

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS E HISTOLÓGICAS DURANTE O
DESENVOLVIMENTO, MATURAÇÃO E ARMAZENAMENTO
REFRIGERADO DO SAPOTI
(*Manilkara zapota* L. Von Royen).**

MARIA RAQUEL ALCÂNTARA DE MIRANDA

TESE SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA, CEARÁ

2002

M644a Miranda, Maria Raquel Alcântara de
Alterações fisiológicas e histológicas durante o desenvolvimento, maturação e armazenamento refrigerado do sapoti (*Manilkara zapota* L. Von Royen)/ Maria Raquel Alcântara de Miranda. – Fortaleza, 2002.

135 f. : il.

Tese (doutorado em fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará.

1. *Manilkara zapota* (sapoti). 2. Fisiologia pós-colheita. 3. Histologia. 4. Armazenamento. 5. Atmosfera modificada.
I. Título.

CDD 634.43

Esta tese foi submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia outorgado em pela Universidade Federal do Ceará.

A citação de qualquer trecho deste trabalho é permitida, desde que seja feita em conformidade com as normas de ética científica.

Maria Raquel Alcântara de Miranda

Aprovada em: 11 / 07 / 2002.

Prof. Dr. Abdellatif Benbadis
Orientador

Dr. Ricardo Elesbão Alves
Conselheiro

Profa. Dra. Rejane Jurema Mansur Custódio Nogueira
Conselheira

Prof. Dr. Renato Innecco
Conselheiro

Prof. Dr. Raimundo Wilane Figueiredo
Conselheiro

Dedico aos meus pais, Inês e Antônio,
e ao Marcelo.

AGRADECIMENTOS

À Dra. Heloisa Almeida Cunha Filgueiras da Embrapa Agroindústria Tropical, em especial por sua orientação e pelo muito que aprendi ao longo de todo o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Professor Dr. Abdellatif Benbadis do Departamento de Fitotecnia da UFC, por sua orientação e por estar sempre tão gentilmente disponível.

À Professora Dra. Arlete Soares do Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Biologia da UFC, por toda sua ajuda e orientação nas análises microscópicas constantes neste trabalho.

Ao Dr. Ricardo Elesbão Alves da Embrapa Agroindústria Tropical, por sua orientação, ajuda e admirável bom humor.

À Professora Dra. Rejane Mansur Custódio Nogueira do Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelas sugestões e por concordar em participar como conselheira deste trabalho.

Aos Professores, Dr. Raimundo Wilane de Figueiredo do Departamento de Tecnologia de Alimentos e Dr. Renato Inecco do Departamento de Fitotecnia, ambos da UFC, pelas sugestões e por concordarem em participar como conselheiros deste trabalho.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFC, em particular às queridas Shirley Mapurunga e Patrícia Morais, pelos bons momentos que tivemos.

Aos colegas do Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Agroindústria Tropical, em particular ao Adriano Almeida, Farfey Moura, Lígia Machado, Márcio Pereira e Rosaura Gazzola, pela ajuda e agradável convivência.

Às amigas do Curso de Pós-Graduação em Bioquímica da UFC, Silvia Maria e Cristina Paiva, pelos divertidos almoços.

Às instituições Universidade Federal do Ceará UFC, Embrapa Agroindústria Tropical e CAPES, pois sem as quais seria impossível a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 O Sapotizeiro – Aspectos gerais	2
2.2. A Cultura do sapotizeiro.....	6
2.3 Mudanças durante o desenvolvimento e maturação do sapoti.....	8
2.3.1 Açúcares	9
2.3.2 Acidez.....	11
2.3.3 Proteínas	13
2.3.4 Compostos fenólicos	15
2.3.5 Teor de água.....	17
2.3.6 Firmeza	17
2.3.7 Látex	19
2.3.8 Climatério	20
2.4 Modificações histológicas durante o amadurecimento dos frutos.....	21
2.5 Conservação pós-colheita do sapoti.....	23
2.5.1 Refrigeração.....	24
2.5.2 Atmosferas Controlada e Modificada.....	26
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
CAPÍTULO II - Caracterização física, química e histológica do desenvolvimento do sapoti	41
RESUMO.....	41
ABSTRACT	42
1. INTRODUÇÃO.....	43

2. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
2.1 Condições de cultivo dos sapotizeiros.....	45
2.2 Colheita e manuseio dos frutos.....	46
2.3 Instalação e condução dos experimentos.....	46
2.4 Análises	47
2.4.1 Físicas	47
2.4.2 Químicas	49
2.4.3 Produção de CO ₂ e etileno climatéricos	50
2.4.4 Histológicas.....	51
2.4.5 Delineamento experimental e análises estatísticas.....	51
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
3.1 Caracterização física do sapoti durante o desenvolvimento.....	53
3.1.1 Aparência externa e interna	53
3.1.2 Crescimento	56
3.1.3 Firmeza	59
3.2 Produção de CO ₂ e de etileno climatéricos.....	60
3.3 Caracterização química do sapoti durante o desenvolvimento.....	62
3.3.1 Carboidratos.....	62
3.3.2 Compostos fenólicos	66
3.4 Caracterização histológica do sapoti durante o desenvolvimento	67
4. CONCLUSÕES	77
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
CAPÍTULO III - Determinação da vida útil do sapoti após armazenamento refrigerado sob atmosfera modificada	85
RESUMO	85
ABSTRACT	86
1. INTRODUÇÃO	87
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	89
2.1 Condições de cultivo dos sapotizeiros.....	89
2.2 Colheita e manuseio dos frutos.....	89
2.3 Instalação e condução dos experimentos.....	89
2.4 Análises	90

2.4.1 Físicas	90
2.4.2 Físico-químicas e químicas	91
2.4.3 Delineamento experimental e análises estatísticas	94
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
3.1 Perda de peso	95
3.2 Firmeza	98
3.3 Acidez total titulável	102
3.4 Sólidos solúveis totais	105
3.5 pH	107
3.6 Amido	109
3.7 Açúcares Solúveis Totais	111
3.8 Compostos Fenólicos	113
3.9 Ácido ascórbico	115
3.10 Atividade da β -Galactosidase	117
4. CONCLUSÕES	121
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXOS	128

LISTA DE FIGURAS

	Página
CAPÍTULO I	
Figura 1. Frutos do saptizeiro com formatos globoso e oblongo	4
CAPÍTULO II	
Figura 1. Colorações externa e interna do sapti durante seu desenvolvimento. Frutos alinhados da esquerda para direita: pós-climatérico, 180, 150, 120, 90, 60, 45 e 0 dias após a marcação. Fortaleza, 2000.....	55
Figura 2. Alterações nos diâmetros transversal e longitudinal durante o desenvolvimento do sapti. Fortaleza, 2000	56
Figura 3. Curva de crescimento do sapti. Fortaleza, 2000.	57
Figura 4. Alterações no peso seco durante o desenvolvimento do sapti.	58
Figura 5. Alterações em firmeza durante o desenvolvimento do sapti. Fortaleza, 2000.....	59
Figura 6. Produção de CO ₂ e etileno em saptis colhidos ao sexto mês e armazenados em condição ambiente (28°C e 60 ± 5% U.R.). Fortaleza, 2000	61
Figura 7. Alterações no conteúdo de amido durante o desenvolvimento do sapti. Fortaleza, 2000.	62
Figura 8. Alterações no conteúdo de açúcares solúveis totais (AST) durante o desenvolvimento do sapti. Fortaleza, 2000	63
Figura 9. Alterações no conteúdo de açúcares redutores durante o desenvolvimento do sapti. Fortaleza, 2000.	65
Figura 10. Alterações no conteúdo de compostos fenólicos durