causada por processo térmico BOBBIO ( BOBBIO & BOBBIO, 1992a).

Os carboidratos também sofrem efeitos com a irradiação. Esta produz quebras moleculares no amido. As soluções de pectina são tão degradadas quanto os amidos.

As enzimas podem ser inativadas pelo efeito direto ou indireto das radiações ionizantes. São mais resistentes aos efeitos das radiações nos substrato naturais que em soluções puras (DESROSIER, 1981)

### **2.7.2. Conservação pelo uso do frio**

As altas e baixas temperaturas, isto é, o calor e o frio, constituem a base de vários processos de conservação de alimentos e produtos alimentícios, com o propósito de manter, o mais alto grau de qualidade possível.

É de extrema importância entender, primeiramente, a diferença entre calor e frio, pois estes se distinguem perfeitamente entre si. Segundo EVANGELISTA (1992), o calor se irradia de um corpo para outro, ao passo que o frio não se desprende ou irradia, justamente porque não é uma propriedade, e sim ausência de calor. Apoiado neste princípio, verificamos que os processos de conservação por baixas temperaturas se realizam por extração de calor.

Sabemos que o alimento contém um número variável de bactérias, leveduras e mofos que poderão provocar alterações, dependendo de condições adequadas de crescimento. Cada microrganismo presente possui uma temperatura ótima de crescimento e uma temperatura mínima, abaixo da qual não pode multiplicar-se. Na medida em que a

temperatura vai descendo, o ritmo de crescimento também diminui, sendo mínimo na temperatura de crescimento mínimo. As temperaturas mais frias podem inibir o crescimento microbiano, porém a atividade metabólica continua, ainda que lentamente, até certo limite. Portanto, o decréscimo da temperatura dos alimentos produz efeitos nos microrganismos presentes. Sabe-se que certos microrganismos conseguem crescer, mesmo que um ritmo bem lento, em temperatura abaixo de 0° C. O congelamento, além de impedir que a maior parte da água presente seja aproveitada devido à formação de gelo, aumentará a concentração das substâncias dissolvidas na água e não congelada (EVANGELISTA, 1992).

Na refrigeração, a temperatura da câmara onde se encontra os produtos não é tão baixa, e quase nunca inferior a 0° C, obtendo-se assim, uma conservação por dias ou semanas, dependendo do produto.

No congelamento ocorre a formação de gelo, necessitando-se assim, de temperaturas mais baixas (-10° a -40° C), obtendo-se a conservação por períodos de meses, ou até anos.

#### **2.7.2.1.Refrigeração**

A refrigeração é o processo mais delicado de preservação de alimentos. Traz relativamente, poucos efeitos adversos sobre o sabor, textura, propriedades nutritivas e provoca poucas alterações nos alimentos, desde que algumas regras sejam observadas e o tempo de armazenamento não seja excessivo (CAMARGO et al, 1986).

O objetivo da refrigeração é manter a qualidade original do alimento até o ato de sua ingestão, transporte, transformação industrial, ou submissão a outros processos de conservação (EVANGELISTA, 1992)

O processo difere dos demais processos de frio pelos graus de temperatura utilizados, que estão compreendidos entre -1° a 10° C, a escolha desta temperatura depende do tipo de produto e do tempo e condições do armazenamento.

Segundo EVANGELISTA (1992), a refrigeração não tem ação esterilizante sobre microrganismos e, por isso, não pode melhorar o alimento em condições precárias de sanidade; consegue sim, retardar o prosseguimento das atividades contaminantes já instaladas e impedir, nos casos previstos, o surgimento de novos agentes deteriorantes. Por sua importância, não é demais reafirmar que a refrigeração produz uma bacteriostase, isto é, a inibição de germes, sem, porém destruí-los.

No processo de refrigeração é de extrema importância, para se obter o resultado desejado, a relação *tempo x temperatura*.

### **Métodos de refrigeração**

A refrigeração pode ser de modo rápido ou contínuo, através dos seguintes métodos:

#### **❖ Refrigeração natural**

Dentro desses princípios, os locais de sombra, as noites frias, ambientes protegidos de raios solares, a água com baixa temperatura, o gelo dos lagos, rios e mares, ou qualquer cuidado, visando a conservação do produto, são agentes naturais de refrigeração; a utilização, pois desses agentes, constitui a base da frigo-conservação natural de alimentos (EVANGELISTA, 1992).

A refrigeração através de recursos naturais, empregados desde tempo remotos, tornou-se obsoleta diante da implantação dos modernos recursos frigoríficos, mais capacitados para dilatar o tempo de vida útil do produto e atender às solicitações do mercado de alimentos.

#### **❖ Refrigeração por gelo artificial**

O gelo artificial é utilizado na refrigeração e pré-refrigeração de carnes de pescado, bovina, suína e de frutas. O gelo utilizado para tal pode ser britado, em escamas, seco e/ou com substâncias químicas ou antibióticas (CAMARGO et al, 1986).

O gelo britado é mais usado em alimentos que devem ser conservados por pouco tempo, ou que passará por outro processo de conservação.

O gelo em escamas é mais aconselhado para alimentos de estrutura sensível. Enquanto que o gelo seco é empregado com muito sucesso na refrigeração e congelamento de vários alimentos, principalmente durante o transporte em caminhões isotérmicos.

❖ **Refrigeração por água refrigerada**

A água refrigerada por gelo artificial ou por processo mecânico, é utilizada na refrigeração e pré-refrigeração de vários alimentos.

❖ **Refrigeração mecânica**

A refrigeração mecânica tem por finalidade, produzir, transmitir e manter em uma substância de espaço confinado (geladeira, câmara frigorífica, vitrine de exposição, etc.), temperatura menor do que a da atmosfera circulante (EVANGELISTA, 1992).

Esse resfriamento ocorre pela redução de temperatura de substância ou espaço, pela retirada de seu calor, que é transportado para outra substância ou espaço.

❖ **Representação esquemática de uma unidade de refrigeração**

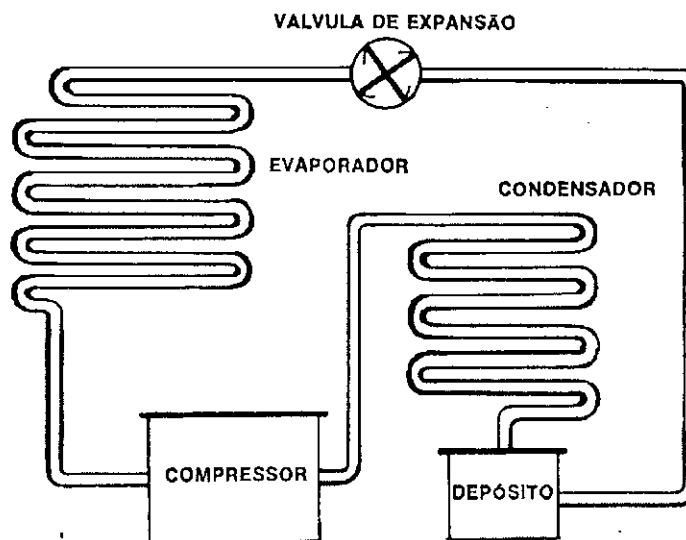


Figura 1 - Esquema de refrigeração.

✓ **Compressor**

O papel mais importante do compressor é o de recobrar o refrigerante expandido, para sua restauração, fornecendo à substância refrigerante, que foi perdido no evaporador.



Geralmente, é composto de uma bomba vertical ou horizontal, com uma transmissão apropriada. O gás ao sair do evaporador, recebe uma forte compressão, sendo então levado ao condensador.

#### ✓ Condensador

É formado geralmente por uma série de tubos de diâmetros diversos, unidos em curvas e, às vezes, dotados exteriormente de hélices que garantem um mais perfeito aproveitamento das superfícies de contato. O condensador é resfriado graças a uma corrente de água que se distribui em forma de chuva, de cima para baixo, na parte externa. Nas pequenas instalações, o resfriamento é feito pelo próprio ar atmosférico.

#### ✓ Evaporador

É formado geralmente por uma série de tubos (serpentinadas) que se encontram no interior da câmara que recebe o alimento. A substância refrigerante, sob forma líquida, necessita de calor para passar ao estado gasoso. Calor este, roubado do ambiente e conseqüentemente, o produto se resfriará. Sob a forma gasosa, o refrigerante volta ao compressor, fechando o ciclo (GAVA, 1998).

### 2.7.3.4 Congelamento

O congelamento é o tratamento de frio destinado aos alimentos que necessitam maior período de conservação; este processo, pelo longo tempo de armazenamento que faculto ao alimento, tem nítida primazia sobre os demais meios de conservação, de natureza química e física. A vantagem de seu emprego consiste, principalmente, em conservar no alimento grande parte de seus caracteres organolépticos e nutritivos e dificultar ações desfavoráveis de microorganismos e enzimas (EVANGELISTA, 1992).

O congelamento é um método moderno de conservação, e provavelmente, um dos métodos mais utilizados para frutas pelo fato dos alimentos permanecerem com a cor e o sabor do produto fresco, permite o seu consumo nos períodos de entressafra, bem como possibilita ao produtor uma alternativa na utilização das frutas sem mercado para comercialização “in natura” ou que apresentem preços não compensadores (MATA &FREIRE JÚNIOR, 1995)

A temperatura usada é mais baixa do que na refrigeração e, por isso, se consegue inibir o crescimento microbiano e retardar praticamente todo o processo metabólico. Quanto menor a temperatura de armazenamento, mais lenta será a atividade enzimática, até um determinado ponto, onde ocorre uma paralisação total.

### **Tipos de congelamento quanto à sua velocidade**

Segundo a sua velocidade, a congelação de alimentos se realiza de modo lento ou rápido.

#### **❖ Congelamento Lento**

Basicamente, podemos diferenciar dois processos de congelamento: congelamento lento, conseguido com sistemas tradicionais e congelamento muito rápido, conseguido com gases criogênicos e, sobretudo com nitrogênio líquido, que é o gás criogênico por excelência (VICENTE *et al.*, 1994).

A velocidade de congelamento vai depender do quociente entre a diferença de temperatura do produto e do líquido refrigerante e fatores de resistência, tais como velocidade do ar, tamanho do produto, geometria do sistema e composição do produto (GAVA,1998):

Podemos citar como características do congelamento lento:

- O processo dura de 3 a 12 horas;
- A temperatura vai diminuindo gradativamente, até chegar ao valor desejado (ponto de equilíbrio com a câmara de congelamento);
- Há formação de cristais de gelo grandes, no interior das células, mas principalmente, nos espaços intercelulares;
- Estes cristais afetam fisicamente as células, podendo causar reações indesejáveis, uma vez que são formados em forma de cubos, muitas vezes, rompendo a parede celular.

Sabe-se que algumas espécies de bactérias crescem a temperaturas abaixo do ponto de congelamento (psicrófilas), por exemplo, se tem comprovado que contaminação aérea (*Cladosporium*) causa alterações e armazéns refrigerados a temperaturas pouco superiores a  $-7^{\circ}\text{C}$ . Estes microrganismos podem ser encontrados em alimentos congelados, mas

muitos morrem durante o processo de congelamento ainda que possam sobreviver algumas células vegetativas. Supondo-se que seja mantida uma temperatura de conservação de -18°C, os microrganismos sobreviventes permanecerão inertes, no entanto grandes flutuações de temperatura ou o mantimento de uma temperatura de armazenamento demasiadamente alta dentro do congelador, poderia causar o reinício da atividade daqueles microrganismos, resultando em deterioração do produto conservado (COX, 1987).

Em matéria de qualidade, o produto congelado será sempre a soma de suas condições anteriores ao tratamento; por esta razão, não se pode esperar que a congelação possa encobrir defeitos antigos, que se porão em evidência, no produto congelada (EVANGELISTA, 1992).

### ❖ Congelamento Rápido

O congelamento rápido de produtos alimentícios se conhece na atualidade como “ultracongelamento”, e se realiza em só alguns minutos. Quando o ultracongelamento é feito por aplicação de gases criogênicos (nitrogênio líquido) principalmente a baixas temperaturas, o processo se realiza de 1 a 15 minutos (VICENTE *et al.*, 1994).

O congelamento rápido consiste em resfriar os alimentos a -40°C, de maneira extremamente rápida. Nessas condições, a água gela no centro das células como pequenas bolinhas arredondadas, que não rasgam suas paredes (LEDERER, 1991).

São características do congelamento rápido:

O processo é rápido, dura no máximo, 120 minutos;

- O tempo de abaixamento de temperatura é brusco;
- Há produção, por isso, de cristais de gelo pequenos, principalmente no interior das células.

Estudos mostram que sucos de frutas submetidos ao congelamento ultra-rápido, seguido de armazenamento abaixo de -18°C atingem quase um nível ideal de preservação. Quando congelados, a maioria dos sucos de frutas retém seu aroma e sabor característicos próximo aos das frutas frescas (MAIA *et al.*, 1998b).

O congelamento rápido não pode ser aplicado à todas as frutas. Na realidade o frio não desacelera igualmente todos os processos bioquímicos, o que pode causar inconvenientes, como a alteração do perfume, da cor e da consistência do produto.

A rápida velocidade de congelamento conseguida por métodos criogênicos, produzem artigos de grande qualidade com cristais de gelo muito pequenos, uma vez que

as perdas por desidratação são muito pequenas. As características de qualidade superior do alimento submetido ao congelamento rápido são devidas, principalmente, a dimensão, número e localização dos cristais de gelo (COX, 1987).

Um congelante criogênico normalmente se refere a um fluido cujo ponto de ebulição está abaixo de congelação normal do alimento. Quando o alimento é emerso o fluido, tem lugar uma evaporação de congelante sobre a superfície do alimento, melhorando, portanto o coeficiente de película térmica (LEWIS, 1993). Entre os líquidos criogênicos se destacam o dióxido de carbono e o nitrogênio; este último é o agente ideal para a execução do processo, por ser inerte, de baixo ponto de ebulição e destituído de toxidez (EVANGELISTA, 1998).

Segundo VICENTE *et al.*(1994), o ultracongelamento com nitrogênio líquido apresenta uma série de vantagens, tais como: menor desidratação do alimento durante o processo de congelamento: menores perdas de peso do produto ao proceder e sua descongelação (menor retenção de água): melhores características organolépticas (cor, odor, sabor e textura), com a cor e o odor mais parecidos ao que tinham o produto inicialmente; melhor qualidade microbiológica (detenção do desenvolvimento microbiano e enzimático); detenção dos processos de oxidação e rancificação provocados pelo oxigênio e pelo desenvolvimento bacteriano.

A Tabela 1 apresenta outras vantagens do nitrogênio líquido, quando comparado com o frio mecânico.

**TABELA 1** - Comparação entre o congelamento por nitrogênio líquido e frio mecânico (VICENTE *et al.*, 1994).

| Elemento de comparação        | Nitrogênio              | Frio Mecânico    | Vantagem para:                                      |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|---|
| 1. Perda de peso              | 0.1%                    | 2,5 – 3,2 %      | N <sub>2</sub> = menos perda                        |
| 2. Velocidade de congelamento | 1 a 15 minutos          | 20 a 180 minutos | N <sub>2</sub> = congelamento mais rápido           |
| 3. Fluido refrigerante        | N <sub>2</sub> (-196°C) | Ar (-22/-40°C)   | N <sub>2</sub> = temperatura mais baixa             |
| 4. Preço do túnel             | 1                       | 4 – 6            | N <sub>2</sub> = menor custo do equipamento inicial |
| 5. Manutenção                 | 1%                      | 4 – 6 %          | N <sub>2</sub> = menor custo de manutenção          |

|                                     |   |                                   |  |
|-------------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| 6. Gastos anuais (fixo + variáveis) | Xptos/kg congelado                        | 1,4 Xptos/kg                      | N <sub>2</sub> = menos gastos anuais             |
| 7. Qualidade microbiológica         | Detenção rápida do crescimento bacteriano | Detenção mais lenta               | N <sub>2</sub> = melhor qualidade microbiológica |
| 8. Qualidade física                 | Sem exudado, inertizado                   | Exudado, cor, inertização por ar. | N <sub>2</sub> = melhor qualidade física         |

### Cinética de congelamento

Uma forma prática de conhecer a evolução de um processo de congelamento é através da variação da temperatura do alimento em função do tempo durante o processo. Uma representação gráfica desta dependência dá origem às denominadas curvas de congelamento.

Segundo o Instituto Internacional do frio, citado por NEVES FILHO (1991), durante o processo de congelamento, diferentes regiões do produto passarão através de vários estágios a diferentes tempos. Considerando-se uma região ou um ponto do produto, três estágios de alterações ou temperaturas poderão ser definidos.

Inicialmente, há o estágio de resfriamento, compreendendo o período decorrido entre o início do processo como o produto a uma alta temperatura até que se atinja a temperatura na referido região onde tem início a cristalização da água.

Em seguida, tem-se o estágio de congelamento, período no qual a temperatura não sofre variação, onde maior parte da água muda de fase, transformando-se em gelo.

Finalmente, tem-se o estágio de redução da temperatura na qual a maior parte da água já foi convertida em gelo até atingir uma temperatura final, considerada como a temperatura em qualquer parte do produto, inclusive seu centro térmico.

Bhowmik *et al.*, citado por ARAÚJO (2000) afirma que a difusividade térmica é necessária na determinação das curvas de temperatura de alimentos durante processos de transferência de calor para a delimitação dos próprios procedimentos usados nestas operações.

Há duas formas gerais de se obter experimentalmente a difusividade térmica de um produto (NEVES FILHO, 1991):

1. Calculando-se através da seguinte fórmula:

$$\alpha = \frac{K}{\rho \cdot C_p} \quad (1)$$

onde:

K = condutividade

$\rho$  = densidade

$C_p$  = calor específico

2. Medindo-a diretamente

Os materiais que têm uma difusividade térmica alta podem ser aquecidos ou resfriados rapidamente, enquanto que substâncias com uma baixa difusividade térmica se aquecem ou resfriam lentamente. Assim, a difusividade é uma propriedade importante quando se consideram situações de transferência de calor em estado não estacionário (LEWIS, 1993).

Segundo Calvelo, citado por ARAÚJO (2000), o modelo matemático utilizado para descrever o resfriamento cuja forma se assemelha a uma placa plana é:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2)$$

De acordo com CRANK (1975), a solução da equação (1) para calcular a transferência de calor em regime transiente da polpa, cuja forma se assemelha a uma placa plana de espessura  $2L$ , no instante  $F_0 = \alpha t/L^2$  (tempo adimensional denominado número de Fouricr) é dado por :

$$RT = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \exp(\sigma_n^2 - F_0) \quad (3)$$

onde:

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = RT \quad (3 a)$$

$$A_n = \frac{2 \cdot \text{sen} \sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen} \sigma_1 \cdot \cos \sigma_1}$$

$$F_0 = \left( \frac{\alpha}{L^2} \right) t$$

em que:

RT = Razão de temperatura, adimensional;

T = Temperatura em cada momento, °C;

$T_{\infty}$  = Temperatura no meio do congelamento, °C;

$T_0$  = Temperatura inicial do ponto, °C;

$F_0$  = Número de Fourier, adimensional;

$A_n$  = Constante que depende do produto;

$\sigma_n$  = Raiz transcendental;

$\alpha$  = Difusividade térmica,  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

L = Espessura da amostra/ 2;

t = Tempo, s.

### ❖ Métodos de Congelamento

Entre os métodos de conservação mais usados estão:

#### ✓ Congelamento por ar frio

Pode ser usado o ar sem movimento ou insuflado (forçado).

No método sem movimentação do ar os produtos ficam na câmara até a congelação. O tempo necessário para isto depende da temperatura da câmara, da qualidade do alimento, da temperatura inicial do alimento, e do tipo, tamanho e forma do produto (GAVA,1998).

Este método tem como vantagem o baixo custo, mas é muito lento, pode levar horas, podendo ser reduzido drasticamente pelo uso de ventiladores na câmara de congelamento.

✓ **Congelamento por contato direto**

É usado quando o alimento a ser congelado é colocado em contato com uma placa resfriada por uma substância refrigerante. Essas placas podem ser fixas ou moveis e a salmoura refrigerante imóvel ou com movimento turbulento (GAVA,1998).

✓ **Congelamento por imersão**

O congelamento por imersão poderá ser feita de duas maneiras: direta, quando o alimento é posto em intimo contato com o meio refrigerante, ou indiretamente, quando o produto é imerso em líquidos, protegido, porém por acondicionantes metálicos ou por embalagens (KASAHARA, 1986).

O líquido refrigerante deve ser puro, não tóxico, ter ausência de odores e sabores, dentre outros pré-requisitos. Líquidos com baixo pontos de congelação tem sido usados para contatos com alimentos não congelados, como solução de cloreto de sódio, açúcar e glicerol (GAVA,1998).

O congelamento por líquidos criogênicos (gases liquefeitos com ponto de ebulição muito baixo) tem se desenvolvido bastante. Entre os líquidos está o nitrogênio, apesar do alto custo, bastante usado por possuir um baixo ponto de ebulição, não é tóxico e é inerte para os constituintes do alimento e tem uma congelação ultra - rápida. (1-3 minutos) (KASAHARA, 1986).

**Influência do congelamento sobre o valor nutritivo dos alimentos**

O processo de congelamento em si, não altera o valor nutritivo do alimento. Quanto menor for a temperatura, melhor será a retenção das substâncias nutritivas. Porém, sempre é dado ao alimento certo tratamento a fim de prepará-lo para a operação de congelamento. Assim, a lavagem, corte, branqueamento, etc., são necessários ao produto a congelar. Nesse processamento poderão ocorrer perdas de certos nutrientes, principalmente das vitaminas (GAVA,1998).

Também há perdas de vitaminas se exporem os tecidos à atmosfera, como no caso da vitamina C sua perda ocorre no corte da matéria-prima e exposição ao ar.



#### 2.7.4. Conservação pelo uso do calor

Os métodos de calor (temperaturas superiores a 72 °C) visam a eliminação de microrganismos, se não chegar a destruir todos deve destruir aqueles mais prejudiciais e retardar ou prevenir o crescimento dos sobreviventes (EVANGELISTA,1992).

O simples ato de cozinhar, fritar ou outra forma de aquecimento empregada nos alimentos antes de seu consumo; além de afetar a textura e palatabilidade, irá destruir grande parte da flora microbiana e inativar sistemas enzimáticas (GAVA,1998).

A aplicação dos processos de conservação pelo calor está condicionada ao grau adequado de temperatura e o tempo de exposição ao alimento, uma vez que exposto a calor excessivo, o alimento sofrerá alterações de seu valor nutritivo e propriedades organolépticas (EVANGELISTA,1998).

Dentre os processos de conservação pelo calor podemos citar alguns controlados, realizados comercialmente, tais como pasteurização, esterilização, branqueamento, etc.

##### ❖ Pasteurização

A pasteurização, processo térmico criado por Pasteur, em 1864, tem por objetivo o extermínio parcial da flora banal e a eliminação total da flora microbiana patogênica. A temperatura empregada não ultrapassa os 100° C e pode ser obtida por água quente, vapor seco, vapor, corrente elétrica e por radiação ionizante (EVANGELISTA,1992).

Em outras palavras, GAVA (1998), afirma que a pasteurização é um tratamento térmico que elimina a grande maioria dos microrganismos existentes nos alimentos. É empregada quando os tratamentos térmicos prejudicam a qualidade do produto (leite, sucos); quando os agentes microbianos de alterações não são muito termorresistentes, como as leveduras nos sucos de frutas, e quando destruímos os agentes competitivos, permitindo uma fermentação benéfica, que geralmente se realiza pela adição de um inoculo (fermento), como na elaboração de queijos, etc.

A pasteurização pode ser lenta (LTLT – “low temperatura, long time”) emprega um temperatura baixa por um tempo maior (62° C durante 30 minutos) ou rápida (“HTST –” high temperature, short time), ocorre a 72° por 15 segundos (GAVA,1998).

### ❖ Esterilização

Consiste na destruição completa dos microrganismos. Para alcançá-la torna-se necessário o uso de energéticos tratamentos que irão influir na qualidade do alimento. Em alimentos apertizados (enlatados) nunca conseguimos uma esterilidade absoluta e, por isso, os termos “comercialmente estéril”, ou “estéril” são comumente vistos (GAVA,1998).

### ❖ Tindalização

O método é assim conhecido por sua vinculação ao físico inglês John Tindall.

Ocorre um aquecimento descontínuo, em recipiente fechado, no qual é alojado o produto, sob temperatura de 60° a 90° C e varia de 3 a 12 repetições. Os aquecimentos são intercalados com resfriamentos de 12 a 24 horas (GAVA,1998).

A vantagem do processo é que são mantidos os nutrientes e as propriedades organolépticas do produto em proporções maiores que os outros processos.

### ❖ Branqueamento

Também chamado de “blanching” é um tipo de pasteurização geralmente aplicado à frutas e hortaliças com a principal finalidade de inativar enzimas, de curto tempo de aplicação, com características de pré-tratamento, pois precede o início de outros processos de elaboração industrial (EVANGELISTA,1992).

Geralmente, é empregado antes do congelamento de frutas e verduras.

### ❖ Apertização

GAVA (1998) define o processo como o simples aquecimento do produto, anteriormente preparado, em recipientes fechados, na ausência relativa de ar, até certa temperatura e num tempo suficiente para a destruição dos microrganismos, porém sem alterar de modo sensível o alimento.

Segundo EVANGELISTA (1992), o processamento térmico é influenciado pelos seguintes fatores:

A. Qualidade e quantidade dos microrganismos a destruir.

A resistência do microrganismo ao calor é maior ou menor segundo sua espécie e forma vegetativa ou esporulada; as exigências variam também de acordo com a população esporulada.

B. pH do produto

Em produtos com pH abaixo de 4,5, o tratamento térmico é realizado em temperaturas de cocção, pois o meio ácido já é impróprio ao crescimento botulínico. E pH igual ou maior a 4,5, a destruição microbiana ocorre somente em temperaturas elevadas, sob pressão de vapor, capaz de destruir o *Clostridium botulinum*, em formas vegetativas e esporuladas.

C. Velocidade da penetração do calor

Este fator é influenciado pela forma, tamanho, condutividade do material do recipiente, tipo do alimento, composição da salmoura ou xarope e pré-cozimento.

D. Temperatura inicial

O pré-aquecimento do produto encurta o tempo de esterilização, principalmente dos não condutores de calor.

E. Tempo do aquecimento e temperatura atingida

Quanto maior a temperatura ou mais longo o tempo de exposição do produto, mais eficiente será o processo. Contudo, se tornaria um processo antieconômico como também haveria alterações nas propriedades organolépticas e nutrientes do alimento.

F. Processo de aquecimento e movimentação giratória

A velocidade de penetração do calor no recipiente torna-se maior quando este é submetido a movimentos giratórios durante o processo de aquecimento (rotação de 10 rpm), diminuindo assim, o tempo de aquecimento.

O uso de recipientes que se fecham hermeticamente é condição indispensável para este processo. A lata e o vidro são os mais utilizados.

### **Equipamentos utilizados no processo de apertização**

✓ **Autoclave**

É um recipiente fechado onde o produto é aquecido, geralmente pelo uso do vapor. As autoclaves podem ser fixas ou rotativas, contínuas ou descontínuas e verticais ou

horizontais e trabalham a alta pressão. O tipo mais utilizado é a autoclave fixa e descontínua, podendo ser vertical ou horizontal (GAVA,1998).

Sua finalidade é evitar o desenvolvimento microbiano, e, conseqüentemente, um certo cozimento do produto. O vapor é usado na maioria delas, pois é um excelente meio de transferência de calor, tem a temperatura facilmente controlada pelo controle da pressão e é facilmente produzido.

✓ **Cozedor rotativo**

Os cozedores rotativos (“spim-cookers”) contínuos podem trabalhar à pressão atmosférica ou sob pressão e por isso podem ser empregados no tratamento térmico de qualquer alimento. Os tipos mais simples possuem um setor de cozimento e um de resfriamento, este segundo também pode ser feito à pressão atmosférica ou sob pressão (GAVA,1998).

✓ **Esterilizador hidrostático**

O esterilizador ou autoclave hidrostático (“hydrostatic cooker”) é um sistema contínuo, que consiste numa torre bastante alta que contém uma câmara de vapor; é capaz de processar até 1000 latas por minuto (EVANGELISTA,1992).

✓ **Processamento asséptico**

No processamento asséptico o produto é aquecido, resfriado e transportado sob condições estéreis aos recipientes, previamente esterilizados, sendo então hermeticamente fechados. Usam-se temperaturas da ordem de 140° - 175° C durante 1 a 2 segundos (GAVA,1998).

Esses processos são conhecidos como esterilização à temperatura ultra-alta (UHT – “ultra high temperature”)

## **Influência da apertização na qualidade do alimento**

A aplicação de calor suficiente para a destruição dos microrganismos ou inativação das enzimas provocará alterações indesejáveis no alimento como alterações de cor, sabor, textura e valor nutritivo.

As vitaminas são os nutrientes mais sensíveis e apresentam perda em alimentos enlatados; perdas pequenas se os alimentos forem bem processados. As proteínas poderão ser desnaturadas, e os hidratos de carbono poderão participar de reações de escurecimento. De maneira geral, altas temperaturas por tempo curto afetam menos as vitaminas do que os tratamentos com baixas temperaturas por longos períodos.

### **2.7.5. Secagem**

Secagem é a remoção, voluntária ou não, total ou parcial, de uma fase líquida ou gasosa de qualquer material, envolvendo exclusivamente a transferência de calor e massa (FIOREZE, 2004).

A redução de água livre do alimento eleva a pressão osmótica de seu meio e conseqüentemente, a proliferação de microrganismos é contida; também nessa situação, enzimas que provocam alterações perdem sua atividade (EVANGELISTA, 1992).

Sendo um dos processos mais antigos conhecidos pelo homem, a secagem em muitos casos não requer a ajuda do homem e apresenta várias vantagens, tais como:

- Conserva o alimento;
- Pela evaporação da água, encontra-se no alimento maior concentração de nutrientes, como é o caso do leite (maior teor protéico e cálcico), de carne (percentagem mais elevada de proteína);
- Baixo custo em relação a outros métodos de secagem;
- Redução do peso;

A redução do peso (50 – 80%) não é feita só pela eliminação da água como também pela retirada de partes não comestíveis (casca, semente, caroço, etc). o volume também será reduzido, o que terá importância na embalagem, no transporte e no armazenamento dos alimentos (EVANGELISTA,1992).

Alguns produtos ainda têm a possibilidade de voltarem ao seu aspecto natural, quando se restituir a água, ou mudam muito pouco; conservam bastante intactas suas características físicas e nutritivas.

A prática pós-colheita mais usual para preservação de produtos agrícolas é reduzir seu teor de umidade até um nível seguro para o armazenamento. Baixo nível de umidade resulta em decréscimo da taxa de respiração do produto, e inibição da atividade da microflora. Ambas as fontes de deterioração da qualidade de produto. Contudo, se o teor de umidade for baixo, de modo que a pressão de vapor do ar na sua superfície é mais baixa que a do ar ambiente, o produto ganhará umidade, tornando-o favorável ao ataque de fungos. Assim, secagem na terminologia de produtos agrícolas, significa a remoção de umidade do mesmo até que um nível desejado seja alcançado, de acordo com a destinação do produto. Isso não significa a remoção de toda umidade contida nele (FIOREZE, 2004),

É um processo contínuo e simultâneo de transferência de calor e massa. Para evaporar a umidade é requerida certa energia, a umidade removida da superfície do produto vai para o meio externo, usualmente, o ar (FIOREZE, 2004).

O processo mais utilizado de secagem é forçar o ar através de uma camada do material. A relação entre temperatura e umidade do ar de secagem pode variar de acordo com uma série de fatores com tamanho do produto a ser secado, forma, composição física e química, umidade inicial e final (EVANGELISTA, 1998).

Em alguns sistemas o produto passa através do secador continuamente (secagem contínua), enquanto em outros, o produto permanece estático durante o período de secagem (secagem por bateladas); alguns secadores requerem uma camada espessa do produto, enquanto outros usam uma camada delgada, uma função especificamente do fluxo de ar. Secadores podem ainda ter o fluxo de ar em relação ao produto, em fluxo cruzado, contra corrente ou correntes paralelas (FIOREZE, 2004).

O calor aplicado é aplicado no material por convecção (através do ar) ou por condução (através do contato com uma substância quente). Esse calor vaporiza o líquido da superfície do produto, ou próximo à superfície, e esse vapor é retirado pelo fluxo de ar.

Sendo retirada essa umidade da superfície, é criado um gradiente de concentração internamente ao produto, causando um processo migratório de umidade de centro para a superfície. Segundo FIOREZE (2004), os dois dos principais fatores que governam a secagem são:

A. Retirada da umidade da superfície do produto.

A taxa de retirada da umidade da superfície é função tanto da área do produto em exposição ao ar, como da capacidade do ar de retirar a água da superfície. Maior área superficial significa maior área de troca de calor e massa com o fluxo de ar (em regime turbulento), facilitando a remoção de água.

Obteremos um resultado melhor se o ar for aquecido, ou passar por um leito de substância higroscópica, desumidificando o mesmo.

B. Migração de umidade do interior à superfície do produto.

Esse fator depende do tamanho da partícula, de sua estrutura interna e da força motriz dessa migração, que é o gradiente de concentração. Quanto maior a partícula, maior a distância a ser percorrida pelo calor, da superfície ao centro, e da umidade, do centro para a superfície do produto para ser evaporado.

Processos de secagem são incluídos em uma das três categorias:

- ✓ Produto em contato com o ar à pressão atmosférica.

O calor é transferido ao produto através do ar quente ou de superfícies quentes. O vapor é removido pelo ar em *convecção forçada* ou para o ar, em *convecção natural*.

Secagem e desidratação são termos similares. Na literatura, secagem é quando o processo envolve a transferência de calor do ambiente para o produto, a evaporação da água líquida contida no produto, e sua retirada na forma de vapor, em *convecção natural* ou *forçada*. Desidratação é um termo que também descreve o processo de secagem, é mais amplo e mais adequado para denominar o processo de retirada de água, sem necessariamente, a transferência de calor e sem a evaporação da água líquida. (desidratação osmótica) (FIOREZE, 2004).

O sistema a ser utilizado vai depender de fatores como condições climáticas da região, natureza da matéria-prima, exigência do mercado, custo da produção e mão-de-obra. Sendo a principal delas as condições climáticas, devendo ser um clima seco, com baixo grau higrométrico, pouca precipitação pluviométrica, grande quantidade de horas de sol, ventos favoráveis e temperatura mais ou menos alta.

✓ Secagem á vácuo

É um processo onde não é necessário o uso de alta temperatura, isto por que a evaporação da água ocorre mais facilmente a baixas pressões.

A secagem à vácuo é um processo caro, uma vez que o equipamento, além da bomba para conduzir o vácuo, necessita ter paredes bastante reforçadas para suportar o vácuo, o que implica em um pequeno volume útil para colocar o produto. É utilizado para secar produtos que não podem ser submetidos a altas temperaturas (GAVA, 1998).

Os secadores de transferência de calor por superfície sólida são equipamentos de secagem que, geralmente trabalham a vácuo.

✓ Secagem a frio

Conhecida como liofilização ou “freeze drying”. Nesse processo, a água interna do produto é congelada, e através de uma diminuição da pressão externa ocorre uma sublimação desta água, ou seja, a vaporização direta a partir do estado sólido (FIOREZE, 2004. Trataremos da liofilização mais detalhadamente a frente.

### **Secagem natural**

É ideal que a secagem natural seja realizada em regiões de clima seco, com boa irradiação solar e um baixo nível de precipitações pluviométricas, de preferência com ventos na época da secagem.

Segundo GAVA (1998), se obtém um melhor resultado dividindo o processo em duas fases: a primeira iniciada ao sol e continuada até que as frutas tenham perdido de 50 a 70% de umidade, e a segunda a sombra, para que os produtos não ressequem e não percam o sabor e aroma naturais. Com a secagem completa ao sol, frequentemente os frutos escurecem.

Realizando a secagem quando a temperatura do ar é alta e a umidade relativa baixa, a umidade que está na superfície do alimento se evapora a uma velocidade maior do que a difusão do líquido no interior do alimento, e assim, formará uma camada endurecida que depreciará bastante o produto seco (EVANGELISTA, 1992).

A secagem à sombra se faz melhor em galpões, com ventiladores para movimentar o ar. Esse ar deve passar preferencialmente por um dispositivo contendo algum



desidratante como cloreto de cálcio, óxido de cálcio ou ácido sulfúrico concentrado, que retém a umidade nela contida.

Para a secagem ao sol, necessita-se de alguns requisitos especiais, deve ser cercado e longe de ruas, caminhos e outros locais expostos à poeira. O chão deverá ser de cimento, pedra ou outro material isolante, afim de evitar a poeira e irradiar o calor. O piso de passagem entre os tabuleiros deve ser borrifado com água ou impermeabilizado com óleo.

As frutas deverão ser preparadas em galpão coberto, onde abrigados do sol, os manipuladores executaram as operações de seleção, limpeza, corte imersão e arrumação em bandejas, que serão apoiadas em cavaletes.

A secagem natural deve ser realizada com certos cuidados, uma vez que mal realizada, poderá prejudicar a coloração do produto e outras alterações organolépticas não desejadas. Devem ser observadas principalmente temperatura e umidade relativa (GAVA, 1998).

O tempo necessário para realizar a secagem vai depender da variedade da fruta, de sua porcentagem de água e da irradiação solar, dentre outros fatores. A umidade, que é cerca de 90% na fruta fresca, baixará para 20 – 25% na fruta seca.

### **Secagem artificial (desidratação)**

É a secagem pelo calor produzido artificialmente em condições de temperatura, umidade e corrente de ar cuidadosamente controlados (GAVA, 1998).

O nome desidratação só é aplicado ao método de secagem de alimentos baseado na extração de água, por aquecimento, evaporação e sublimação, sob condições controladas (EVANGELISTA, 1992).

#### **Métodos de desidratação**

- Por ar aquecido – calor por convecção;
- Por contato por superfície quente – calor por condução;
- Por calor de fonte radiante, de microondas e dielétrica;
- Por congelamento, sublimação e calor sob pressão muito baixa.

Sob o aspecto econômico, o alimento desidratado tem um maior custo, porém, a melhoria de sua qualidade compensa seu gasto pelo alto valor comercial. Outra vantagem

de desidratação é a de conferir ao produto melhor proteção contra a contaminação através de poeiras e do ataque de insetos (EVANGELISTA, 1992).

Existe uma grande diversidade de desidratadores, uns bastante usados e outros sem grandes aplicações práticas. A escolha de um determinado tipo vai depender da natureza do produto que será desidratado, pela forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operação.

Segundo GAVA (1998), podemos dividir os desidratadores em duas classes:

- Secadores adiabáticos – o calor é conduzido por meio de ar quente. Nesse grupo incluímos o secador de cabine, secador de túnel, atomizador (“spray dryer”), leiteo fluidizado, fornos secadores, “puff dryer” e “foam mat dryer”
- Transferência de calor por superfície sólida – geralmente nesse tipo trabalha-se com vácuo.

### Fases da secagem

Produtos biológicos com umidade inicial acima de 70 – 75%, base úmida, no início do processo de secagem apresentam a superfície coberta por uma película de água, e nesta situação a taxa de secagem (perda de umidade em função do tempo) é função de três parâmetros externos do ar de secagem: velocidade, temperatura e umidade. Se as condições do ar de secagem são fixas, a taxa de secagem será constante (FIOREZE, 2004).

Após um período a superfície do sólido atinge a temperatura de bulbo úmido, o fluxo de ar permanece constante com esse vapor, enquanto existir a película de água na superfície. Depois, vão aparecendo regiões não cobertas por essa película de água. Nesse ponto, a umidade é denominada “Umidade crítica,  $M_c$ ” e o fator limitante da secagem é a movimentação da umidade interna e a taxa de secagem passa a ser decrescente. A temperatura do produto começa a subir e se eleva até muito próximo da temperatura de bulbo seco do fluxo de ar.

Até o  $M_c$ , o produto corre grande risco de deterioração, é propício ao desenvolvimento de fungos (mofos), pois apresenta alta umidade na superfície. Ao obter uma superfície mais seca, o risco diminui.

Segundo FIOREZE (2004), são encontradas na literatura diversas teorias para tentar explicar a migração de umidade do interior para a superfície do produto, dentre elas, temos:

a) A migração se dá por difusão de água na forma líquida, devido a uma diferença de concentração, e a mudança de estado se dá próximo ou na superfície;

b) A migração se dá por difusão de vapor, devido a uma diferença de pressão, com a mudança de estado de líquido para vapor ocorrendo dentro do produto;

c) A migração se dá por difusão de líquido e vapor simultaneamente, com a mudança de estado ocorrendo na posição e em função do aumento de temperatura do produto.

d) A migração se dá por capilaridade, com o líquido escoando do interior para a superfície através de minúsculos interstícios, devido a interação entre o líquido e o sólido.

e) A migração se dá por capilaridade no estado líquido, e devido ao gradiente de concentração no estado de vapor.

A migração de água por difusão ser consequência da diferença de concentração é um mecanismo lógico, o mesmo não é em função da capilaridade, que tem seu efeito resultante das forças resultantes das diferenças entre pressão hidrostática e os efeitos da tensão superficial (FIOREZE, 2004).

Há ainda uma teoria, que o período de taxa decrescente de secagem seria dividido em dois períodos. O primeiro começaria quando começasse a aparecer as regiões descobertas pela película de água, e se prolongaria até não houvesse mais nenhuma cobertura pela película na superfície, então, começaria o segundo período de taxa decrescente.

Produtos com umidade inicial não muito alta, de modo a não formar a película de água na sua superfície, têm o período de secagem constante insignificante, para ser levado em consideração, e a difusão de líquidos é, provavelmente, o mecanismo controlador do processo desde o início.

### **Secagem em camada delgada**

Em outros processos de secagem, o produto é inteiramente envolvido pelo ar de secagem em regime turbulento, como por exemplo, em secagem tipo-leito fluidizado, secador de tambor rotativo, secagem de camadas finas, dentre outras. Nesses processos, teoricamente, toda a superfície de uma partícula isolada é área de troca de calor e massa, suficiente para troca de calor por condução, ou troca de massa por difusão entre elas (FIOREZE, 2004).

A resistência interna à migração de umidade é um fator limitante da secagem na maioria dos produtos biológicos. Para se dimensionar essa migração tem se usado a teoria da difusão de líquido ou de equações empíricas.

- Difusão de líquido

Esta teoria diz que a migração da umidade se dá pela difusão de líquido, com a hipótese de que a resistência à migração de umidade é distribuída uniformemente através do produto. Segundo Crank citado em FIOREZE (2004), validando a segunda lei de Fick, representada pela equação:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{1}{r} \left( \frac{\partial}{\partial r} \right) r^2 D \left( \frac{\partial M}{\partial r} \right) \quad (4)$$

Considerando o coeficiente de difusão D independente da umidade, a equação acima pode ser descrita:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \left( \frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{c}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right) \quad (5)$$

Onde:

- c = 0, para formato de uma placa
- c = 1, para formato de um cilindro
- c = 2, para formato de uma esfera

São também considerações importantes:

a) No tempo zero de secagem a umidade encontra-se uniformemente distribuída internamente ao produto.

$$M(t=0) = M_0$$

b) No tempo infinito o produto atinge a umidade de equilíbrio.

$$M(t=\infty) = M_e$$

c) No centro do produto, pela simetria, não há transferência de massa.

$$\frac{\partial M}{\partial r}(r=0) = 0$$

A equação (5) pode ser integrada analiticamente para diversos formatos:

onde :

$$MR = \frac{6}{\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^2} \exp\left(\frac{-i^2}{R^2} D\pi^2 t\right) \quad (6)$$

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$$

O mais utilizado para grãos, tem sido o formato de esfera, mesmo a maioria dos grãos não sendo esferas perfeitas, durante a secagem a perda de água ocorrendo por todos os lados viabiliza esta forma.

- Equações empíricas

São equações obtidas através de dados experimentais e a aplicação de um método numérico como por exemplo, a regressão linear, para se obter as constantes que ajustam essas equações aos dados experimentais (FIOREZE, 2004).

As equações empíricas mais divulgadas na secagem são para camadas delgadas, a maioria similares a equação (6), utilizando-se somente o primeiro termo da série, mudando a constante de secagem.

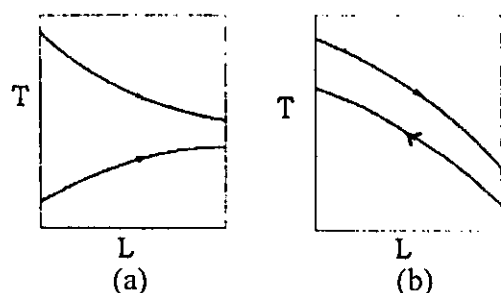
### **Secagem em camadas espessas**

Esta secagem difere da secagem de camada delgada no sentido que o ar de secagem vai perdendo energia e recebendo vapor de água, à medida que vai passando através do produto (FIOREZE, 2004).

O sistema de ventilação deve ser muito bem dimensionado, uma vez que será o responsável por, além de vencer a resistência, manter um fluxo suficiente para que a frente de secagem atinja as últimas camadas do produto, antes da sua deterioração.

Ao passar pelo leito do produto o ar quente vai sendo resfriado, podendo atingir a sua temperatura de orvalho, condensando o vapor de água nas partículas do produto. Isso faria com que a umidade retirada pelo ar quente das primeiras camadas se deposite nas camadas superiores (EVANGELISTA, 1992).

Nesse sistema, a variação de temperatura do fluxo de ar e do produto está esquematizada na figura abaixo, onde o produto e o fluxo de ar geralmente operam em correntes paralelas ou correntes opostas, também denominadas contracorrentes.



**Figura 2** - Fluxos de ar (a) em correntes paralela, (b) em correntes opostas (FIOREZE, 2004)

O processo de secagem contínua oferece certas vantagens em relação ao descontínuo abaixo estão relacionadas algumas delas:

- Economia de espaço físico, pois o equipamento necessário é menor.
- O produto final apresenta maior uniformidade do teor de umidade.
- Menos mão-de-obra necessária para operar o secador.

Como desvantagem tem o alto custo inicial e maior custo de manutenção, devido ao maior número de peças que compõe o equipamento.

✓ Correntes paralelas

Os fluxos de produtos a ser seco e o ar de secagem entram no equipamento pela mesma extremidade. A força motriz de transferência de calor ( $\Delta T$ ) é alta no início do processo e vai diminuindo conforme os fluxos passam através do secador. O fluido quente entra em contato com o sólido ainda úmido.

✓ Contracorrente

Os fluxos do ar e do produto a ser seco entram no secador por extremidades opostas. A força motriz ( $\Delta T$ ) não sofre grande variação nas diferentes posições do secador. O fluido quente entra em contato com o sólido seco saindo do secador e a temperatura desse sólido se aproxima da temperatura do fluido entrando.

Nesse processo a secagem é mais eficiente, mas o sólido seco pode ser prejudicado pela alta temperatura que adquire já próximo à saída do secador.

## 2.8. Teor umidade de equilíbrio

O teor de umidade de equilíbrio (TUE) é definido como a quantidade de massa de água que o produto contém quando é submetido à determinada condição controlada de temperatura e umidade do ar. Portanto, para determinadas condições de secagem, dadas pela temperatura e umidade relativa do ar, existe uma umidade de equilíbrio do produto. O diferencial entre umidade inicial do produto a ser seco e umidade de equilíbrio ( $U_o-U_e$ ) é definido como o potencial de secagem. De outra forma, o produto só poderá ser seco até a umidade de equilíbrio para as condições de temperatura e umidade relativa pré-estabelecidas (CAVALCANTI MATA, 1997).

O TUE do grão é definido como a quantidade de água do material após a exposição a um ambiente particular por um longo período de tempo. Alternativamente, o TUE pode ser definido como o teor de água à que a pressão de vapor interna do produto está em equilíbrio com a pressão de vapor do ambiente. O TUE depende das condições de temperatura e umidade do ambiente assim como da espécie, variedade e maturidade do grão (BROOKER et al., 1992).

## 2.9. Liofilização

O método normalmente usado para conservação de alimentos é a desidratação através do calor. Porém, o calor altera as características organolépticas e provoca perda no valor nutritivo do alimento.

Entre os alimentos vegetais e animais que melhor se adaptam à liofilização, estão: abacaxi, abacaxi, morango, banana (exceto variedade d'água ou nanica), suco de frutas, coco, legumes diversos, cogumelo, alho, milho, cebola, ovo, peixe, camarão, carnes, extrato de café (GAVA, 1998).

Liofilização é um processo de separação por sublimação. A água ou a substância aquosa é removida como vapor da substância congelada, ou seja, passa da fase sólida direto para a fase vapor. Para isto faz-se necessário que a zona da temperatura de sublimação seja abaixo do ponto triplo. O ponto triplo da água acontece a 639,95 Pa e 273,15 K. A água ou solução aquosa existente no produto que se pretende sublimar deve

estar na fase sólida; a maioria dos liofilizadores trabalha com dez graus Celsius negativos ou a uma pressão absoluta de aproximadamente 266,65 Pa (LIAPIS *et al.*, 1985).

Este método de desidratação tem como objetivo preservar a qualidade do produto. Um fator proeminente é a estrutura rígida proporcionada pelo congelamento da superfície do material onde ocorre a sublimação. Esta rigidez é importante para prevenir colapsos da matriz sólida após a secagem. O resultado é um poro que permite fácil reidratação quando se adiciona água. Outro benefício da liofilização é a rápida transição de material hidratado para desidratado, esta rápida transição minimiza várias reações de degradação que ocorrem durante a secagem como a reação de Maillard, desnaturação de proteínas e reações enzimáticas (LIAPIS *et al.*, 1985).

Na liofilização, o alimento se conserva também por redução da sua atividade de água, sendo que suas características organolépticas e seu valor nutritivo são menos afetados (FELLOWS, 1994).

Segundo FIOREZE (2004), no processo de liofilização ou ‘freeze-drying’, a água interna do produto é congelada, e através de uma diminuição da pressão externa, ocorre uma sublimação desta água, isto é, a vaporização direta a partir do estado sólido.

Liofilização ou crio secagem (“freeze-drying”) é um processo de desidratação de produtos em condições de pressão e temperatura tais que a água, previamente congelada, passa do estado sólido diretamente para o estado gasoso, ou seja, ocorre uma sublimação (GAVA, 1998).

Segundo EVANGELISTA (1992), é um processo misto, em que se associam a congelação e a desidratação; sua inclusão entre os processos de frio durante o período de conservação e sim pelo abaixamento da temperatura em que ocorre.

Como esse processo é realizado à temperatura baixa e na ausência de ar atmosférico, as propriedades químicas e organolépticas praticamente não são alteradas (GAVA, 1998).

As baixas temperaturas envolvidas no processo ajudam a minimizar estas reações e a reduzir taxas de transporte em que se perde o sabor e o aroma da espécie por volatilidade, a textura dos alimentos liofilizados também é mantida inalterada. Outra vantagem do processo de liofilização é o aumento da estabilidade do produto durante a estocagem, além de poder ser armazenado e transportado à temperatura ambiente (FELLOWS, 1990).

Se corretamente processado e mantido sob condições adequadas, o produto pode ser guardado por um período quase ilimitado de tempo enquanto mantém suas propriedades

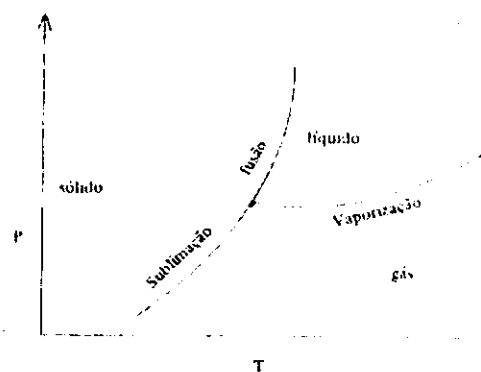


físico-químicas, biológicas e sensoriais, estando disponível a qualquer momento para imediata reconstituição (FELLOWS, 1990).

A liofilização é um processo de alto custo, sendo assim, resulta em alimentos desidratados de alto custo, por esse motivo é usada para alimentos de grande valor, de aroma e textura delicados, como café, cogumelos, camarões, ervas aromáticas (FELLOWS, 1994). Contudo, o alto custo deste processo pode ser compensado pela não necessidade de manuseamento e estocagem do produto em local refrigerado e também quando o produto tem um alto valor agregado.

### 2.9.1. Fundamentos físicos da liofilização

Dependendo das condições de temperatura e pressão, qualquer substância pode se apresentar sob um dos três estados de agregação: sólido, líquido ou gasoso. Em determinadas condições, podem coexistir duas fases. Ainda em condições fixas e características para cada substância, podem coexistir três fases. Em um sistema de coordenadas cartesianas, a certa temperatura e pressão (características que possibilitam a coexistência das três fases) podemos ter o chamado “ponto triplo” (GAVA, 1998).



**Figura 3** – Ponto triplo das substâncias (GAVA, 1998).

À temperatura e pressão mais baixas que a característica do ponto triplo, a fase líquida deixa de existir e a substância passa diretamente do estado sólido para o gasoso e vice-versa, dependendo das condições. O ponto triplo da água é definido por uma temperatura de aproximadamente 0° C e pressão de 4,7 mmHg. O processo de liofilização deve ocorrer a condições inferiores a essas (GAVA, 1998).

A primeira fase da liofilização é a congelação convencional do alimento. Se a pressão de vapor de água do alimento se manter baixa e a água do congelada, quando o alimento se esquentar, o gelo se sublima diretamente a vapor, sem fundir-se (FELLOWS, 1994).

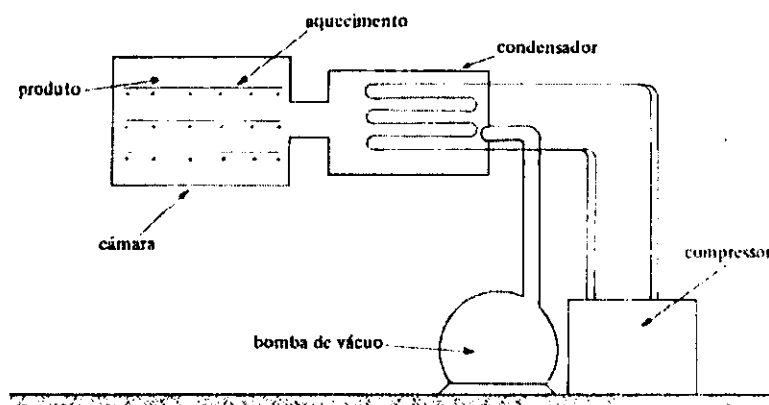
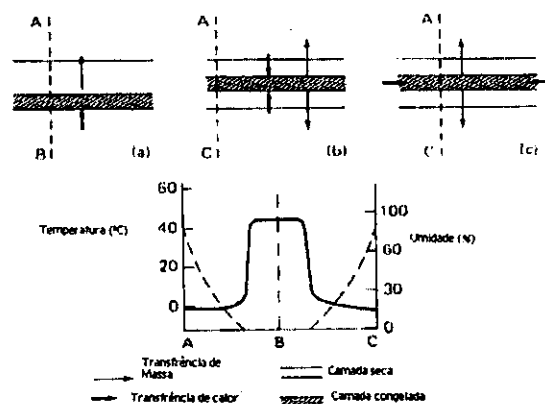


Figura 4 – Representação do sistema de um liofilizador (FELLOWS, 1994).

Mantendo a pressão no liofilizador abaixo da pressão de vapor na superfície do gelo (através de uma bomba de vácuo) e condensando o vapor através de um condensador de serpentina (à baixa temperatura) se consegue que a liofilização prossiga completamente. À medida que a liofilização progride, o calor latente de sublimação atinge, por condução, o interior do alimento e se transfere para a massa do alimento através de microondas. O vapor de água sai do alimento através dos canais formados pela sublimação do gelo (FELLOWS, 1994).

Segundo FELLOWS (1994), a liofilização acontece em duas fases: a primeira, o produto se sublima até um conteúdo de água até 15% (base úmida) e na segunda, ocorre a desidratação evaporativa (desorção) da água não congelada, e o conteúdo de água se reduz a 2% (base úmida). A desorção se consegue mantendo o liofilizador a baixa pressão e elevando a temperatura até um valor próximo da temperatura ambiente.



**Figura 5** – Transferência de calor e de vapor durante a liofilização: (a) transferência de calor através da camada congelada; (b) transferência de calor desde as superfícies radiantes através da camada seca; (c) calor gerado pelas microondas no alimento. No gráfico, a evolução da temperatura é demonstrada ( — ) e do teor de água ao longo da linha A → B → C (FELLOWS, 1994).

Devido às baixas pressões, a câmara de liofilização e o condensador devem apresentar, preferencialmente, a forma esférica, ou cilíndrica com calotas esféricas. O tubo que une a câmara ao condensador deve possuir dimensões grandes, devido ao enorme volume de vapor d'água à baixa pressão que por ele flui. O sistema de aquecimento na câmara e o sistema de refrigeração do condensador devem ser de grande capacidade e área para permitir ciclos curtos (GAVA, 1998).

A temperatura é medida por pares termoeletrônicos ou termômetros de resistência, colocados em diversos pontos da câmara de liofilização e do produto a liofilizar (GAVA, 1998).

### 2.9.2. Velocidade da Transferência de Calor

Segundo FELLOWS (1994), o calor pode ser transmitido por três mecanismos:

1) Transferência de Calor Através da Camada de Alimento Congelado. Ver Figura 6 (a).

A velocidade da transferência de calor depende da espessura e condutividade térmica da camada de gelo. À medida que a desidratação progride, a espessura da camada de gelo diminui e, em conseqüência, a velocidade da transferência de calor aumenta.

Ver Figura 6 (b).

Nesse caso, a velocidade da transferência de calor de sublimação depende da espessura e área do alimento, da condutividade térmica da camada liofilizada e da diferença de temperaturas na superfície do alimento e da fronteira do gelo.

Ao passo que a desidratação progride, essa camada aumenta sua espessura, e sua resistência também aumenta.

### 3) Aquecimento por Microondas

Nesse sistema de aquecimento, o calor se degrada na própria fronteira de gelo, pois a velocidade de transferência de calor não depende da condutividade térmica do gelo, nem da camada de alimento liofilizado, nem da sua espessura. É um sistema com maior dificuldade de ser controlado. Ver Figura 6 (c).

### 2.9.3. Velocidade da Transferência de Massa

Quando o calor chega na frente de sublimação a pressão e a temperatura de vapor aumentam.

Um grama de gelo dá lugar a  $2\text{m}^3$  de vapor a uma pressão de 67 Pa. Por esse motivo, na liofilização comercial, é preciso eliminar muitos metros cúbico de vapor por segundo, que deverão escapar pelos poros dos alimentos liofilizados (FELLOWS 1994).

Segundo FELLOWS (1994), os fatores que controlam a gradiente de pressão de vapor são:

- A. A pressão no interior da camada de liofilização
- B. A temperatura do condensador de vapor

Tanto a pressão como a temperatura deverão ser as mais baixas possíveis.

Na prática, esses valores economicamente viáveis, são 13 Pa e  $35^\circ\text{C}$ , respectivamente.

- C. A temperatura de gelo da frente de sublimação

Deve ser a mais elevada possível, no entanto, que resista ao descongelamento.

Na teoria, a temperatura do gelo deverá elevar-se até um valor abaixo de seu ponto de descongelamento. No entanto, essa temperatura deverá ser acima de uma determinada temperatura crítica que os solutos concentrados possam ter suficiente mobilidade, para

permitir sua migração por ação das forças que atuam durante o processo. Quando isso acontece, a estrutura do alimento se colapsa imediata e irreversivelmente, o que reduz a velocidade de transferência de vapor, e consequentemente, a desidratação.

Na prática, portanto, existe uma máxima que o gelo deve se elevar, uma temperatura mínima para o condensador e uma pressão mínima no liofilizador. Todas elas controlam a velocidade de transferência de massa (FELLOWS 1994).

Durante a liofilização, o conteúdo de água cai, desde o seu valor inicial, na zona congelada, a um valor inferior na camada liofilizada, que depende da pressão e vapor no liofilizador. Quando o calor se transmite através da camada do alimento liofilizado, a relação entre a pressão do liofilizador e a da superfície do gelo, é determinada pela seguinte fórmula:

$$P_i = P_s + \quad (\Theta_s - \Theta_i) \quad (7)$$

Onde:

$P_i$  (Pa) = pressão parcial de vapor de água na frente de sublimação

$P_s$  (Pa) = pressão parcial de vapor de água na superfície

$b$  (Kg/sm) = a condutividade térmica da camada liofilizada

$\lambda$  (J/Kg) = a permeabilidade da camada liofilizada

$\lambda$  (J/Kg) = calor latente de sublimação

$\Theta_s$  (°C) = temperatura na superfície do alimento

$\Theta_i$  (°C) = temperatura na frente de sublimação

#### 2.9.4. O Liofilizador

O liofilizador consiste, essencialmente, em uma câmara a vácuo, com bandejas onde se desloca o alimento a ser liofilizado e aquecedores para gerar o calor latente de sublimação. Para o vapor, usa-se o condensador de serpentinas, dotado de um sistema automático de descongelamento, para mantê-lo livre de gelo, mantendo assim sua capacidade de condensação. Esse aspecto é de grande importância, uma vez que grande parte de energia consumida é devido a refrigeração dos condensadores. E, portanto o rendimento de um liofilizador é determinado pela eficácia do condensador (FELLOWS, 1994).

$$\text{Eficácia} = \frac{\text{Temperatura de sublimação}}{\quad}$$

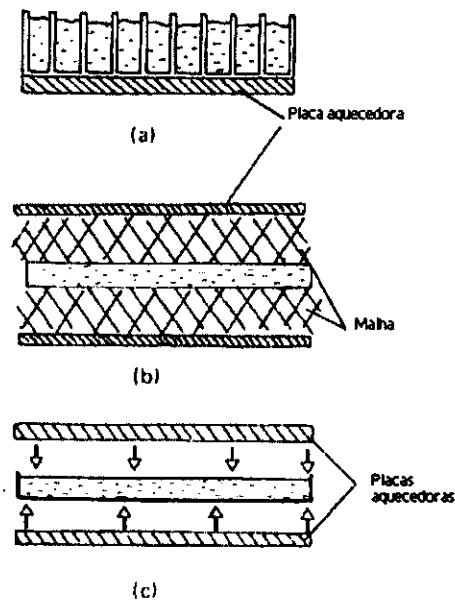
Temperatura do refrigerante  
no condensador

Os vapores no condensador são eliminados mediante bombas de vácuo.

### 2.9.5. Tipos de liofilizadores

#### A. Liofilizadores por Contato

Nesses liofilizadores, o alimento é colocado em bandejas com compartimentos, colocado sobre placas aquecedoras.



**Figura 6** – Sistemas de liofilização: (a) transmissão do calor por condução através de uma bandeja com compartimentos; (b) malha de metal expandido para a liofilização acelerada; (c) aquecimento das bandejas por radiação (FELLOWS, 1994).

Nesses casos, a liofilização é mais lenta, já que o calor se transmite por condução por uma camada do alimento. Além disso, o contato entre o alimento a congelar e a superfície aquecedora é desigual, o que reduz a velocidade de transferência de calor. Por outra parte, há uma queda de pressão na massa de alimento, provocando uma diferença entre a velocidade de liofilização na camada inferior e superior (FELLOWS, 1994).

#### B. Liofilizadores Acelerados

Nesse caso, entre o alimento e as placas aquecedoras existe uma malha metálica (Figura- 7b) fazendo com que a transferência de calor seja mais rápida que com placas contínuas e que o vapor se solte da superfície do alimento com maior facilidade, o que reduz o tempo da liofilização (FELLOWS, 1994).

#### C. Liofilizadores por Radiação

O alimento distribuído em bandejas, em camadas finas, e aquecem por radiação. É um aquecimento mais uniforme que por condução, uma vez que as irregularidades da superfície do alimento influenciam menos na transferência de calor. Também não ocorre a queda de pressão na massa do alimento, pois as condições de liofilização se mantêm constantes. Não é preciso grande contato entre o alimento e a superfície aquecedora, possibilitando o uso de bandejas mais baratas e de fácil limpeza (FELLOWS, 1994). Ver Figura 7c.

#### D. Liofilizadores de Aquecimento Dielétrico e por Microondas

A liofilização por microondas é um processo difícil de controlar, uma vez que a perda de água é maior que a de gelo, e se em algum ponto do alimento o gelo chegar a fundir-se, provocaria uma reação de sobre-aquecimento em cadeia (FELLOWS, 1994).

### 2.9.6. Efeito da Liofilização sobre os alimentos

Entre as alterações mais importantes sofridas pelo alimento devido à desidratação, estão aquelas relacionadas com o valor nutritivo e propriedades organolépticas (GAVA, 1998):

O alimento seco perdeu um certo conteúdo de umidade e por isso, haverá um aumento na concentração dos nutrientes por unidade de peso, comparando com o produto fresco.

Quando reconstituído ou reidratado, assemelha-se bastante ao produto natural, nunca chegando a igualar-se por causa das perdas de certos constituintes (GAVA, 1998).

Já os alimentos liofilizados, corretamente envasados, se conservam por mais de 12 meses sem modificações de seu valor nutritivo e em suas características organolépticas. Pela liofilização, consegue-se manter até 80% do aroma do alimento, o processo afeta apenas a textura, mesmo assim, não causa contração nem endurece sua camada superficial (FELLOWS, 1994).

Isso é devido ao fato de que os componentes do aroma não se encontram nem na água pura, nem nos cristais de gelo, portanto, durante a sublimação não são arrastados pelo vapor de água e ficam, conseqüentemente, retidos na trama dos alimentos liofilizados.

A estrutura do produto permanece praticamente inalterada após a secagem, com seus pequenos “túneis”, ou capilares, que antes eram cheios de água líquida agora, permanecem vazios, porém intactos (FIOREZE, 2004).

A estrutura porosa dos alimentos liofilizados faz com que sua reidratação seja muito rápida, pois seus capilares permanecem abertos, (Figura 8) tornando-os alimentos frágeis, bem susceptíveis a danos mecânicos.

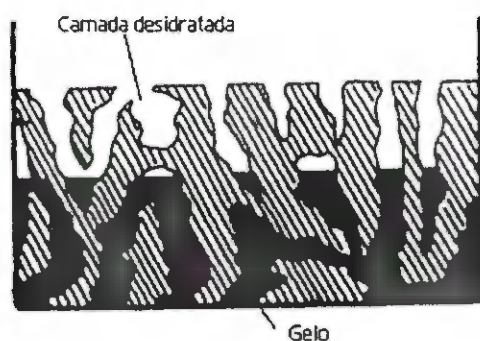


Figura 7 – Estrutura porosa dos alimentos liofilizados (GAVA; 1998).

O efeito da liofilização sobre as proteínas e carboidratos é mínimo. No entanto, sua estrutura porosa proporciona um bom acesso ao oxigênio, o que pode provocar alterações por oxidação de seus lipídios. Para evitar, os alimentos liofilizados com um alto teor de gorduras, devem ser envasados em atmosfera de gases inertes, tornando o processo ainda mais caro.

Quanto às vitaminas, FELLOWS (1994), afirma que a tiamina e o ácido ascórbico são pouco afetados e as perdas nas demais são desprezíveis. Fator este, de grande diferença entre uma desidratação qualquer e a liofilização.

Sem dúvida, em qualquer método de desidratação, os cuidados na preparação do produto para a secagem têm bastante influência na qualidade do produto final.

### 2.9.7. Vantagens e Desvantagens do Processo de Liofilização



Como todos os métodos de conservação, a liofilização tem suas vantagens e desvantagens. EVANGELISTA (1992), as cita da seguinte forma:

#### Vantagens do processo de Liofilização

|   |   |
|---|---|
| Ligadas à estrutura do produto          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alimentos de estrutura esponjosa, depois de reconstituídos, representam fielmente o produto original;</li> <li>• As moléculas constituem “estrutura sólida”, protegendo o produto contra deformações e migrações de seus componentes, durante a produção e locomoção de vapor;</li> </ul> |
| Ligadas á baixa temperatura de operação | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande redução: de perdas vitamínicas e de constituintes voláteis; de desnaturação na superfície do produto, de revestimento impermeável, do qual resulta dessecação não uniforme e conseqüente prejuízo da reidratação.</li> </ul>  |
| Ligada à digestibilidade                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A capacidade digestiva se torna mais elevada</li> </ul>  |
| Ligadas á reidratação                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A residratação é extremamente fácil, as condições são excelentes, tanto em velocidade como em quantidade.</li> </ul>   |
| Ligadas a outros fatores                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pela ausência de oxigênio, impede a ação de microrganismos anaeróbicos;</li> <li>• Pela eliminação da água, a ação enzimática é inibida;</li> <li>• Vários produtos, quando dessecados e bem embalados, podem permanecer sem riscos,</li> </ul>  |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>durante algum tempo, em temperatura ambiente;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alimentos liofilizados caracterizam por sua leveza e por não necessitarem de refrigeração;</li> <li>• O tempo de armazenamento é significativamente aumentado.</li> </ul> |
|--|--|

### Desvantagens do processo de Liofilização

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Implicações econômicas  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• A principal desvantagem é a do alto custo do processo, que só é compensador ao tratar de produtos caros, como café;</li> <li>• A onerosidade resulta dos gastos obrigatórios referentes ao preço dos equipamentos, sua manutenção e tempo de processamento exigido (cerca de 10 horas).</li> </ul> |
| Perdas de peso e volume | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesmo sendo imediata a reconstituição, o produto em comparação ao original perde peso e volume.</li> </ul>   |
| Degradações oxidativas  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem a proteção de embalagem adequada (vácuo ou atmosfera de gás inerte) o produto seco, por sua maior superfície, tem a degradação oxidativas.</li> </ul>  |
| Aceleração do processo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• As acelerações do processo normalmente, influem sobre a qualidade de produtos de origem protéica (pescado e outras carnes), que se tornam fibrosos ou esponjosos.</li> </ul>   |

#### 2.9.8. Parâmetros que influenciam o processo de liofilização

O congelamento é a primeira etapa do processo de liofilização. O desempenho global da liofilização depende significativamente deste estágio por causa da forma dos poros, da distribuição do tamanho dos poros, da conexão entre as redes de poros da camada seca formada pela sublimação da água ou da substância aquosa congelada durante a secagem primária e da dependência do processo de liofilização com os cristais de gelo formados durante o estágio de congelamento, tendo influência, também, na consistência do produto final, cor e retenção do aroma (FELLOWS, 1994).

O método e a taxa de liofilização, bem como a forma da solução contida e a natureza do produto, são críticos no processo de liofilização porque eles afetam a taxa de secagem e a qualidade do produto.

Segundo ADAMIEC et al. (1995), um congelamento lento (10-100°C/min) é prejudicial para as células porque propicia a formação de grandes cristais de gelo que após a sublimação da água ou da substância aquosa podem causar prejuízos mecânicos à estrutura das células. O congelamento *ultraswift* (1000°C/min) é resultado de uma queda brusca de pressão ou temperatura. Em consequência, desta espécie de choque, pequenos cristais de gelo são formados e distribuídos uniformemente sem afetar a estrutura das células. Este tipo de congelamento não só facilita o processo tecnológico como intensifica a desidratação. O congelamento *ultraswift* ou auto congelamento é indicado nos casos em que os materiais têm baixa umidade. Para materiais com alta umidade faz-se, primeiramente, um congelamento inicial.

## 2.10. Características sensoriais

Por meio da análise sensorial pode-se determinar a aceitabilidade e a qualidade dos alimentos, constituindo-se ainda como uma poderosa ferramenta nas pesquisas para o desenvolvimento de novos produtos. Como o auxílio dos órgãos humanos dos sentidos, as sensações resultantes das interações destes órgãos com os alimentos são usadas para interferir e analisar as diferentes características organolépticas dos alimentos (TEIXEIRA et al., 1987).

A avaliação sensorial de alimentos é função primária do homem, que desde a infância, os aceita ou os rejeita de acordo com a sensação sentida ao experimentá-lo e ingerí-los. Então, se é desejado avaliar a qualidade sensorial de um alimento e dizer as sensações que o homem terá ao ingeri-lo, nada mais óbvio do que perguntar a ele mesmo.

A análise foi criada para que o resultado deste tipo de questionamento fornecesse uma resposta precisa e reprodutível (CHAVES, 1993). Esse aspecto de qualidade, que incide diretamente na reação do consumidor, é que denomina qualidade sensorial, e é o que leva às inovações, ao sucesso ou ao fracasso.

As avaliações sensoriais são feitas pela associação dos sentidos: paladar, olfato e tato. A combinação das sensações e interações desses sentidos, servem como medida da qualidade na mente do provador (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

PORETTA (1996), afirma que por sua subjetividade, muitas vezes as análises sensoriais são duramente criticadas, mas analisando objetivamente os dados é possível extrair validade e conclusões reproduzíveis para cada dado. É interessante notar que pesquisas sensoriais demonstram que especialistas (peritos) não são mais sensíveis que pessoas não especialistas.

A análise sensorial é hoje uma disciplina desenvolvida com seus métodos e aplicados em indústria de produtos de consumo de várias áreas. A competição entre as indústrias por parcelas de mercado leva a uma necessidade de aperfeiçoamento da qualidade de seus produtos. As técnicas de análises têm grande aplicação nesse processo (CHAVES & SPROESSER, 1996).

### 2.10.1. Aparência e cor

A aparência é o fator de qualidade de maior importância do ponto de vista de comercialização. É avaliada por diferentes atributos como grau de frescor, tamanho, forma, cor, higiene, maturidade e ausência de defeitos (CHITARRA, 1998).

O consumo de um alimento, conhecido ou não do consumidor, depende em primeira instância da sua cor e do seu aspecto, pois quando um consumidor entra em contato com o alimento, a cor e aparência são as duas primeiras sensações que o atingem, e é o que os levará à aceitação, indiferença ou rejeição (BOBBIO & BOBBIO, 1992b).

A aparência de um alimento concorre grandemente para a sua aceitabilidade, razão pela qual a cor talvez, seja a propriedade mais importante dos alimentos, tanto os naturais quanto os processados. A cor dos alimentos resulta da presença de compostos coloridos já existentes no produto (pigmentos naturais), ou da adição de corantes sintéticos (ALMEIDA, 1996).

Segundo CHITARRA & CHITARRA (1990), os produtos vegetais apresentam três principais pigmentos, a clorofila, os carotenóides e as antocianinas, havendo em alguns casos formação de antocianinas.

De acordo com FIGUEIREDO (1998), a clorofila é responsável pela cor verde, abundante principalmente em frutos e nas folhas; a sua degradação é causada por vários fatores, entre eles pode-se citar alterações de pH, atividade enzimática da clorofilase, oxidantes e outros. Os carotenóides, geralmente são de cor amarela e laranja, podendo apresentar cor vermelha. Antocianinas são pigmentos responsáveis pelas cores em tons de vermelho. As antocianinas podem ocultar a clorofila e os carotenóides, devido a sua coloração acentuada.

A cor de um alimento pode variar consideravelmente de lugar para lugar e de estação para estação, dependendo de numerosos fatores. Desse modo, ela pode servir não só como útil critério de qualidade, mas também como indicador de vários tipos de mudanças deteriorativas sofridas pelo produto (SILVA, 1973).

### 2.10.2. Sabor

De acordo com CHAVES & SPROESSER (1996), sabor é, em análise sensorial, a experiência mista, mas unitária, de sensações gustativas, olfativas e táteis percebidas durante a degustação. O sabor engloba as sensações de gosto, odor e táteis orais, podendo ser influenciado pelos efeitos táteis, térmicos, dolorosos e sinestésicos.

O sabor e o aroma juntos são designados em conjunto como “flavor”, uma vez que se correlacionam como atributo de qualidade único. O “flavor” na realidade é a percepção sutil e complexa da combinação de sabor (doce, ácido, adstringente, amargo), odor (substâncias voláteis) e textura (firmeza, maciez, granulabilidade, etc) (CHITARRA, 1998).

O “flavor” é uma sensação complexa e difícil de ser avaliada em função da grande variedade de compostos químicos envolvidos. Esses compostos em conjunto conferem as características particulares de cada produto. As diferenças de sabor e aroma entre as espécies e, mesmo entre cultivares, estão relacionadas não só com algumas substâncias específicas predominantes, como também com a sua proporção no produto (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

As substâncias que conferem aos alimentos o sabor doce são os açúcares, dos quais os mais comuns: sacarose, glicose e frutose, os demais açúcares apresentam menor grau de doçura. O sabor ácido é atribuído à presença de ácidos orgânicos como tartárico, málico,

succínico, láctico e outros, que são encontrados nos tecidos vegetais e animais. São encontrados muitas diferenças entre os sabores produzidos pelos ácidos, o que comprova a importância do ânion na formação do sabor. Para o sabor salgado, o cloreto de sódio é o principal responsável, pois outros sais são menos eficientes, além de possuírem em sua grande maioria, um certo grau de amargor. O sabor amargo é produzido pelos alcalóides (quinino, cafeína, estricnina e solaninas), alguns peptídeos (proteína hidrolisada por enzimas de microrganismos em alguns queijos), alguns flavonóides na forma de glicídios (naringina e neo-hesperidinina) e também alguns sais (BOBBIO & BOBBIO, 1992, b).

### 2.10.3. Aroma

É o conjunto das sensações do olfato estimuladas pelos componentes voláteis que, em conjunto, conferem as características a cada produto CHITARRA & CHITARRA (1990).

CHAVES & SPROESSER (1996) afirmam que o aroma, fisiologicamente, é a sensação que se percebe por meio de células receptoras olfativas, quando por substâncias voláteis que passam pela boca.

De acordo com Zurowietz, citado por ARAÚJO (2000), o processo de percepção sensorial do olfato é dividido em três fases: na primeira fase, uma molécula olfativa passa por uma etapa de detecção e codificação, ou seja, o momento em que as partículas olfativas alcançam a membrana ciliar olfativa e lá são capturadas pelas proteínas. A segunda fase, consiste no processamento da informação, ou seja, da reconação dos símbolos e pode ser dita que é semelhante à ação de processamento de imagem em um computador. A terceira, é a integração, isso ocorre até as informações serem processadas, compreendidas, reconhecidas e identificadas. Durante esta fase, o molde comportamental começa a funcionar, e é apenas neste ponto que podemos falar do prazer.

Para a identificação e entendimento do aroma de um fruto ou outro produto é necessário conhecer a natureza dos constituintes presentes e a intensidade do aroma de cada componente (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Campus I, na cidade de Campina Grande – PB.

O processo de obtenção da manga liofilizada e manga-passa foram obtidos conforme a seqüência do fluxograma, apresentado na Figura 8.

#### 3.1 Matéria-prima

Frutos de manga (*Mangifera indica*, L.), da variedade Haden, que foram obtidos em mercados locais de Campina Grande – PB.

- **Seleção**

Na seleção foram verificados o estado geral de conservação dos frutos, estágio de maturação, tamanho, ausência de danos causados por choques ou insetos e consistência firme.

- **Higienização**

Os frutos foram lavados em água potável corrente, para retirar excessos de sujidades, em seguida, lavados com detergente neutro, o que reduz consideravelmente a flora microbiana. Depois de lavados, os frutos foram secos em ambiente natural, antes da próxima fase de processamento.

- **Descascamento manual**

Os frutos foram descascados manualmente, utilizando-se facas inoxidáveis, adequadas para o processamento.

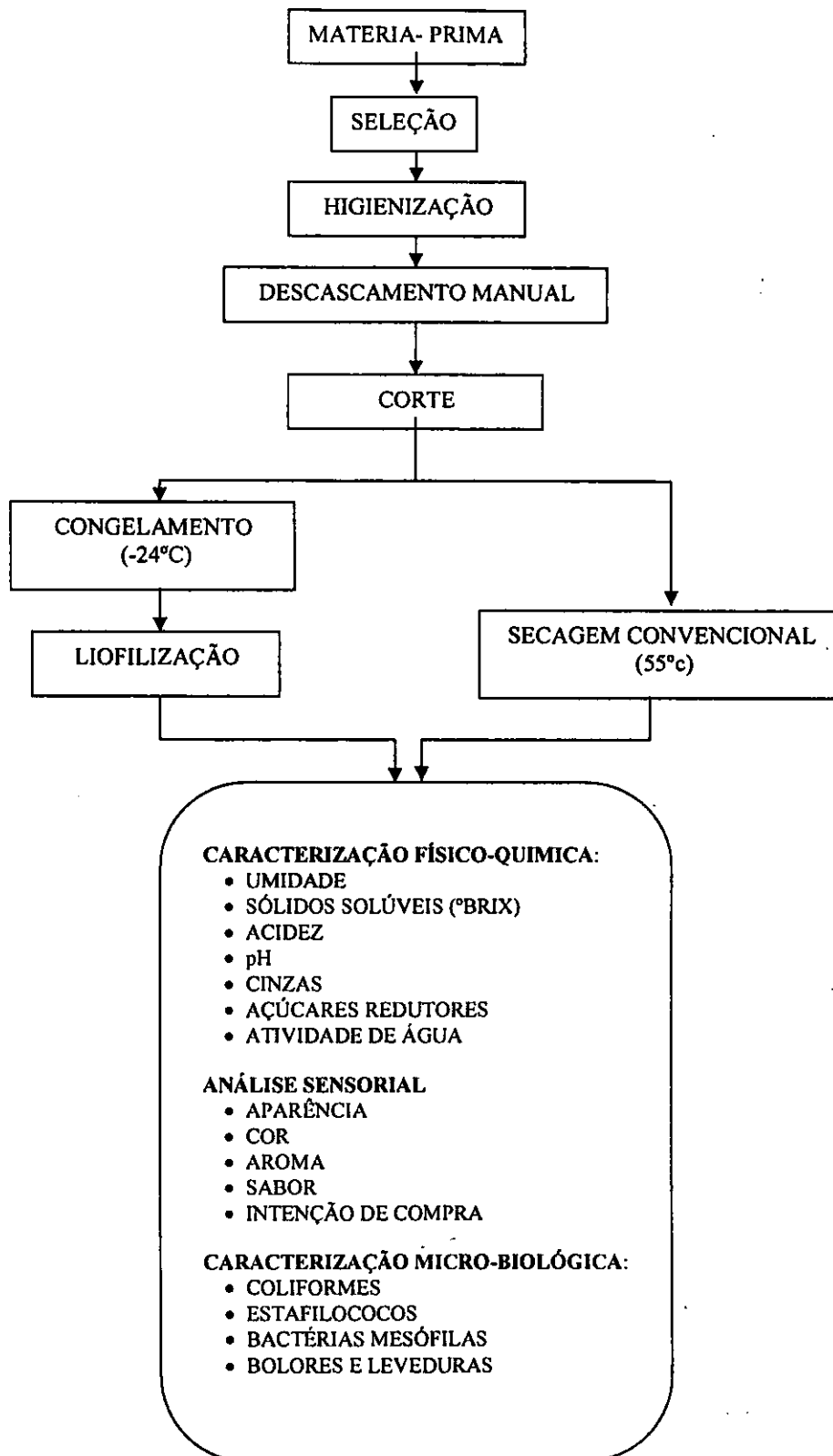
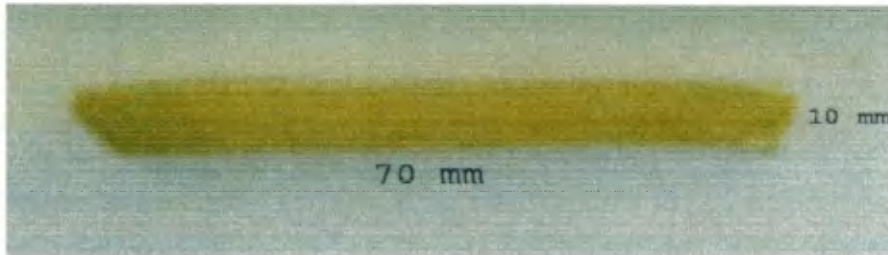


Figura 8 – Fluxograma do processamento da manga.



- **Corte**

As mangas foram cortadas tipo “palito”, com espessura média de 10 mm, o comprimento foi variado, devido à forma do fruto.



**Figura 9** – Corte da manga em forma de palito.

- **Embalagem**

As mangas já cortadas foram embaladas em saco plástico de polietileno de baixa densidade, de tal maneira que um palito não entrasse em contato com outro.

### **3.2. Congelamento da manga**

A manga em palitos foi submetida à temperaturas de congelamento  $-24^{\circ}\text{C}$ , em média, em freezer convencional marca Cònsul 220L, considerado um congelamento lento.

Para obtenção dos dados da cinética de congelamento, uma amostra do fruto foi cortada no formato de uma placa plana. Essa amostra foi submetida à temperatura média de  $-24^{\circ}\text{C}$  e, com auxílio de um termopar inserido no centro da amostra, foi feito o monitoramento e registro da queda de temperatura, em intervalos de cinco segundos no início, aumentando para um minuto e após o início do congelamento a cada 3 minutos, voltando a um minuto até que seja atingido o ponto de equilíbrio.

Os gráficos serão feitos utilizando os pontos de tempo e da razão de temperatura, calculada da seguinte forma:

$$RT = \frac{T_e - T_i}{T_e - T_0}$$

Onde:  $T_e$  = temperatura de equilíbrio;

$T_i$  = temperatura no instante;

$T_0$  = temperatura inicial.

### 3.3. Liofilização

O produto foi liofilizado em um equipamento Marca Terroni Fauvel, Modelo LB 1500, com temperatura e pressão fixas.



**Figura 10** – Liofilizador utilizado neste trabalho.

Primeiramente, aciona-se a chave geral do equipamento imediatamente, é ligado o frio do liofilizado, que leva, em média, 30 minutos para se estabilizar. Após esse período, a manga é colocada no equipamento já congelada e dispostas em bandejas, um palito bem próximo ao outro, então o vácuo é acionado, dando início ao processo de liofilização propriamente dito.



**Figura 12** – Bandeja de liofilização com a manga já congelada.

O aparelho permanece nessas condições por 22 horas, em média, quando então é desligada a chave do frio, ficando de 1 a 2 duas horas apenas o vácuo agindo sobre o produto. Esta metodologia foi aprimorada após inúmeros testes, quando verificou-se que a retirada do produto ainda frio causava uma umidade superficial no mesmo, pois o vapor de água existente no ar, condensava em sua superfície, ocasionando mudança na consistência e aparência do produto. Por isso, depois de desligado o frio, a manga permaneceu no liofilizador, sobre o vácuo.

Passado esse período, o vácuo é desligado e a manga liofilizada é retirada rapidamente, para que a mesma não absorva umidade do meio.

As bandejas contendo o produto foram pesadas no início e no final do processo, para controle de rendimento.

Durante todo o processo e, principalmente ao retirar a manga já liofilizada, o ar condicionado do laboratório permaneceu ligado.

#### 3.4. Secagem convencional

Os palitos de manga foram colocados no secador de bandeja, com circulação de ar para realização de secagem na temperatura de 55°C. A temperatura de secagem foi amena para evitar o enrijecimento da passa e a caramelização do açúcar da fruta, podendo ocasionar um escurecimento do produto final.

O ponto final de secagem foi definido pelo teor de água final prevista para a manga-passa, em torno de 10%. Para este fim utilizou-se um desidratador de frutas, **Polidryer PD-25** (Figura 13).

Antes do início da secagem foi determinado o teor de água inicial da manga, de acordo com A.O.A.C. (1997), que constitui em se submeter amostras da manga em estufa, a temperatura de 105°C +/-2°C por um período de 72 horas para permitir a retirada total da água. Foram utilizadas três repetições.



**Figura 12** – Secador de bandejas Polidryer PD-25, para desidratação de frutas.

A fórmula utilizada para determinação do teor de água inicial foi:

$$Xbu(\%) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad (8)$$

onde:

P<sub>i</sub>: peso inicial, em gramas;

P<sub>f</sub>: peso final, em gramas.

Determinada a umidade inicial da manga, usou-se a seguinte fórmula para acompanhar a umidade do produto no processo de secagem, através da variação de peso como parâmetro de determinação:

$$Xbu = 100 - \left[ \frac{P_i(100 - X_i)}{P_f} \right] \quad (9)$$

onde:

X<sub>bu</sub>: teor de água em base úmida;

P<sub>i</sub>: peso inicial do produto a ser seco

P<sub>f</sub>: peso final do produto após secagem;

X<sub>i</sub>: umidade inicial do produto.

Para a determinação do teor de água em base seca foi utilizada a seguinte fórmula:

$$X_{bs} = \frac{X_{bu}}{(1 - X_{bu})} \quad (10)$$

onde:

X<sub>bs</sub>: teor de água em base seca

X<sub>bu</sub>: teor de água em base úmida

Para determinação da Razão de Umidade foi utilizada a seguinte fórmula:

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs_{inicial}} - X_e} \quad (11)$$

onde:

RX: razão de umidade (adimensional)

X<sub>e</sub>: teor de água de equilíbrio em base seca

X<sub>bs</sub>: teor de água em base seca

X<sub>bs</sub> (inicial): Umidade inicial em base seca

Conhecendo-se o teor de água inicial dos frutos, a secagem foi acompanhada da perda de peso com relação ao tempo, utilizando-se uma balança analítica modelo METLER PC 440, com precisão de 0,001g.

TABELA 2 – Equações testadas para representar a secagem da manga a temperatura de 55°C.

| Item | Equação  | Autores                |
|------|--|------------------------|
| 01   | $RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \exp(-k t^n)$  | PAGE . (1949),         |
| 02   | $t = A.\ln(RX) + B[\ln(RX)]^2$   | THOMPSON et al. (1967) |
| 03   | $RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = a_1 \exp(-a_2 t^{a_3}) + a_4 \exp(-a_2 t^{a_5}) + a_6$ | CAVALCANTI MATA (2004) |

Sendo:

RX = Razão de umidade;

X = teor de água inicial;

X<sub>e</sub> = teor de água de equilíbrio;

X<sub>i</sub> = teor de água no instante;

k, n, A, B, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub>, a<sub>5</sub> e a<sub>6</sub> = são parâmetros das equações.

### 3.5. Embalagem do produto final

O produto ao final, tanto da liofilização, quanto da secagem convencional, será acondicionado em embalagens metalizadas de polipropileno, revestidas internamente com polietileno, em quantidades iguais de 30g. As embalagens foram fechadas utilizando uma seladora termoelétrica, sendo a exaustão realizada manualmente.

Após o fechamento as embalagens foram devidamente rotuladas para identificação do conteúdo, identificação esta em que constam a data de fabricação e temperatura em que o produto foi congelado para ser liofilizado, no caso da liofilização, temperatura de secagem no caso da secagem convencional. Estes produtos foram armazenadas à temperatura ambiente, sob ventilação e condições higiênico-sanitárias adequadas, dentro de caixa de isopor limpa.

### 3.6 Caracterização físico-química

As análises físico-químicas foram realizadas na manga “in natura”, liofilizada e passa. As determinações de acidez titulável, açúcares redutores, não redutores e totais, sólidos solúveis, potencial hidrogeniônico, foram realizadas no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Campus I, na cidade de Campina Grande – PB. As determinações de cinzas, teor de água e atividade de água (28° C) foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa/PB.

Para a realização das análises de acidez titulável, determinação dos sólidos solúveis totais e potencial hidrogeniônico (pH), as amostras foram preparadas diluindo-se 5 (cinco) gramas das mesmas em 100 mL de água destilada, ficando sob agitação por 1 hora. No caso da manga “in natura”, foram usados 5 g de polpa e nas manga liofilizadas e passa, as amostras foram trituradas antes de diluídas em água.

- **Acidez titulável**

Conforme a metodologia descrita nas NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ, (1985), a análise da acidez titulável total foi realizada através da titulometria de neutralização, como o hidróxido de sódio a 0,1 N.

- **Teor de água**

A determinação do teor de água foi realizada através de aquecimento direto, um método gravimétrico, determinando-se a perda de massa do material submetido a aquecimento em estufa a 105<sup>0</sup> C, até massa constante, seguindo a metodologia descrita no manual do INSTITUTO ADOLFO LUTZ, (1985).

- **Cinzas**

As cinzas foram determinadas por incineração, seguindo a metodologia descrita nas NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ, (1985).

Determinou-se a perda de massa do material submetido a aquecimento em mufla a temperatura de 550<sup>0</sup> C, até massa constante.

- **Açúcares totais e redutores**

O teor de açúcares totais foi determinado pelo Método de Lane e Eynon (A.O.A.C., 1984), o qual consiste da redução do cobre presente na solução de Fehling através de açúcares invertidos. O conteúdo de açúcar presente na amostra foi obtido pelo volume de solução de açúcar necessário para reduzir completamente a solução de Fehling de volume conhecido.

- **Determinação dos sólidos solúveis totais**

A determinação dos sólidos solúveis totais foi realizada através de leitura direta com um refratômetro do tipo Abbe, colocando-se uma gota do suco no prisma e fazendo-se a leitura direta em °Brix. A leitura do °Brix foi corrigida em função da temperatura da amostra utilizando-se a tabela contida no manual do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

Como foi necessário fazer uma diluição para a leitura do Brix, fez-se uma relação para obtenção do valor real dos sólidos solúveis. Foram utilizadas 20 partes de água para 1 parte de amostra (21 partes ao total). Então, o valor da leitura do aparelho foi multiplicado por 21.

- **Sólidos totais**

O teor de sólidos totais foi obtido a partir do teor de água, através da relação: (100 – teor de água).



- **Potencial hidrogeniônico (pH)**

A determinação do potencial hidrogeniônico (pH) foi realizada através de leitura direta, segundo as NORMAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985)

- **Atividade de água**

A determinação da atividade de água foi realizada com o auxílio do equipamento Aqualab CX-2T, Decagon a 28°C, apresentando erro de  $\pm 0,003$  no valor final. Este equipamento tem por princípio a medida do ponto de orvalho da amostra acondicionada em cápsula plástica e levada a um banho termostaticado.

### **3.7 – Análise Microbiológica**

As determinações microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa/PB. Foram realizadas as análises microbiológicas nas mangas processadas.

Para a realização dos ensaios microbiológicos foram seguidas as diretrizes gerais da INSTRUÇÃO NORMATIVA n.º. 62, de 26 de agosto de 2003, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

### **3.8. Análise sensorial**

A análise sensorial foi realizada segundo uma escala hedônica estruturada (TEIXEIRA *et al.*, 1987) para avaliar o aroma, aparência, sabor e cor com escala variando de 9 (gostei muitíssimo) a 1 (desgostei muitíssimo). Os testes serão realizados por 30 degustadores de ambos os sexos, não treinados, cuja idade mínima foi 20 e máxima 50 anos, contendo representantes de camadas sociais diferentes, os quais foram recrutados dentro da comunidade universitária (alunos, funcionários e professores). Os degustadores recrutados receberam um breve esclarecimento de como deviam proceder em suas avaliações.

Para a execução dos testes, as amostras foram apresentadas aos julgadores todas de uma vez, em sacos plásticos transparentes, codificados com números de três dígitos aleatórios; cada amostra foi constituída de um palito da manga seca à temperatura ambiente (ISO 5497, 1982). Juntamente com a manga foram servidos biscoito água e sal e, também, água mineral. Os degustadores foram instruídos a fazer uma pausa entre uma análise e outra, servindo-se desses dois produtos no sentido de minimizar os efeitos do sabor residual deixado na boca pela prova anterior.

Foram realizadas também pesquisas de intenção de compra e comparação direta de preferência.

#### 4.9. Análise Estatística

O delineamento experimental empregado para a caracterização físico-química da manga em cada processamento foi o inteiramente casualizado com 03 tratamentos e com três repetições (T1 - "in natura", T2 – após liofilização, T3 – após secagem a 55° C). Realizou-se a análise de variância e o teste de comparação de médias pelo teste de tukey ao nível de 1 e 5% utilizando-se o programa computacional ASSISTAT, versão 7.3 Beta.

Todos os resultados foram avaliados por análise de variância (ANOVA), segundo tratamento fatorial. Os valores que mostraram diferença significativa de médias foram complementados com o teste de Tukey, ao nível de 5% ( $p = 0,05$ ) ou de 1% ( $p = 0,01$ ) de probabilidade, usando o programa Assistat Versão 7.3 Beta.

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra de MANGA LIOFILIZADA para avaliar quanto aos atributos sensoriais contidos na tabela abaixo. Indique usando a escala abaixo o quanto você gostou ou desgostou da amostra.

9. Gostei muitíssimo;
8. Gostei muito;
7. Gostei moderadamente;
6. Gostei ligeiramente;
5. Não gostei, nem desgostei.
4. Desgostei ligeiramente;
3. Desgostei moderadamente;
2. Desgostei muito;
1. Desgostei muitíssimo.

---

**CÓDIGO DA AMOSTRA:** \_\_\_\_\_

| ATRIBUTO        | VALOR CONFORME ESCALA |
|-----------------|-----------------------|
| Aparência geral |                       |
| Cor             |                       |
| Sabor           |                       |
| Aroma           |                       |

○ **Intenção de compra:**

Você compraria esse produto?

SIM
  NÃO

Figura 13 – Modelo de formulário utilizado para análise dos atributos sensoriais da manga liofilizada

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

Você está recebendo uma amostra de MANGA-PASSA para avaliar quanto aos atributos sensoriais contidos na tabela abaixo. Indique usando a escala abaixo o quanto você gostou ou desgostou da amostra.

9. Gostei muitíssimo;
8. Gostei muito;
8. Gostei moderadamente;
7. Gostei ligeiramente;
6. Não gostei, nem desgostei;
5. Desgostei ligeiramente;
4. Desgostei moderadamente;
3. Desgostei muito;
2. Desgostei muitíssimo.

---

**CÓDIGO DA AMOSTRA:** \_\_\_\_\_

| ATRIBUTO        | VALOR CONFORME ESCALA |
|-----------------|-----------------------|
| Aparência geral |                       |
| Cor             |                       |
| Sabor           |                       |
| Aroma           |                       |

○ **Intenção de compra:**

Você compraria esse produto?

SIM
  NÃO

**Figura 14** – Modelo de formulário utilizado para análise dos atributos sensoriais da manga passa

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização físico-química

Os valores médios da caracterização inicial da manga “*in natura*” encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3** – Valores médios das características físico química da manga “*in natura*”,

| Manga “ <i>in natura</i> ”        |               |
|-----------------------------------|---------------|
| Açúcares Redutores (% glicose)    | 10,57 ± 0,205 |
| Açúcares não-redutores (%glicose) | 4,99 ± 0,423  |
| Açúcares Totais (%glicose)        | 15,56 ± 0,292 |
| Acidez titulável (%ácido cítrico) | 0,37 ± 0,010  |
| Atividade de água (28° C)         | 0,991 ± 0,01  |
| Cinzas (%)                        | 0,34 ± 0,061  |
| Teor de água (%)                  | 83,25 ± 0,670 |
| pH                                | 4,53 ± 0,055  |
| Sólidos Solúveis (°Brix)          | 14,20 ± 0,057 |
| Sólidos Totais (%)                | 16,75 ± 0,670 |

Santos e Azevedo citado por RIBEIRO (2004) e próprio RIBEIRO (2004), encontraram para manga Tommy Atkins valores de açúcares redutores bem menores do que o encontrados neste trabalho (10,57%), que são de 3,88, 3,46 e 3,88 (%glicose), respectivamente. Já os açúcares totais foram menores do que os encontrados por RIBEIRO (2004), de 17,35 (%glicose) e menores que os encontrados por Santos, citado por RIBEIRO (2004) (%glicose).

Os valores médios da acidez da manga “*in natura*” encontrados nesse estudo foram menores do que os obtidos por RIBEIRO (2004) de 0,84 (% de ácido cítrico) e por BRANDÃO et al. (2003) de 0,61 (%de ácido cítrico ) para manga, porém, maiores do que os obtidos por Azevedo, citado por RIBEIRO(2004).

Ainda os mesmos autores encontraram valores próximos quanto aos teores médios de água inicial, cinzas e sólidos totais. E a atividade de água (28°C) é bem próxima à encontrada por BRANDÃO et al. (2003), que foi 0,982.

O valor do pH foi (4,53) foi maior do que os obtido por BRANDÃO et al. (2003) com o valor de 3,60 por Santos, citado por RIBEIRO (2004) que foi de 4,11.

Os sólidos solúveis encontrados por RIBEIRO (2004) foi de 9,07 °Brix, valor este menor do que da manga utilizada nesta pesquisa (14,2 °Brix), enquanto que Azevedo e Santos citados por RIBEIRO (2004) e BRANDÃO et al. (2003) encontraram valores maiores que foram 15,80, 15,00 e 16,00 °Brix, respectivamente.

Os resultados da caracterização físico-química da manga após cada processo encontram-se nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4 – Valores médios das características físico-químicas da manga liofilizada.**

| <b>Manga Liofilizada</b>          |               |
|-----------------------------------|---------------|
| Açúcares Redutores (%glicose)     | 60,86 ± 2,240 |
| Açúcares não-redutores (%)        | 17,40 ± 4,12  |
| Açúcares Totais (%)               | 78,26 ± 2,025 |
| Acidez titulável (%ácido cítrico) | 4,17 ± 0,133  |
| Atividade de água (28° C)         | 0,335 ± 0,019 |
| Cinzas (%)                        | 2,00 ± 0,158  |
| Teor de água (%)                  | 10,85 ± 0,689 |
| pH                                | 3,94 ± 0,153  |
| Sólidos Solúveis (°Brix)          | 67,20 ± 2,100 |
| Sólidos Totais (%)                | 89,15 ± 0,689 |

**Tabela 5 – Valores médios das características físico-química da manga-passa. Campina**

| <b>Manga Passa</b>                |               |
|-----------------------------------|---------------|
| Açúcares Redutores (%glicose)     | 53,58 ± 4,901 |
| Açúcares não-redutores (%)        | 9,16 ± 1,708  |
| Açúcares Totais (%)               | 62,74 ± 0,791 |
| Acidez titulável (%ácido cítrico) | 2,33 ± 0,100  |
| Atividade de água (28° C)         | 0,585 ± 0,015 |
| Cinzas (%)                        | 1,91 ± 0,080  |
| Toer de água (%)                  | 11,54 ± 0,897 |
| pH                                | 4,22 ± 0,015  |
| Sólidos Solúveis (°Brix)          | 84,00 ± 1,212 |
| Sólidos Totais (%)                | 88,46 ± 0,897 |

Analisando as Tabelas 4 e 5, percebe-se que o brix, a acidez e os açúcares aumentaram bastante em relação à manga “in natura”, tendo em vista que foi retirada água do produto, logo houve uma concentração dos sólidos solúveis.

Na secagem, o alimento perde água, e como resultado, tem um aumento na concentração de nutrientes na massa restante. (DESROSIER, 1981).

O pH sofreu uma pequena diminuição em ambos os processos, em relação à manga “in natura”. Segundo GAVA (1998), é esperado que o produto baixe um pouco seu pH no processo de secagem.

O teor de água da manga-passa ficou um pouco mais elevado que a manga liofilizada, isso faz com que a acidez da última seja mais alta.

Quanto à atividade de água (28° C) das três amostras, verificou-se uma grande diferença, sendo para manga “in natura” 0,991, para a manga liofilizada, 0,335 e manga-passa 0,585. Segundo VAN'DENDER *et al* (1983), essa diferença, deve-se ao fato de que o processo de liofilização conserva melhor as substâncias ligantes da manga (ácidos, sais, açúcares, etc.), como também, alta temperatura utilizada na obtenção da manga-passa quebra a estrutura interna da fruta, deixando a água livre. Pode-se observar também que de acordo com o gráfico de escurecimento químico em relação à atividade de água (Figura 16), a manga-passa encontra-se exatamente no pico desta curva, sendo esse, um dos motivos para um produto mais escuro que o obtido através da liofilização, uma outra causa seria o tempo prolongado em que o produto permaneceu em contato com a alta temperatura. Contudo, a cor da manga-passa não é inconveniente, pois quando se fala de fruta-passa, o consumidor logo imagina um produto bem escurecido, em relação à fruta “in natura”.

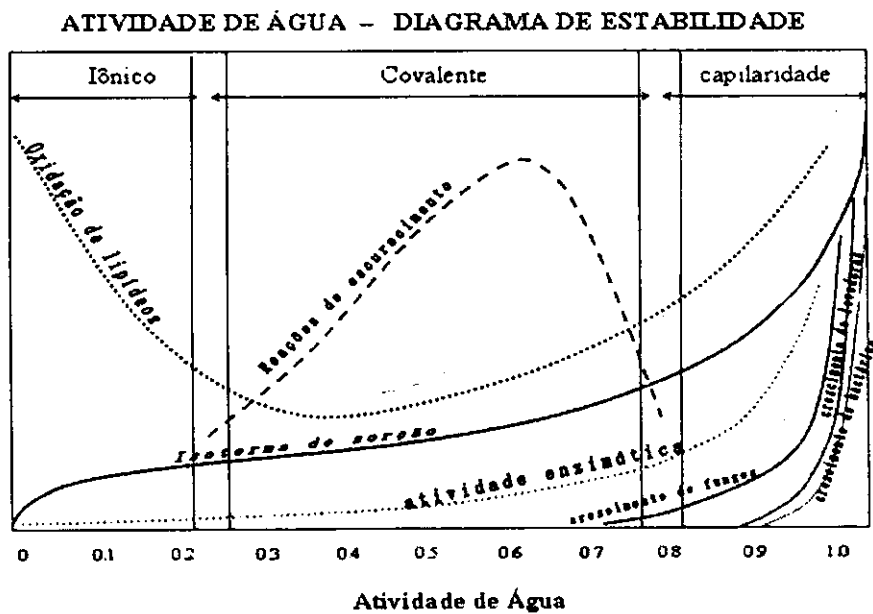


Figura 15 – Mapa de estabilidade em função da atividade de água ( $A_w$ ). Adaptado a partir de Labuza (1970).

Na Tabela 6 encontra-se a análise de variância realizada para as características físico-químicas da manga, obtidas por liofilização e por secagem.

**Tabela 6 - Análise de variância das características físico-químicas da manga.**

| FV          | GL | Açúcares Redutores | Açúcares não Redutores | Açúcares Ttotais | °Brix     | Acidez  |
|-------------|----|--------------------|------------------------|------------------|-----------|---------|
| Tratamentos | 02 | 4431,94**          | 240,15**               | 6397,90**        | 3925,58** | 10,79** |
| Resíduo     | 06 | 11,97              | 80,15                  | 32,63            | 1,96      | 0.00933 |
| Total       | 08 | -----              | -----                  | -----            | -----     | -----   |
| CV(%)       |    | 3,39               | 34,72                  | 4.46815          | 2,55      | 4,22    |

| FV         | GL | Teor de água | Atividade de água | pH      | Cinzas  |
|------------|----|--------------|-------------------|---------|---------|
| Tratamento | 02 | 5314,64**    | 0,33**            | 0,25**  | 2,61**  |
| Resíduo    | 06 | 5,032        | 0.00020           | 0,00017 | 0,01173 |
| Total      | 08 | -----        | -----             | -----   | -----   |
| CV(%)      |    | 6,47         | 2,20              | 0.30    | 7,63    |

Conforme pode ser observado na Tabela 6, houve diferença significativa entre os valores médios de todos os parâmetros físico-químicos analisados para a manga após cada processamento.

### Açúcares Redutores

Na Tabela 7 encontram-se os resultados da comparação entre os valores médios dos açúcares redutores da manga após cada processamento.

**Tabelas 7 – Comparação entre os valores médios dos açúcares redutores da manga “in natura” e após cada processamento.**

| Tratamentos | Açúcares Redutores (% glicose) |
|-------------|--------------------------------|
| In natura   | 10,57 c                        |
| Liofilizada | 60,86 a                        |
| Passa       | 53,58 b                        |
| MG = 41,67  | DMS = 3,54                     |



As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

O valor de açúcares redutores foi, significativamente, maior para a manga liofilizada do que para a manga-passa e ambas, como esperado, apresentaram valores de açúcares bem maiores ao da manga “in natura”.

De acordo com DESROSIER (1981), as proteínas, lipídios e açúcares estão presentes em maior quantidade por unidade de peso nos alimentos secos que nos frescos. Isso se deve ao fato que na secagem, o alimento perde água, concentrando os nutrientes presentes.

FIGLIORINI (2004), diz que frutas-passas são frutas que tem seu teor de umidade diminuído, onde, conseqüentemente, ocorre uma elevação do teor de açúcares naturais da própria fruta.

Como já foi citado anteriormente, VAN'DENDER *et al* (1983), afirma que o processo de liofilização conserva mais as substâncias ligantes do alimento que o processo de secagem convencional. Dentre essas substâncias estão os açúcares. Isso explica o teor de açúcar ser maior na manga liofilizada que na manga-passa.

#### Açúcares não-redutores

Na Tabela 8 encontram-se os resultados da comparação entre os valores médios dos açúcares não-redutores da manga após cada processamento.

**Tabelas 8** – Comparação entre os valores médios dos açúcares não-redutores da manga “in natura” e após cada processamento.

| Tratamentos | Açúcares não-redutores (% glicose) |
|-------------|------------------------------------|
| In natura   | 4,99 b                             |
| Liofilizada | 17,42 a                            |
| Passa       | 9,16 ab                            |
| MG = 10,52  | DMS = 9,16                         |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Assim como para os açúcares redutores, o mesmo comportamento foi observado para os açúcares não-redutores, ou seja, o maior valor foi observado para liofilizada; como também as justificativas são as mesmas que dos açúcares redutores. É interessante observar que, devido à análise estatística levar em consideração, também, a manga “in natura” o desvio médio significativo se torna muito grande, fazendo com que os valores obtidos para a manga, após a liofilização e após a secagem convencional, sejam iguais significativamente. Quando a manga liofilizada possui um valor que é, aproximadamente, o dobro do valor de açúcares não-redutores da manga-passa. A manga-passa, segundo a análise estatística possui um valor de açúcares não-redutores que é igual ao da manga liofilizada e, também, da manga “in natura”. Talvez uma análise comparando as médias desses valores, apenas para os produtos processados expresse melhor estes resultados, levando em consideração que o DMS é muito grande.

#### Açúcares totais

Na Tabela 9 encontram-se os resultados da comparação entre os valores médios dos açúcares redutores da manga após cada processamento.

**Tabelas 9** – Comparação entre os valores médios dos açúcares totais da manga “in natura” e após cada processamento.

| Tratamentos | Açúcares Totais (% glicose) |
|-------------|-----------------------------|
| In natura   | 15,56 c                     |
| Liofilizada | 78,28 a                     |
| Passa       | 62,74 b                     |
| MG = 52,19  | DMS = 5,84                  |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Observando a Tabela 9, constata-se exatamente o comportamento previsto, uma vez que os açúcares totais são obtidos da soma dos açúcares redutores e não-redutores.

### Acidez titulável

Na Tabela 10 encontram-se os resultados da comparação entre os valores médios da acidez da manga após cada processamento.

**Tabelas 10** – Comparação entre os valores médios da acidez da manga “in natura” e após cada processamento.

| Tratamentos | Acidez Titulável (% ácido cítrico) |
|-------------|------------------------------------|
| In natura   | 0,37 c                             |
| Liofilizada | 4,17 a                             |
| Passa       | 2,33 b                             |
| MG = 2,29   | DMS = 0,24                         |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem, estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

A manga liofilizada possui maior acidez do que a manga “in natura” e bem maior do que a manga-passa. Um fato esperado, pois, segundo DESROSIER (1981), nos alimentos secos convencionalmente, há uma perda nos ácidos, causada pela temperatura empregada no processo. Já a secagem por congelamento (liofilização), retém grandes quantidades de ácido ascórbico e outros ácidos.

### Teor de água

Na Tabela 11 encontram-se os resultados da comparação entre os valores médios do teor de água da manga após cada processamento.

**Tabelas 11** – Comparação entre os valores médios do teor de água da manga “in natura” e após cada processamento.

| Tratamentos | Teor de água (%) |
|-------------|------------------|
| In natura   | 83,26 a          |
| Liofilizada | 10,85 b          |
| Passa       | 11,54 b          |
| MG = 34,66  | DMS = 6,47       |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

**pH**

Na Tabela 12 encontram-se os resultados da comparação entre os valores médios do pH da manga após cada processamento.

**Tabelas 12** – Comparação entre os valores médios do pH da manga “in natura” e após cada processamento.

| <b>Tratamentos</b> | <b>Ph</b>  |
|--------------------|------------|
| In natura          | 4,56 a     |
| Liofilizada        | 3,94 c     |
| Passa              | 4,22 b     |
| MG = 4,23          | DMS = 0,30 |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Apesar de próximos, houve variação significativa de pH entre todos os processos, sendo maior valor de pH, observado para a manga “in natura”, seguida da manga-passa e o menor valor foi observado para a manga liofilizada. Segundo GAVA (1998), é esperada uma pequena queda do pH do produto depois da perda da água.

A concentração de íons hidrogênio (pH) de um alimento é importante pela influencia que exerce sobre tipos de microrganismos aptos à sua multiplicação e, tende a diminuir com o decréscimo do teor de água, como ocorreu nos dois processamentos. Podemos verificar que na liofilização, que foi retirada mais água do produto, o seu pH ficou menor que no caso da manga-passa.

No caso de ambos os processos, o valor do pH ficou satisfatório, uma vez que para a industrialização de frutas é interessante que o pH seja inferior a 4,3, pois confere aos produtos industrializados maior resistências aos microrganismos patogênicos (GAVA, 1998).

**Sólidos solúveis (° Brix)**

Na Tabela 13 encontram-se os resultados da comparação entre os valores médios dos sólidos solúveis da manga após cada processamento.

**Tabelas 13** – Comparação entre os valores médios dos sólidos solúveis da manga “in natura” e após cada processamento.

| Tratamentos | Sólidos solúveis (° Brix) |
|-------------|---------------------------|
| In natura   | 14,17 c                   |
| Liofilizada | 67,20 b                   |
| Passa       | 83,30 a                   |
| MG = 54,89  | DMS = 2,55                |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Como os demais sólidos, houve uma grande concentração dos sólidos solúveis, sendo maior na manga-passa que na liofilizada. Isso ocorre devido ao processo de caramelização ocorrido na fruta-passa devido à temperatura empregada na secagem convencional. (GAVA, 1998)

#### Atividade de água

Na Tabela I4 encontram-se os resultados da comparação entre os valores médios da atividade de água da manga após cada processamento.

**Tabelas 14** – Comparação entre os valores médios da atividade de água (28° C) da manga “in natura” e após cada processamento.

| Tratamentos | Atividade de água |
|-------------|-------------------|
| In natura   | 0,991 a           |
| Liofilizada | 0,335 c           |
| Passa       | 0,585 b           |
| MG = 0,637  | DMS = 2,202       |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Segundo FIOREZE (2004), ao ter seu teor de água diminuído, o produto tem, conseqüentemente, sua atividade de água diminuída.

## Cinzas

Na Tabela 15 encontram-se os resultados da comparação entre os valores médios da atividade de água da manga após cada processamento.

**Tabelas 15** – Comparação entre os valores médios de cinzas da manga “in natura” e após cada processamento.

| Tratamentos | Cinzas (%) |
|-------------|------------|
| In natura   | 0,34 b     |
| Liofilizada | 2,01 a     |
| Passa       | 1,91 a     |

MG = 1,42

DMS = 7,63

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Os teores de cinzas foram iguais para a manga obtida pelos dois processos, liofilizada e por secagem, e maiores ao da manga “in natura”, devido ao teor de água elevado do produto “in natura”, uma vez que estes teores são proporcionais à massa.

Ocorre nas cinzas o mesmo que nos açúcares e ácidos, explicado anteriormente por DESROSIER (1981), com a diminuição do teor de água, ocorre a concentração dos sólidos restante por unidade de massa.

## 4.2. Análise Microbiológica

Na Tabela 16 encontram-se os resultados das análises microbiológicas da manga após cada processamento.

**Tabela 16** – Valores médios das determinações microbiológicas da manga liofilizada e manga-passa.

| Amostras<br>Determinação                 | MANGA<br>LIOFILIZADA | MANGA<br>PASSA     | LIMITES<br>PERMITIDOS<br>* |
|--|----------------------|--------------------|----------------------------|
| Contagem de bactérias mesófilas (UFC/g)  | $4,20 \times 10^2$   | $1,10 \times 10^2$ | **                         |
| Estafilococos coagulase positiva (UFC/g) | Ausente              | Ausente            | $10^3$                     |
| Coliformes a 45° C (MNP/g)               | Ausente              | Ausente            | $10^2$                     |
| Bolores e Leveduras (UFC/g)              | Ausente              | Ausente            | $10^3$                     |

\*Valores estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (M.A.P.A.).

\*\* Não há limite estabelecido pelo M.A.P.A.

De acordo com os valores obtidos na manga liofilizada, a amostra analisada, com relação a coliformes a 45°C, bolores e Estafilococos (microrganismo característico de manipulação sem a higiene adequada), se encontra em perfeito estado higiênico-sanitário, pois além de estar dentro dos limites estabelecidos, não foi encontrada nenhuma contagem desse tipo de bactéria; quanto a bactérias mesófilas, foram encontradas contagens, mas nada que prejudique o produto, como mostrado na Tabela 16.

No caso da manga-passa, não foi encontrada nenhuma contagem em relação a coliformes a 45°C, Estafilococos, bolores e leveduras. Foi encontrado apenas um pequeno número de bactérias mesófilas.

Na Tabela 17 encontram-se os resultados das análises microbiológicas da manga liofilizada, após 8 meses do processamento.

**Tabela 17 – Valores médios das determinações microbiológicas da manga liofilizada após 8 meses de armazenamento.**

| <b>Amostras</b>                                 | <b>MANGA LIOFILIZADA</b> | <b>LIMITES PERMITIDOS*</b> |
|---|--------------------------|----------------------------|
| <b>Determinação</b>                             |                          |                            |
| <b>Contagem de bactérias mesófilas (UFC/g)</b>  | 8,27 x 10 <sup>2</sup>   | **                         |
| <b>Estafilococos coagulase positiva (UFC/g)</b> | Ausente                  | 10 <sup>3</sup>            |
| <b>Coliformes a 45° C (MNP/g)</b>               | Ausente                  | 10 <sup>2</sup>            |
| <b>Bolores e Leveduras (UFC/g)</b>              | 1,97x 10 <sup>3</sup>    | 10 <sup>3</sup>            |

\*Valores estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (M.A.P.A.).

\*\* Não há limite estabelecido pelo M.A.P.A.

Algumas amostras de manga liofilizada, após 8 meses de armazenamento, apresentaram sua contagem de bolores e leveduras acima do limite máximo permitido, isso pode ter sido devido a alguns dos seguintes fatores: o produto pode ter sido contaminado durante alguma fase do processamento, ou o produto não recebeu tratamento térmico e ainda, a embalagem utilizada pode não ter ficado bem lacrada, no entanto estes fatos necessitam de maior investigação. Embora os bolores possam se apresentar em ampla faixa de temperatura, eles só crescem em temperatura de refrigeração. Já as leveduras crescem em temperatura entre 5 e 35°C, isto justifica as

mortes desses microorganismos durante o processamento da manga-passa (SILVA, 1997).



**Figura 16** – Placa de petri com contagem de Bolores e leveduras da amostra da manga liofilizada.

Comparando os resultados obtidos nos dois tipos de secagem, logo após o processamento, podemos verificar que os resultados da manga-passa são iguais aos da manga liofilizada, para coliformes a 45°C, bolores e Estafilococos, e melhores para bactérias mesófilas, isso se deve ao fato da primeira receber tratamento térmico, e a segunda não. Esse fato pode ser evitado dando-se um banho de solução de Metabissulfito de Sódio ( $\text{SO}_2$ ) e ácido cítrico na manga cortada, antes do congelamento. (0,5g de cada um deles para cada litro de água). O primeiro, age invadindo a parede celular do microorganismo, destruindo seu citoplasma, e o segundo além de baixar o pH (impedindo o desenvolvimento microbiano), seqüestra o ferro (evita o escurecimento). Um fator relevante é o pH, onde os microorganismos crescem melhor em pH próximo da neutralidade de 6,5 a 7,5 e, em pH entre 1,5 e 3,5 sua multiplicação é mínima (BRASIL, 2001).

O resultado obtido na microbiologia, de certa forma não surpreendeu, pois segundo DOSROSIER (1981), os tecidos vivos requerem água, e a quantidade de água no alimento é que dá a oportunidade dos microorganismos crescerem. Os mofos (bolores) podem crescer em substratos alimentícios com teores de umidade mais baixas que 12% (o caso do produto obtido neste trabalho). A expectativa se confirmou também para as bactérias, requerem um teor de umidade mais alto, geralmente, de 30%.

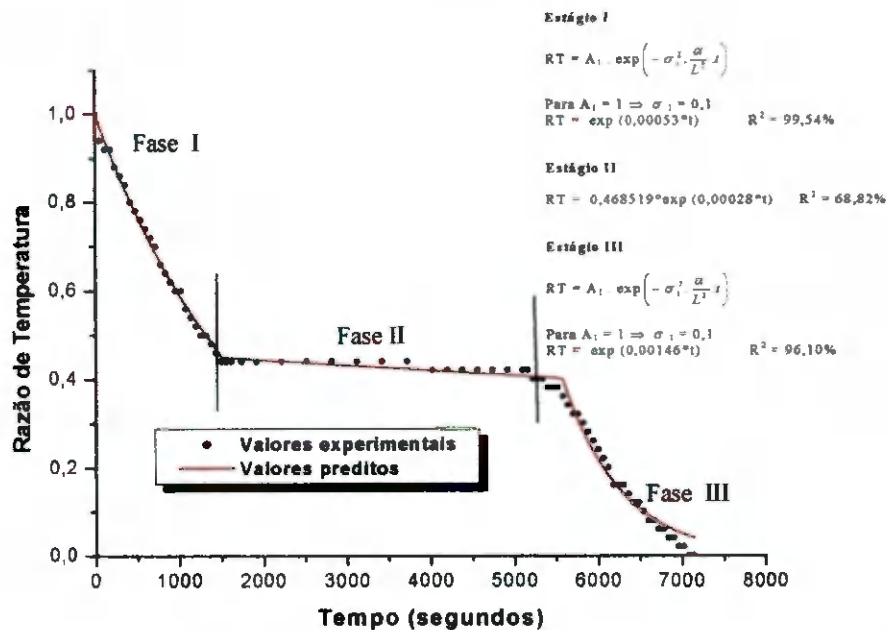


### 4.3. Cinética de Congelamento

Os dados experimentais e calculados da razão de temperatura em função do tempo, para a manga congelada a  $-24^{\circ}\text{C}$ , a  $-41^{\circ}\text{C}$ , a  $-100^{\circ}\text{C}$  e a  $-196^{\circ}\text{C}$ , encontram-se no Anexo B, nas tabelas b1, b2, b3 e b4, respectivamente. Nas Figuras 18, 19, 20 e 21, estão representadas a cinética de congelamento para cada tratamento, com base nos dados das tabelas.

Pela cinética de congelamento da Figura 18 percebe-se, claramente, as três fases pelas quais o fruto passa ao ser congelado à temperatura de  $-24^{\circ}\text{C}$ . A fase 1 (resfriamento) que durou aproximadamente 25 minutos, onde a temperatura baixou de 26 para  $-2^{\circ}\text{C}$  (Tabela b1), quando iniciou-se a 2ª fase (cristalização), que prolongou-se por cerca de 70 minutos, sendo esta bem mais lenta que a primeira. A fase 3, corresponde à fase de pós-congelamento que acaba quando a temperatura entra em equilíbrio com a temperatura do meio. Esta fase durou cerca de 30 minutos.

A difusividade térmica efetiva na fase 1 foi  $0,577 \text{ mm}^2/\text{s}$ , na fase 2 a mais baixa ( $0,4 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{s}$ ) e na fase 3, foi de  $1,599 \text{ mm}^2/\text{s}$ .



**Figura 17** - Curva de congelamento dos dados experimentais e calculados, obtida por regressão não linear à temperatura de  $-24^{\circ}\text{C}$ , para manga fatiada em forma de placa plana.

Sendo Razão de Temperatura (RT):

$$RT = \frac{T_e - T_i}{T_e - T_0}$$

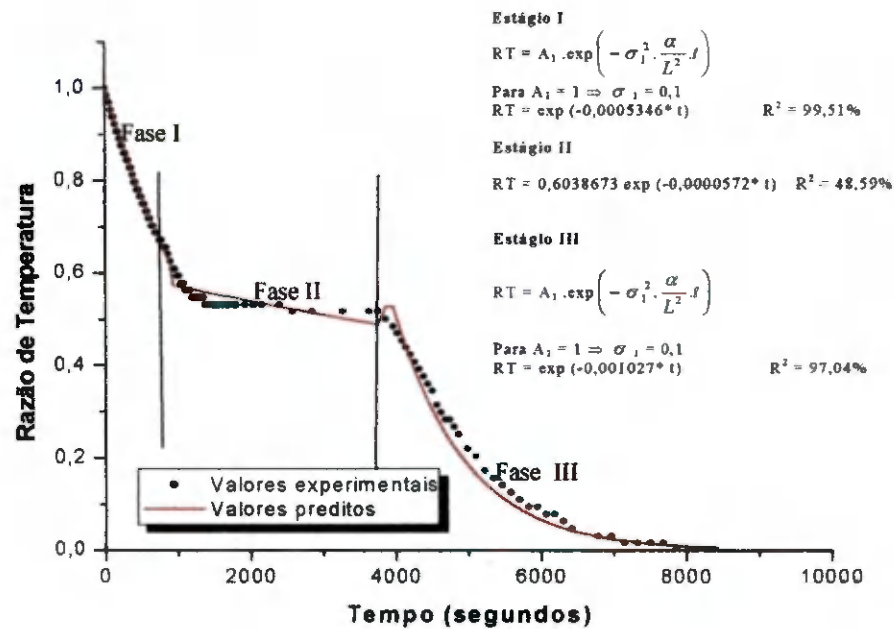
Onde:  $T_e$  = temperatura de equilíbrio;

$T_i$  = temperatura no instante;

$T_0$  = temperatura inicial.

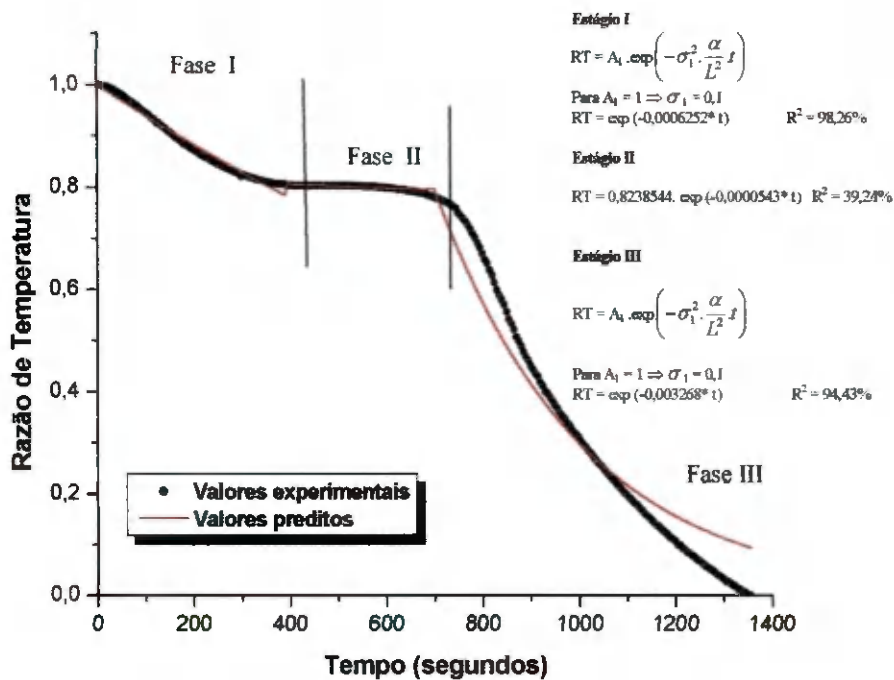
Na Figura 19, encontra-se a curva da cinética de congelamento de manga, fatiada em forma de placa plana, a  $-41^\circ\text{C}$ .

É possível também observar, a existência de três fases bem definidas do processo de congelamento a  $-41^\circ\text{C}$ . O resfriamento já aconteceu bem mais rápido do que a  $-24^\circ\text{C}$ , demorou apenas 15 minutos. A temperatura baixou de  $23$  para  $-2^\circ\text{C}$ , nesse período (Tabela b2). A fase 2 demorou, aproximadamente, 50 minutos, indo de  $-2$  a  $-8^\circ\text{C}$ . Na fase 3, a mais longa desse tratamento, a temperatura baixou de  $-10$  a  $-40^\circ\text{C}$  em cerca de 80 minutos. A difusividade térmica para as fases 1, 2 e 3 foram, respectivamente  $0,9318$ ,  $0,000178$  e  $1,791\text{ mm}^2/\text{s}$ .



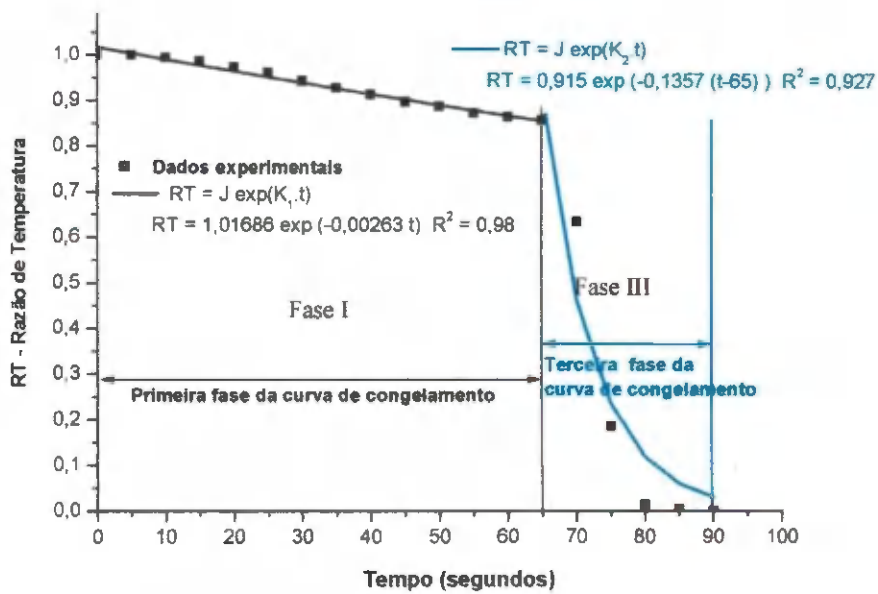
**Figura 18** - Curvas de congelamento dos dados experimentais e calculados, obtidas por regressão não linear à temperatura de  $-41^\circ\text{C}$ , para manga fatiada em forma de placa plana.

Na Figura 20, encontra-se os resultados da cinética de congelamento da manga para a temperatura de  $-100^{\circ}\text{C}$ , também se pôde perceber as três fases do congelamento, sendo que o super-resfriamento pode ser percebido mais claramente aos 7 minutos, quando se encerrou a fase 1, como mostrado na Figura 20. A temperatura baixou de  $23,1$  para  $-0,9^{\circ}\text{C}$ , nesse pequeno intervalo (Tabela b3). Na fase 2, a temperatura caiu de  $-1,1$  para  $-2,2^{\circ}\text{C}$  em 4 minutos. A fase 3, foi a mais longa do tratamento 3, assim como no tratamento 2, durou 12 minutos e a temperatura caiu de  $-2,3$  para  $-100^{\circ}\text{C}$ . A difusividade térmica nas fases 1, 2 e 3 foram, respectivamente,  $0,8605$ ;  $1,41 \times 10^{-4}$  e  $4,523 \text{ mm}^2/\text{s}$ .



**Figura 19** - Curva de congelamento dos dados experimentais e calculados, obtida por regressão não linear à temperatura de  $-100^{\circ}\text{C}$ , para manga fatiada em forma de placa plana.

No tratamento 4, ( $T_c = -196^{\circ}\text{C}$ ), como se pode observar na Figura 21, o congelamento é ultra-rápido, não podendo assim, se observar com nitidez a fase 2, referente ao congelamento da manga.



**Figura 20** - Curva de congelamento dos dados experimentais e calculados, obtida por regressão não linear à temperatura de  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para manga fatiada em forma de placa plana.

A Tabela 18 contém os coeficientes de difusão dos congelamentos da manga.

Percebe-se pela Tabela 18 que existe um aumento da difusividade efetiva média com o aumento da diferença de temperatura, ou seja, quanto maior a diferença entre a temperatura da amostra e a temperatura do meio congelante, maior é a velocidade de congelamento.

**Tabela 18** – Coeficientes de difusão, difusividade efetiva  $A_1 = 1$  e difusividade efetiva média da manga nos três estágios de congelamento, quando a manga é submetida ao congelamento em freezer a  $-24\text{ }^\circ\text{C}$ , em balcão criogênico a  $-41\text{ }^\circ\text{C}$ , por circulação de nitrogênio a  $-100\text{ }^\circ\text{C}$  e por imersão em nitrogênio líquido a  $-196\text{ }^\circ\text{C}$ .

| Convencional a $-24\text{ }^\circ\text{C}$                   |          |                        |   |  |
|--|----------|------------------------|---|--|
| Estágios *   | L/2 (mm) | Coeficiente de difusão | Difusividade efetiva $A_1 = 1$                          | Difusividade efetiva média               |
| 1  | 3,30     | $5,3 \times 10^{-4}$   | $5,77 \times 10^{-1} \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  | -  |
| 2  | 3,30     | $2,8 \times 10^{-5}$   | -   | -  |
| 3  | 3,30     | $1,46 \times 10^{-3}$  | $1,60 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$                 | $0,98 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  |
| Balcão criogênico a $-41\text{ }^\circ\text{C}$              |          |                        |   |  |
| Estágios *   | L/2 (mm) | Coeficiente de difusão | Difusividade efetiva $A_1 = 1$                          | Difusividade efetiva média               |
| 1  | 4,175    | $5,35 \times 10^{-4}$  | $9,32 \times 10^{-1} \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  | -  |
| 2  | 4,175    | $5,72 \times 10^{-5}$  | -   | -  |
| 3  | 4,175    | $2,88 \times 10^{-4}$  | $1,79 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$                 | $1,65 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  |
| Circulação de nitrogênio a $-100\text{ }^\circ\text{C}$      |          |                        |   |  |
| Estágios *   | L/2 (mm) | Coeficiente de difusão | Difusividade efetiva $A_1 = 1$                          | Difusividade efetiva média               |
| 1  | 3,71     | $6,25 \times 10^{-4}$  | $8,605 \times 10^{-1} \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ | -  |
| 2  | 3,71     | $5,43 \times 10^{-4}$  | -   | -  |
| 3  | 3,71     | $1,025 \times 10^{-3}$ | $4,52 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$                 | $3,23 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  |
| Imersão em nitrogênio líquido a $-196\text{ }^\circ\text{C}$ |          |                        |   |  |
| Estágios *   | L/2 (mm) | Coeficiente de difusão | Difusividade efetiva $A_1 = 1$                          | Difusividade efetiva média               |
| 1  | 4,20     | $2,63 \times 10^{-2}$  | $6,687 \times 10^{-1}$                                  |  |
| 2  | 4,20     | --                     | --  |  |
| 3  | 4,20     | $1,357 \times 10^{-1}$ | 239,33  | $66,94 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ |

\* Estágio 1 – Resfriamento; Estágio 2 – Cristalização; Estágio 3 – Pós-congelamento.

#### 4.4. Secagem

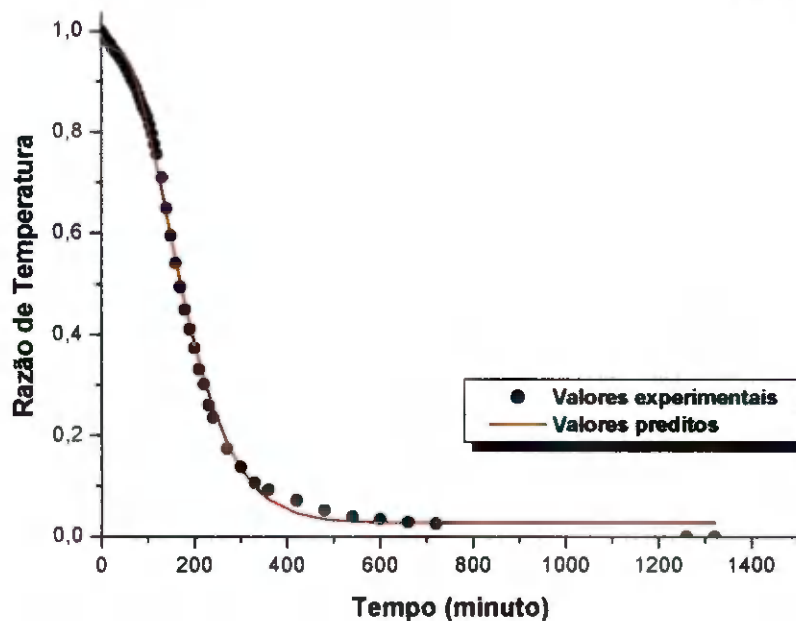
##### 4.4.1 Equação de Cavalcanti Mata

Na Figura 22, estão expressos os dados experimentais e calculados com a equação de Cavalcanti Mata para as secagens feitas às temperaturas de  $55\text{ }^\circ\text{C}$  para manga em palito.

Na Tabela 19, observa-se um valor de 99,83% para o coeficiente de determinação obtendo, assim, um ótimo ajuste dessa equação aos dados experimentais da secagem da manga nas condições citadas anteriormente.

$$RU = (-3,3033)\exp[-(0,003123)t^{1,30574}] + (4,27036)\exp[-(0,003123)t^{1,23368}] + (0,027363)$$

$$R^2 = 99,83\%$$



**Figura 21** - Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da manga pela equação de Cavalcanti Mata, obtidas por regressão não linear à temperatura de 55°C.

**Tabela 19** - Coeficientes da Equação de Cavalcanti Mata, obtidas por regressão não linear em secagem da manga à temperatura de 55 °C.

#### Equação de Cavalcanti Mata

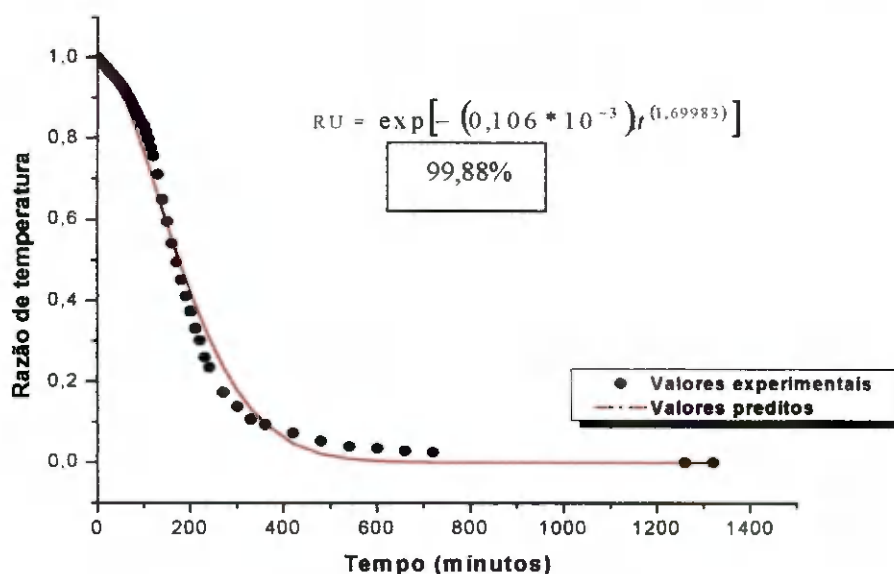
$$RU = a_1 \exp(-a_2 t^{a_3}) + a_4 \exp(-a_2 t^{a_5}) + a_6$$

| T (°C) | a <sub>1</sub> | k <sub>1</sub> | a <sub>2</sub> | a <sub>3</sub> | a <sub>4</sub> | a <sub>5</sub> | R <sup>2</sup> (%) |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| 55     | -3,3033        | -              | -0,00312       | 1,3057         | 4,27036        | 1,23368        | 99,83              |

#### 4.4.2. Equação de Page

Na Figura 23, estão expressos os dados experimentais e calculados com a equação de Page para as secagens feitas às temperaturas de 55°C para manga em palito.

Na Tabela 20 observa-se um valor de 99,88% para o coeficiente de determinação, significando um excelente ajuste da equação de Page aos dados experimentais da secagem da manga nas condições citadas.



**Figura 22** - Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados de manga, fatiada em forma de palito, pela equação de Page e obtidas por regressão não linear à temperatura de 55°C.

**Tabela 20** - Coeficientes da equação de Page, obtidos por regressão não linear em secagem da manga à temperatura de 55°C.

#### Equação de Page

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

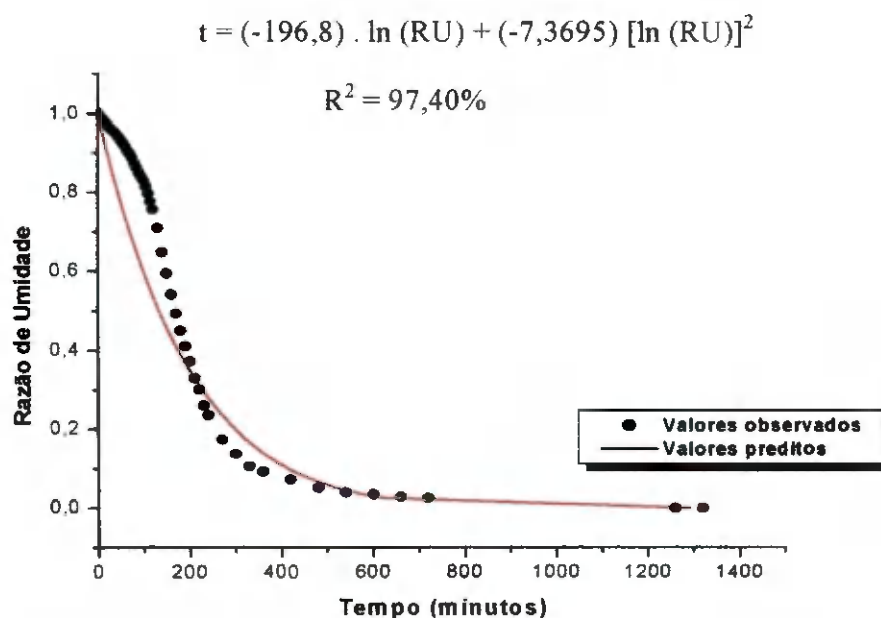
| Temperatura (°C) | K        | n       | R <sup>2</sup> (%) |
|------------------|----------|---------|--------------------|
| 55               | 0,000106 | 1.69983 | 99,88              |

Pode-se perceber que todas as curvas apresentam coeficientes de determinação superiores a 97,0%, ou seja, os resultados indicam um bom ajuste, contudo, a equação proposta por Cavalcanti Mata é a que melhor se ajusta aos dados experimentais, embora tenha um coeficiente aproximadamente igual ao de Page, este fato pode ser melhor observado pela análise dos resíduos, Anexo D (Tabela d1).

#### 4.4.3 Equação de Thompson

Na Figura 24, estão expressos os dados experimentais e calculados com a equação de Thompson, para as secagens feitas às temperaturas de 55°C para manga em palito.

Na Tabela 21 observa-se um valor de 97,40% para o coeficiente de determinação, é um ótimo coeficiente, contudo, é o que menos se ajusta aos dados experimentais da secagem da manga nas condições citadas.



**Figura 23** - Curvas de secagem dos dados experimentais e calculados da manga pela equação de Thompson, obtidas por regressão não linear à temperatura de 55°C.

**Tabela 21** - Coeficientes da equação de Thompson, obtida por regressão não linear em secagem da manga à temperatura de 55°C.

| Equação de Thompson             |         |         |                    |
|---------------------------------|---------|---------|--------------------|
| $t = a \ln(RU) + b [\ln(RU)]^2$ |         |         |                    |
| Temperatura (°C)                | a       | b       | R <sup>2</sup> (%) |
| 55                              | -196,80 | -7,3695 | 97,40              |



#### 4.5. Análise Sensorial

Na Tabela 22 estão contidas as médias de 30 valores atribuídos pelos provadores, para os 4 atributos sensoriais: Aparência Geral, Cor, Aroma e Sabor, analisados para classificar as características sensoriais da manga liofilizada e da manga-passa.

**Tabela 22** – Média de 30 valores atribuídos pelos provadores para os atributos sensoriais para manga liofilizada e para a manga passa.

| CONCENTRAÇÃO      | Temperatura de Processamento | ATRIBUTOS SENSORIAIS |             |             |             |
|-------------------|------------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
|                   |                              | Aparência            | Cor         | Aroma       | Sabor       |
| Manga liofilizada | -24°C                        | 6,87 ± 1,76          | 6,60 ± 1,92 | 6,17 ± 1,80 | 5,67 ± 1,99 |
| Manga-passa       | 55°C                         | 6,60 ± 1,67          | 7,17 ± 1,39 | 6,60 ± 1,63 | 6,53 ± 1,68 |

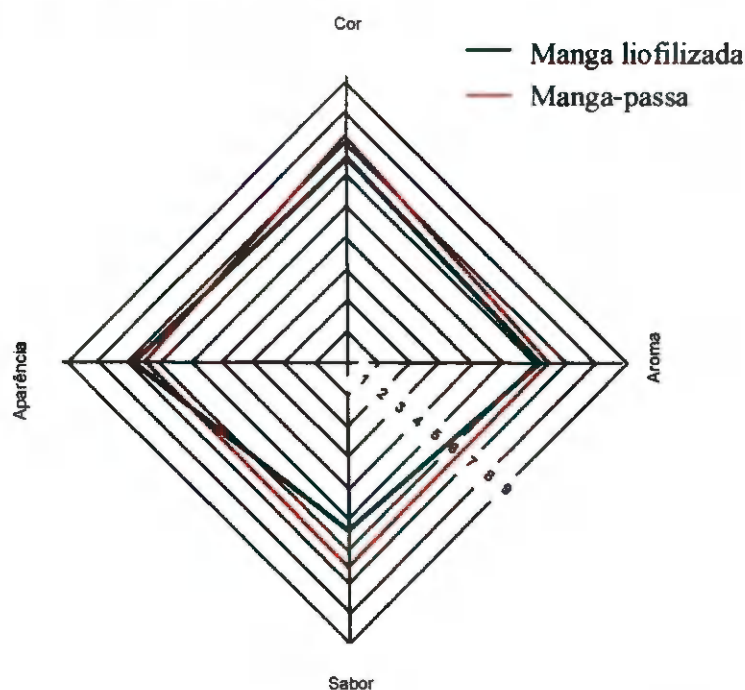
Percebe-se pela Tabela 22 que houve preferência dos degustadores pela manga liofilizada, apenas, no atributo aparência. Para os demais atributos (cor, aroma e sabor) houve preferência pela manga-passa. Isso se justifica verificando as Figuras 25 e 26, pelas quais se pode constatar que a manga liofilizada tem, praticamente, a mesma aparência que a manga “in natura” cortada, antes das secagens. No entanto, essas diferenças não foram acentuadas, pois para a manga-passa as notas atribuídas tendem a um valor de sete, que corresponde a “gostei ligeiramente” na escala hedônica, enquanto que para a manga liofilizada, as notas tendem a um valor 6 na escala hedônica, que corresponde a nota “gostei regularmente”.



**Figura 24** – Manga liofilizada

**Figura 25** – Manga-passa

A Figura 27 representa o perfil da manga liofilizada, elaborada a partir da manga congelada a  $-24^{\circ}\text{C}$ , representado pela linha verde e, também, o perfil sensorial da manga-passa, obtida em secador de bandejas a  $55^{\circ}\text{C}$ , e representado pela linha vermelha. Percebe-se claramente por este perfil que os contornos vermelhos são superiores aos verdes, representando maior qualidade sensorial, segundo os degustadores, para a manga-passa, na maioria dos atributos.



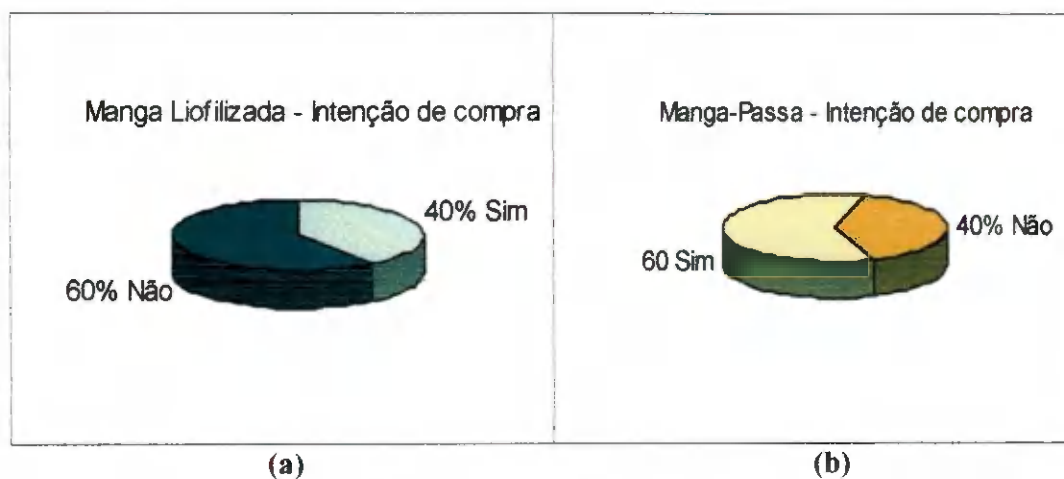
**Figura 26** – Perfil sensorial da manga liofilizada, elaborada a partir da manga congelada a  $-24^{\circ}\text{C}$  e da manga-passa obtida em secador de bandejas a  $55^{\circ}\text{C}$ .

### Intenção de compra

Quanto à pesquisa de intenção de compra, curiosamente, parece ter havido uma relação de preferência, não induzida, devido ao fato da análise sensorial ter sido feita comparativamente. Esperava-se a existência, mais freqüente, de repostas positivas quanto à “intenção de compra” para os dois produtos e isto não ocorreu. Analisando os questionários (Anexo C) verifica-se que a maioria dos degustadores que responderam que comprariam um produto, responderam, que não compraria o outro, ou seja, os degustadores não entenderam que poderiam comprar os dois produtos e responderam à

intenção de compra como sendo uma preferência. Percebe-se claramente, observando a Figura 28, uma inversão de valores. A pergunta feita foi:

*Você compraria este produto?*



**Figura 27:** Gráfico da intenção de compra (a) da manga liofilizada,(b) da manga-passa.

### **Análise de preferência**

A análise de preferência confirma o que ocorreu (Anexo C), com números semelhantes aos encontrados na pesquisa de intenção de compra (11 preferem a manga liofilizada e 19 preferem a manga-passa).

## 5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos com a liofilização da manga elaborada a partir de congelamento a  $-24^{\circ}\text{C}$  e da manga passa obtida em secador de bandejas a  $55^{\circ}\text{C}$  quanto as características físico-químicas, microbiológicas, sensoriais e para as curvas de congelamento e secagem usando as equações propostas por Cavalcante Mata, Page e Thompson, pode-se concluir que:

- ❖ Os teores de açúcares redutores, totais e não redutores aumentaram mais na manga liofilizada que na manga-passa.
- ❖ Os sólidos solúveis ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) tiveram uma elevação maior na manga-passa, proporcionando um sabor mais agradável;
- ❖ A acidez da manga liofilizada é quase o dobro da manga-passa.
- ❖ O teor de cinzas e o pH não apresentou diferença entre os dois produtos;
- ❖ A atividade de água da manga liofilizada foi menor que a manga-passa.
- ❖ Tanto as passas de manga, quanto a manga liofilizada, estão dentro dos padrões higiênico-sanitários, com  $1 \times 10^3$  UFC/g para manga liofilizada e “Ausente” para manga-passa quanto a bolores e leveduras e “Ausente” em ambos os produtos quanto aos resultados de coliformes à  $45^{\circ}\text{C}$ ;
- ❖ Apesar da equação proposta por Page ter resultado em um coeficiente maior, de 99,88%, a equação que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem da manga foi a proposta por Cavalcanti Mata com coeficiente de determinação em média de 99,83%.

- ❖ A equação proposta por Thompson, mesmo com coeficiente de determinação 97,40 %, não representa bem os dados experimentais de secagem da manga.
- ❖ Sensorialmente, a melhor aparência foi a da manga liofilizada, mas nos outros atributos (cor, sabor e aroma) a manga-passa foi preferida pelos degustadores;
- ❖ Quanto a intenção de compra, 100% dos entrevistados comprariam um ou outro produto, existindo uma preferência de compra pela manga-passa;
- ❖ A difusividade efetiva média aumenta com o aumento da diferença entre a temperatura da amostra e a temperatura do meio congelante e estes valores, para o congelamento de fatias de manga, nas temperaturas de -24 °C; -41 °C, -100 °C e -196 °C foram 0,98 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>; 1,65 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>; 3,23 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> e 66,94 mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, respectivamente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMIEC, J.; KAMINSKI, W.; MARKOWSKI, A.; STRUMILLO, C. In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. Nova Iorque: Marcel Dekker, 1995. p. 775-808.

ALMEIDA, T.C.A. de. **Análise sensorial: Efeitos da memória**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1996. 121f.

ALBUQUERQUE, J.A.S. de; SOARES, J.M.; TAVARES, S.C.C de H. **Práticas de cultivo para mangueira na região do submédio São Francisco**. Petrolina – PE: EMBRAPA – CPATSA, 1992, 36p.

A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists). **Official Methods of Analysis**. 14ª ed., Arlington, 1984.

ARAÚJO, M. S.O. de. **Avaliação das características físico-químicas e sensoriais de polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) submetidas a diferentes técnicas de congelamento**. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande ). Campina Grande – PB: UFPB, 2000. 107f.

SILVA, F. A. de S.; **Assistat**, 7.3 versão beta, 2005. Departamento de Engenharia Agrícola do CCT – UFCG, Campus I, Campina Grande, PB – Brasil. Disponível em: <<http://assistat.sites.uol.com.br>>. Acesso em: maio, 2006.

AZEVEDO, L.C.de. **Caracterização e utilização da manga (*Mangifera indica* cv. Tommy Atkins), “de segunda”, para fins de processamento**. João Pessoa: UFPB, 1999. 128f (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande).

BLEINROTH, E.W.; KATO, K; SIMÃO,S; DEMARTIN, Z.J. MIYA, E.E.; ANGELUCCI, E.; SOBRINHO, J.A.; CARVALHO,A. M. de.; POMPEO, R. M.

**Caracterização de variedades de manga para industrialização.** Campinas, SP: Governo do Estado – ITAL, 1976. 77p.

BLEINROTH, E.W. **Tecnologia de pós-colheita de frutos tropicais.** Campinas, SP: Governo do Estado – ITAL, 1988. 200p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F.O. **Introdução á química de alimentos.** 2ª ed. São Paulo: Varela. 1992 a. 223p.

BOBBIO, P .A.; BOBBIO, F .O. **Química de processamento de alimentos.** 2º. ed. São Paulo: Varela, 1992 b,151 p.

BRANDAO, M. C. C.; MAIA, G. A.; LIMA, D. P. PARENTE, E. J. de S. CAMPELLO, C. C.; NASSU, R. T.; FEITOSA, T.; SOUSA, P. H. M. de; Análises físico-químicas, microbiológicas e sensoriais de pedúnculos de caju submetidos a desidratação osmótico-solar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n.2, p. 139-145, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e cooperativismo. Instrução Normativa conjunta SARC/ANVISA/INMETRO Resolução RDC nº. 12, de 2 de janeiro de 2001. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2 jan. 2001. Disponível em: <http://www.vigilanciasanitaria.gov.br/anvisa.html>. Acesso em: 12 fev. 2006.

BRASIL, I.M.; GUIMARÃES, A.C.L. **Química e bioquímica do processamento.** Brasília: ABEAS, 1998. (Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas tropicais – Módulo 5)

BRAVERMAN, J.B.S. **Introduccion a la bioquímica de los alimentos.** Barcelona, Ediciones OMEGA, 1980, 337p.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York, The AVI Van Nostrand Reinhold, 1992, 450 p.

CABRAL,, L.M.C.; FURTADO, A.A.L. Polpa e suco de frutas. In: EMBRAPA – Fortaleza. **Curso de processamento de frutas**. Fortaleza: CEPAT, 1996.

CAMARGO, R. de; FONSECA. H.; PRADO FILHO, L.G. do; ANDRADE, M.O. de; CANTARELLI, P.R.; OLIVEIRA, A.J. de; GRANER, M.; CARUSO, J.G.B.; NOGUEIRA, J.N.; LIMA, U. de A.; MOEIRA, L.S. **Tecnologia dos produtos agropecuários – Alimentos**. 1ª ed. Piracicaba – SP. Livraria Nobe, 1986.

CARVALHO, C.R.L; MANTOVAN, D.M.B; CARVALHO, P.R.N; MORAES, R. M. de. **Análise química de alimentos**. Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas - SP, 1990, 121p.

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. Modelagem e simulação de secagem de feijão macassar considerando-se o encolhimento e os diferentes graus maturidade fisiológicas. Projeto de pesquisa. Campina Grande, PB: Universidade Federal de Campina Grande, 2004, 60p,

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 vulgares L.*) variedade “carioca”**. (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 1997.

CHAPLIN, G.R. Postharvest physiology of mango fruit. In: Australian Mango Research Workshop Cairns. Melbourne: CSIRO. 1984 p270.

CHAVES, J.P.B. **Análise sensorial: Histórico e desenvolvimento**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1993. 31p.

CHAVES, J.P.B. SPROESSER, R.L. **Práticas de laboratório de análise sensorial de alimentos e bebidas**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1996. 81p.



CHITARRA, M.I.F. **Fisiologia e qualidade de produtos vegetais.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. Poços de Calda, **Anais...** Poços de Calda: SBEA, 1998. p. 01-58.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e manuseio.** Lavras, MG: ESAL/faepe, 1990, 320p.

COELHO, R.R.P. **Possibilidades de utilização do pseudocaule da bananeira (*Musa sp*) para a produção de palmito. .** Campina Grande – PB: UFPB, 2000. 107p (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande).

COX, P.M. **Ultracongelacion de alimentos: Guia de la teoria y practica.** Zaragoza (Espana): Editorial Acribia, S.A. 1987, 459p.

CRANCK, J. **The mathematics of diffusion.** Pergamon Press, Oxford, 1975.

DESROSIER, N. W. **Conservacion de Alimentos.** 11<sup>a</sup> ed. México, Editora C.E.C.S.A. 1981. 446p.

EMBRAPA. Home page do Centro Nacional de Pesquisa da Mandioca e Fruticultura. <http://www.embrapa.br>. 01. set. 2005.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos.** 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro. Editora: ATHENEU, 1992.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos.** 2<sup>a</sup> ed. São Paulo. Editora: ATHENEU, 1998, 652p.

FELLOWS, P. **Tecnologia del procesado de los alimentos: principios y practicas.** Zgaroza (Espanña): Editora Acribia, 1994. 549p.

FIGUEIREDO, R.M.F. de. **Caracterização físico-química do suco e pó de acerola (*Malpighia punucifolia*, L.)**. 1998. 187f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas –SP.

FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. 1ª ed. Ed. Universitária. João Pessoa – PB. 2004. p. 61-163.

GAVA, A.J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 1ª ed. Ed. Nobel, 1998.

GUIMARÃES, F.L.G. **Avaliação das características físico-químicas e sensoriais da polpa de manga (*Mangifera indica*, L.) submetidas a diferentes condições de processamento e de armazenamento frigorificada**. . Campina Grande – PB: UFPB, 2000. 107f (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola. Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande).

GURGEL, A.M.; CASTRO, F.A. de; FILHO, J.M.; COELHO, S. M. **Compota de manga**. Fortaleza: Nutec, 1989. 21p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3ª ed.. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. São Paulo. v. 1, 1985, 553 p.

IBRAF. INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br>. em: Acesso em 01 set 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 5497**, Sensory Analysis – Methodology – guidelines for the preparation of samples for which direct sensory analysis is not feasible. Geneve, 1982, 4 p.

KASAHARA, G. I. Los alimentos como sistemas complejos y su comportamiento frente al frío. In: KASAHARA, G. I. **Tópicos en transferencia de calor y propiedades termofísicas en: refrigeración y congelación de alimentos**. Santiago de Chile: Maval, 1986. p. 15-27.

KRAUSE, M.V.; MAHAN, L.K. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 7ª Edição. São Paulo. Editora ROCA, 1991, 981p.

LABUZA, T. P; TANNENBAUM, S. R.; KAREL, M. Water content and stability of low-moisture & intermediate — moisture foods. **Food Technology**, v. 24, p. 543-550, 1970

LEDERER, J. **Enciclopédia moderna de higiene alimentar**. Editora Manole Dois. Tomo III, 1991, 121p.

LEWIS, M.J. **Propriedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zgarozza: Acribia, 1993. 494p.

LIAPIS, A. I., MILLMAN, M.J., MARCHELLO, J.M. An Analysis of the Lyophilization Process Using a Sorption-Sublimation Model and Various Operational Policies. **AIChE Journal**. Missouri, v.31, n. 10, p. 1594-1604, 1985.

MAIA, G.A.; OLIVEIRA, G.S.F. de; FIGUEIREDO, R. V. de.; GUIMARÃES, A.C.L. **Curso de especialização em tecnologia de processamento de sucos e polpas tropicais: processamento industrial**. Brasília – DF: ABEAS, 1998b. v.8. 65p.

MAIA, G.A.; OLIVEIRA, G.S.F. de; GUIMARÃES, A.C.L. **Processamento industrial**. Brasília – DF: ABEAS, 1998d. 60p (Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas traopicais – Módulo 8).

MAIA, G.A.; OLIVEIRA, G.S.F. de; MONTEIRO, J.C.S.; FIGUEIREDO, R. V. de.; GUIMARÃES, A.C.L. **Fundamentos de engenharia dos processos**. Brasília – DF: ABEAS, 1998c. 114p (Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas traopicais – Módulo 4).

MAIA, G.A.; OLIVEIRA, G.S.F. de; FIGUEIREDO, R. V. de.; GUIMARÃES, A.C.L. **Matérias-primas (Frntos)**. Brasília – DF: ABEAS. 1998a . 225 p (Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas traopicais – Módulo 1).

MAIA, G.A.; OLIVEIRA, G.S.F. de; GUIMARÃES, A.C.L. **Colheita, manuseio, transporte e armazenamento de frutos**. Brasília – DF: ABEAS, 1998f. 50 p (Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas traopicais – Módulo 2).

MAIA, G.A.; SILVA, E.M.C. da; GASPAR JÚNIOR, J.C.; GUIMARÃES, A.C.L. **Análises químicas, físicas e microbiológicas de sucos e polpas tropicais**. Brasília – DF: ABEAS, 1998e. 124 p (Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas traopicais – Módulo 9).

MANICA, I. **Fruticultura tropical: 2 – Manga**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981. 135p. Ilust. (Ceres, XXVII).

MATA, V.M. da; FREIRE JUNIOR, M. **Manual de processamento de polpas de frutas**. Fortaleza: Banco de Nordeste do Brasil; Rio de Janeiro: EMBRAPA – CTAA, 1995, 20p.

MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W. **Manga: Da cultura ao processamento e comercialização**. São Paulo: ITAL, 1981, 397p.

NEVES FILHOS, L. DE C. **Resfriamento, congelamento e estocagem de alimentos**. São Paulo – SP: IBF/ ABRVA/ SINDRATAR, 1991. 176p.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. Lafayette, Mechanical Engineering Department. Tese de mestrado, 1949.

PIMENTEL, G. **Fruticultura brasileira**. 9ª ed. São Paulo – SP. Ed. Nobel. 1983, p. 310-388.

PORETTA, S. Sensory of fruit preparacions. **Fruit processing**. Maribor, Slovenia, v.6, n.12, 502p, 1996.

RADOMILLE, L.R.; TOCCHINI, R.P.; FERREIRA, V.L.P.; MORI, E.E.M.; SOLER, R.M.; ARDITO, E. de F.G.; XAVIER, R.L.; NETO, R.O.T. **Industrialização de frutas**. Campinas : ITAL, 1991. 216p.

RIBERIO, C. de F. A. **Métodos combinados de desidratação osmótica e secagem para conservação de manga Tommy Atkins.** . Campina Grande – PB: UFCG, 2004. 85p (Dissertação de Mestrado).

SÃO JOSÉ, A.R.; SOUZA, I.V.B.; FILHO, J.M.; MORAIS, O.M. **Manga: Tecnologia de produção e mercado.** Vitória da Conquista, BA: Editado pelo Departamento de Fitotecnia e Zootecnia da UESB, 1996, 361p.

SILVA, M. de F.A. e. **Estudo da maturação de algumas variedades de manga (*Mangifera Indica*, L.), caracterização física e química do fruto e processamento da polpa.** Fortaleza: UFCE, 1985. 123p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, S.D. Cor: definição e métodos de medição. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, n. 36, p. 75-85. 1973.

SIMÃO, S. **Manual de fruticultura.** 6ª ed. São Paulo, Ceres, 1971. 371p.

SIMÕES, M.R.; **Propriedades termofísicas da polpa de manga.** Campinas – SP. Universidade Estadual de Campinas, 1997, 84p.

SIQUIERA, D. L.; BOTREL, N.; CARVALHO; V. RAMOS, V.H.V.; COUTO, R.A.D. Características físicas e químicas de vinte cultivares de mangueira (*Mangifera indica* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Uberaba, v 10, n.2, p. 49-54, 1998.

STATISTICA. Sistema operacional 7.0. Disponível em: < <http://www.statsoft.com> >  
Acesso em: maio de 2006.

TEXEIRA, E.; MEINERT, E.M.; BARBETTA, P.A. **Análise sensorial de alimentos.** Santa Catarina: Editora da UFSC, 1987.

TODA FRUTA. Disponível em: < <http://www.todafruta.com.br> > . Acesso em 01 set 2004.

THOMPSON, R.A.; ISSACS, G.W. Porosity determination of grains and seeds with an air comparison pycnometer. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, Michigan, v.15, n.2, 693-696, 1967.

VAN'DENDER, A.G.F.; KUSUNOKI, A.S.; GUSMAN, E.S.C.; TAKAHASHI, G.; MAURO, J.C.; ROCHA, J.L.V. da. NUNES FILHO, L. C.; PINOTTI, L.C.; JACKIX, M.H.; CORTE, O.O.; GUTIERREZ, R.H.; SPAGNOL, W.A. **Armazenamento de gêneros e produtos alimentícios**. Secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. São Paulo. 1983, 270p.

VICENTE. A.M.; RUBIO, J.M.G.P.; REGIDOR, F.S. VICENTE, J.M.M. **Refrigeracion, congelacion e envasado de los alimentos**. Madrid: Iragra S.A. / Bardala, 1994. 277p.

## ANEXO A

## DADOS EXPERIMENTAIS DA SECAGEM DA MANGA

Tabela a1 – Valores da Razão de umidade e tempo para a secagem de manga Haden “in natura” a temperatura de 55° C.

| Tempo (min) | RX     | Tempo (min) | RX     | Tempo (min) | RX     |
|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| 0           | 1,0000 | 80          | 0,8738 | 200         | 0,3731 |
| 5           | 0,9934 | 85          | 0,8622 | 210         | 0,3306 |
| 10          | 0,9863 | 90          | 0,8495 | 220         | 0,3016 |
| 15          | 0,9792 | 95          | 0,8398 | 230         | 0,2601 |
| 20          | 0,9738 | 100         | 0,8299 | 240         | 0,2351 |
| 25          | 0,9657 | 105         | 0,8140 | 270         | 0,1737 |
| 30          | 0,9592 | 110         | 0,7964 | 300         | 0,1374 |
| 35          | 0,9534 | 115         | 0,7761 | 330         | 0,1057 |
| 40          | 0,9479 | 120         | 0,7563 | 360         | 0,0927 |
| 45          | 0,9406 | 130         | 0,7099 | 420         | 0,0720 |
| 50          | 0,9325 | 140         | 0,6484 | 480         | 0,0521 |
| 55          | 0,9243 | 150         | 0,5949 | 540         | 0,0395 |
| 60          | 0,9155 | 160         | 0,5414 | 600         | 0,0347 |
| 65          | 0,9048 | 170         | 0,4942 | 660         | 0,0282 |
| 70          | 0,8974 | 180         | 0,4504 | 720         | 0,0250 |
| 75          | 0,8873 | 190         | 0,4109 | 1260        | 0,0000 |

## ANEXO B

## DADOS EXPERIMENTAIS DO CONGELAMENTO DA MANGA

Tabela b1 – Valores da Razão de Temperatura e tempo para o congelamento de manga Haden “in natura” a temperatura de -24° C.

| Tempo<br>(min) | RT     | Tempo<br>(min) | RT     | Tempo<br>(min) | RT     |
|----------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| 0              | 1,0000 | 26             | 0,4400 | 95             | 0,3200 |
| 1              | 0,9400 | 27             | 0,4400 | 96             | 0,3200 |
| 2              | 0,9200 | 29             | 0,4400 | 97             | 0,3000 |
| 3              | 0,9200 | 32             | 0,4400 | 98             | 0,2800 |
| 4              | 0,8800 | 37             | 0,4400 | 99             | 0,2600 |
| 5              | 0,8600 | 42             | 0,4400 | 100            | 0,2400 |
| 6              | 0,8400 | 47             | 0,4400 | 101            | 0,2200 |
| 7              | 0,8000 | 52             | 0,4400 | 102            | 0,2000 |
| 8              | 0,7800 | 57             | 0,4400 | 103            | 0,1600 |
| 9              | 0,7600 | 62             | 0,4400 | 104            | 0,1600 |
| 10             | 0,7400 | 67             | 0,4200 | 105            | 0,1600 |
| 11             | 0,7200 | 70             | 0,4200 | 106            | 0,1400 |
| 12             | 0,7000 | 73             | 0,4200 | 107            | 0,1200 |
| 13             | 0,6600 | 76             | 0,4200 | 108            | 0,1200 |
| 14             | 0,6400 | 79             | 0,4200 | 109            | 0,1000 |
| 15             | 0,6200 | 82             | 0,4200 | 110            | 0,0800 |
| 16             | 0,6000 | 85             | 0,4200 | 111            | 0,0800 |
| 17             | 0,6000 | 86             | 0,4200 | 112            | 0,0600 |
| 18             | 0,5600 | 87             | 0,4000 | 113            | 0,0600 |
| 19             | 0,5400 | 88             | 0,4000 | 114            | 0,0400 |
| 20             | 0,5200 | 89             | 0,4000 | 115            | 0,0400 |
| 21             | 0,5000 | 90             | 0,3800 | 116            | 0,0200 |
| 22             | 0,5000 | 91             | 0,3800 | 117            | 0,0200 |
| 23             | 0,4800 | 92             | 0,3800 | 118            | 0,0000 |
| 24             | 0,4600 | 93             | 0,3600 | 119            | 0,0000 |
| 25             | 0,4400 | 94             | 0,3400 |                |        |



**Tabela b2 – Valores da Razão de Temperatura e tempo para o congelamento de manga Haden “in natura” a temperatura de -41° C.**

| <b>Tempo<br/>(Seg)</b> | <b>RT</b> | <b>Tempo<br/>(Seg)</b> | <b>RT</b> | <b>Tempo<br/>(Seg)</b> | <b>RT</b> |
|------------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|
| 0                      | 1         | 840                    | 14        | 3960                   | 0,4843    |
| 30                     | 0,9843    | 870                    | 14,5      | 4020                   | 0,46875   |
| 60                     | 0,9687    | 900                    | 15        | 4080                   | 0,4531    |
| 80                     | 0,9531    | 930                    | 15,5      | 4140                   | 0,4375    |
| 100                    | 0,9375    | 960                    | 16        | 4200                   | 0,4218    |
| 120                    | 0,9375    | 990                    | 16,5      | 4260                   | 0,4062    |
| 140                    | 0,9218    | 1020                   | 17        | 4320                   | 0,3906    |
| 160                    | 0,9062    | 1050                   | 17,5      | 4380                   | 0,3705    |
| 180                    | 0,9062    | 1080                   | 18        | 4440                   | 0,3593    |
| 200                    | 0,8906    | 1110                   | 18,5      | 4500                   | 0,3437    |
| 220                    | 0,8750    | 1140                   | 19        | 4560                   | 0,3125    |
| 240                    | 0,8750    | 1170                   | 19,5      | 4620                   | 0,2968    |
| 260                    | 0,8593    | 1200                   | 20        | 4680                   | 0,2812    |
| 280                    | 0,8593    | 1230                   | 20,5      | 4740                   | 0,2812    |
| 300                    | 0,8437    | 1260                   | 21        | 4800                   | 0,2656    |
| 320                    | 0,8437    | 1290                   | 21,5      | 4860                   | 0,2500    |
| 340                    | 0,8281    | 1320                   | 22        | 4980                   | 0,2187    |
| 360                    | 0,8281    | 1350                   | 22,5      | 5100                   | 0,2031    |
| 380                    | 0,8125    | 1380                   | 23        | 5220                   | 0,1718    |
| 400                    | 0,7968    | 1410                   | 23,5      | 5340                   | 0,1562    |
| 420                    | 0,7968    | 1440                   | 24        | 5460                   | 0,1406    |
| 440                    | 0,7812    | 1470                   | 24,5      | 5580                   | 0,1250    |
| 460                    | 0,7812    | 1500                   | 25        | 5700                   | 0,1093    |
| 480                    | 0,7656    | 1560                   | 26        | 5820                   | 0,0937    |
| 500                    | 0,7656    | 1620                   | 27        | 5940                   | 0,0937    |
| 520                    | 0,7500    | 1680                   | 28        | 6060                   | 0,0781    |
| 540                    | 0,7500    | 1740                   | 29        | 6180                   | 0,0781    |
| 560                    | 0,7343    | 1800                   | 30        | 6300                   | 0,0625    |
| 580                    | 0,7343    | 1920                   | 32        | 6420                   | 0,0468    |
| 600                    | 0,7187    | 2040                   | 34        | 6780                   | 0,0312    |
| 620                    | 0,7187    | 2160                   | 36        | 6960                   | 0,0312    |
| 640                    | 0,7031    | 2400                   | 40        | 7140                   | 0,0156    |
| 660                    | 0,7031    | 2580                   | 43        | 7320                   | 0,0156    |
| 690                    | 0,6875    | 2850                   | 47,5      | 7500                   | 0,0156    |
| 720                    | 0,6875    | 3270                   | 54,5      | 7680                   | 0,0156    |
| 750                    | 0,6718    | 3630                   | 60,5      | 7860                   | 0         |
| 780                    | 0,6718    | 3750                   | 62,5      | 8040                   | 0         |
| 810                    | 0,6562    | 3858                   | 64,3      | 8220                   | 0         |

**Tabela b3** – Valores da Razão de Temperatura e tempo para o congelamento de manga Haden “in natura” a temperatura de  $-100^{\circ}\text{C}$ .

| TEMPO (SEG) | RT     | TEMPO (SEG) | RT     | TEMPO (SEG) | RT     | TEMPO (SEG) | RT     |
|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| 0           | 1,0000 | 235         | 0,8530 | 470         | 0,8026 | 705         | 0,7774 |
| 5           | 0,9992 | 240         | 0,8505 | 475         | 0,8026 | 710         | 0,7766 |
| 10          | 0,9976 | 245         | 0,8481 | 480         | 0,8026 | 715         | 0,7742 |
| 15          | 0,9968 | 250         | 0,8457 | 485         | 0,8026 | 720         | 0,7725 |
| 20          | 0,9959 | 255         | 0,8432 | 490         | 0,8026 | 725         | 0,7701 |
| 25          | 0,9943 | 260         | 0,8408 | 495         | 0,8026 | 730         | 0,7669 |
| 30          | 0,9919 | 265         | 0,8383 | 500         | 0,8026 | 735         | 0,7652 |
| 35          | 0,9894 | 270         | 0,8367 | 505         | 0,8026 | 740         | 0,7620 |
| 40          | 0,9862 | 275         | 0,8343 | 510         | 0,8026 | 745         | 0,7579 |
| 45          | 0,9838 | 280         | 0,8327 | 515         | 0,8026 | 750         | 0,7490 |
| 50          | 0,9805 | 285         | 0,8302 | 520         | 0,8026 | 755         | 0,7433 |
| 55          | 0,9773 | 290         | 0,8286 | 525         | 0,8026 | 760         | 0,7376 |
| 60          | 0,9740 | 295         | 0,8262 | 530         | 0,8026 | 765         | 0,7327 |
| 65          | 0,9699 | 300         | 0,8210 | 535         | 0,8018 | 770         | 0,7254 |
| 70          | 0,9675 | 305         | 0,8229 | 540         | 0,8018 | 775         | 0,7173 |
| 75          | 0,9643 | 310         | 0,8221 | 545         | 0,8018 | 780         | 0,7084 |
| 80          | 0,9610 | 315         | 0,8197 | 550         | 0,8018 | 785         | 0,7002 |
| 85          | 0,9578 | 320         | 0,8180 | 555         | 0,8010 | 790         | 0,6897 |
| 90          | 0,9529 | 325         | 0,8172 | 560         | 0,8010 | 795         | 0,6799 |
| 95          | 0,9488 | 330         | 0,8156 | 565         | 0,8010 | 800         | 0,6686 |
| 100         | 0,9456 | 335         | 0,8140 | 570         | 0,8010 | 805         | 0,6572 |
| 105         | 0,9423 | 340         | 0,8132 | 575         | 0,8010 | 810         | 0,6499 |
| 110         | 0,9391 | 345         | 0,8115 | 580         | 0,8245 | 815         | 0,6369 |
| 115         | 0,9342 | 350         | 0,8099 | 585         | 0,7994 | 820         | 0,6263 |
| 120         | 0,9310 | 355         | 0,8091 | 590         | 0,7994 | 825         | 0,6125 |
| 125         | 0,9253 | 360         | 0,8083 | 595         | 0,7985 | 830         | 0,5979 |
| 130         | 0,9236 | 365         | 0,8075 | 600         | 0,7985 | 835         | 0,5873 |
| 135         | 0,9196 | 370         | 0,8067 | 605         | 0,7977 | 840         | 0,5784 |
| 140         | 0,9155 | 375         | 0,8058 | 610         | 0,7977 | 845         | 0,5695 |
| 145         | 0,9123 | 380         | 0,8058 | 615         | 0,7969 | 850         | 0,5556 |
| 150         | 0,9074 | 385         | 0,8050 | 620         | 0,7961 | 855         | 1,0837 |
| 155         | 0,9041 | 390         | 0,8050 | 625         | 0,7953 | 860         | 0,5329 |
| 160         | 0,9001 | 395         | 0,8034 | 630         | 0,7953 | 865         | 0,5215 |
| 165         | 0,8960 | 400         | 0,8034 | 635         | 0,7945 | 870         | 0,5069 |
| 170         | 0,8928 | 405         | 0,8034 | 640         | 0,7937 | 875         | 0,4980 |
| 175         | 0,8903 | 410         | 0,8026 | 645         | 0,7920 | 880         | 0,4882 |
| 180         | 0,8846 | 415         | 0,8026 | 650         | 0,7912 | 885         | 0,4768 |
| 185         | 0,8830 | 420         | 0,8026 | 655         | 0,7912 | 890         | 0,4679 |
| 190         | 0,8798 | 425         | 0,8026 | 660         | 0,7904 | 895         | 0,4598 |
| 195         | 0,8757 | 430         | 0,8026 | 665         | 0,7896 | 900         | 0,4500 |
| 200         | 0,8741 | 435         | 0,8026 | 670         | 0,7888 | 905         | 0,4419 |
| 205         | 0,8700 | 440         | 0,8026 | 675         | 0,7872 | 910         | 0,4338 |
| 210         | 0,8676 | 445         | 0,8026 | 680         | 0,7864 | 915         | 0,4281 |
| 215         | 0,8635 | 450         | 0,8026 | 685         | 0,7847 | 920         | 0,4167 |
| 220         | 0,8611 | 455         | 0,8026 | 690         | 0,7823 | 925         | 0,4094 |
| 225         | 0,8587 | 460         | 0,8026 | 695         | 0,7815 | 930         | 0,3989 |
| 230         | 0,8562 | 465         | 0,8026 | 700         | 0,7799 | 935         | 0,3948 |

| TEMPO | RT     | TEMPO | RT     |
|-------|--------|-------|--------|
| 940   | 0,3875 | 1185  | 0,1186 |
| 945   | 0,3802 | 1190  | 0,1129 |
| 950   | 0,3729 | 1195  | 0,1105 |
| 955   | 0,3664 | 1200  | 0,1064 |
| 960   | 0,3582 | 1205  | 0,0991 |
| 965   | 0,3509 | 1210  | 0,0983 |
| 970   | 0,3461 | 1215  | 0,0926 |
| 975   | 0,3379 | 1220  | 0,0894 |
| 980   | 0,3331 | 1225  | 0,0845 |
| 985   | 0,3241 | 1230  | 0,0820 |
| 990   | 0,3193 | 1235  | 0,0780 |
| 995   | 0,3144 | 1240  | 0,0747 |
| 1000  | 0,3079 | 1245  | 0,0699 |
| 1005  | 0,2998 | 1250  | 0,0674 |
| 1010  | 0,2941 | 1255  | 0,0634 |
| 1015  | 0,2892 | 1260  | 0,0601 |
| 1020  | 0,2827 | 1265  | 0,0561 |
| 1025  | 0,2778 | 1270  | 0,0528 |
| 1030  | 0,2705 | 1275  | 0,0496 |
| 1035  | 0,2656 | 1280  | 0,0463 |
| 1040  | 0,2591 | 1285  | 0,0422 |
| 1045  | 0,2543 | 1290  | 0,0390 |
| 1050  | 0,2494 | 1295  | 0,0357 |
| 1055  | 0,2437 | 1300  | 0,0317 |
| 1060  | 0,2380 | 1305  | 0,0276 |
| 1065  | 0,2331 | 1310  | 0,0260 |
| 1070  | 0,2266 | 1315  | 0,0227 |
| 1075  | 0,2218 | 1320  | 0,0195 |
| 1080  | 0,2161 | 1325  | 0,0171 |
| 1085  | 0,2112 | 1330  | 0,0130 |
| 1090  | 0,2055 | 1335  | 0,0106 |
| 1095  | 1,4240 | 1340  | 0,0073 |
| 1100  | 0,1958 | 1345  | 0,0049 |
| 1105  | 0,1901 | 1350  | 0,0008 |
| 1110  | 0,1860 | 1355  | 0,0000 |
| 1115  | 0,1812 |       |        |
| 1120  | 0,1771 |       |        |
| 1125  | 0,1722 |       |        |
| 1130  | 0,1673 |       |        |
| 1135  | 0,1617 |       |        |
| 1140  | 0,1568 |       |        |
| 1145  | 0,1527 |       |        |
| 1150  | 0,1478 |       |        |
| 1155  | 0,1438 |       |        |
| 1160  | 0,1381 |       |        |
| 1165  | 0,1357 |       |        |
| 1170  | 0,1308 |       |        |
| 1175  | 0,1259 |       |        |
| 1180  | 0,1227 |       |        |

**Tabela b4 – Valores da Razão de Temperatura e tempo para o congelamento de manga Haden “in natura” a temperatura de -196° C.**

| <b>Tempo<br/>(seg)</b> | <b>RT</b> |
|------------------------|-----------|
| 0                      | 1,0000    |
| 5                      | 0,9991    |
| 10                     | 0,9946    |
| 15                     | 0,9860    |
| 20                     | 0,9742    |
| 25                     | 0,9616    |
| 30                     | 0,9440    |
| 35                     | 0,9295    |
| 40                     | 0,9137    |
| 45                     | 0,8983    |
| 50                     | 0,8875    |
| 55                     | 0,8735    |
| 60                     | 0,8653    |
| 65                     | 0,8590    |
| 70                     | 0,6362    |
| 75                     | 0,1853    |
| 80                     | 0,0136    |
| 85                     | 0,0045    |
| 90                     | 0,0000    |

ANEXO C

RESULTADO DA ANÁLISE SENSORIAL DA MANGA LIOFILIZADA E MANGA-PASSA

Tabela c1 – Resultado da análise sensorial da manga liofilizada e manga-passa. Campina Grande, 2006.

ANÁLISE SENSORIAL DA MANGA

| PROVADOR | MANGA LIOFILIZADA |     |       |       |                    | MANGA-PASSA |     |       |       |                    | PREFERÊNCIA |
|----------|-------------------|-----|-------|-------|--------------------|-------------|-----|-------|-------|--------------------|-------------|
|          | APARÊNCIA         | COR | SABOR | AROMA | INTENÇÃO DE COMPRA | APARENCIA   | COR | SABOR | AROMA | INTENÇÃO DE COMPRA |             |
| 1        | 9                 | 9   | 7     | 9     | S                  | 5           | 8   | 7     | 7     | N                  | 1           |
| 2        | 9                 | 9   | 9     | 7     | S                  | 5           | 6   | 7     | 7     | N                  | 1           |
| 3        | 8                 | 7   | 5     | 7     | S                  | 8           | 8   | 7     | 8     | S                  | 2           |
| 4        | 7                 | 7   | 7     | 7     | S                  | 8           | 8   | 8     | 7     | S                  | 2           |
| 5        | 6                 | 9   | 4     | 7     | N                  | 9           | 9   | 1     | 2     | N                  | 1           |
| 6        | 8                 | 6   | 7     | 8     | S                  | 4           | 7   | 5     | 3     | N                  | 1           |
| 7        | 8                 | 8   | 8     | 6     | S                  | 8           | 8   | 8     | 8     | S                  | 2           |
| 8        | 9                 | 8   | 9     | 8     | S                  | 7           | 8   | 7     | 7     | N                  | 1           |
| 9        | 8                 | 8   | 4     | 5     | N                  | 8           | 8   | 6     | 7     | S                  | 2           |
| 10       | 8                 | 8   | 4     | 5     | N                  | 8           | 8   | 9     | 7     | S                  | 2           |
| 11       | 8                 | 7   | 6     | 7     | N                  | 8           | 9   | 8     | 9     | S                  | 2           |
| 12       | 8                 | 8   | 7     | 7     | S                  | 5           | 5   | 6     | 6     | N                  | 1           |
| 13       | 8                 | 7   | 6     | 8     | S                  | 8           | 6   | 6     | 8     | S                  | 1           |
| 14       | 4                 | 4   | 4     | 4     | N                  | 8           | 8   | 7     | 8     | S                  | 2           |
| 15       | 4                 | 4   | 3     | 3     | N                  | 7           | 8   | 7     | 7     | S                  | 2           |
| 16       | 7                 | 7   | 3     | 5     | N                  | 8           | 8   | 8     | 8     | S                  | 2           |
| 17       | 1                 | 2   | 2     | 3     | N                  | 2           | 8   | 7     | 5     | S                  | 2           |
| 18       | 7                 | 8   | 4     | 8     | N                  | 8           | 7   | 8     | 7     | S                  | 2           |
| 19       | 7                 | 8   | 4     | 4     | N                  | 7           | 8   | 7     | 8     | S                  | 2           |
| 20       | 7                 | 8   | 8     | 6     | N                  | 5           | 5   | 5     | 6     | N                  | 1           |

|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 7 | 7 | 4 | 5 | N | 5 | 4 | 4 | 7 | 5 | N | 2 |
| 22 | 8 | 7 | 7 | 6 | S | 4 | 6 | 6 | 7 | 5 | N | 1 |
| 23 | 7 | 6 | 5 | 4 | N | 6 | 4 | 4 | 7 | 4 | N | 2 |
| 24 | 5 | 2 | 4 | 8 | N | 6 | 8 | 8 | 5 | 7 | S | 2 |
| 25 | 5 | 7 | 4 | 8 | N | 8 | 7 | 7 | 7 | 6 | S | 2 |
| 26 | 5 | 3 | 5 | 2 | N | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | N | 2 |
| 27 | 8 | 7 | 9 | 8 | S | 8 | 9 | 9 | 2 | 9 | N | 1 |
| 28 | 6 | 5 | 6 | 7 | N | 7 | 7 | 7 | 6 | 7 | S | 2 |
| 29 | 7 | 6 | 7 | 6 | N | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | S | 2 |
| 30 | 7 | 6 | 8 | 7 | S | 7 | 8 | 8 | 7 | 6 | S | 1 |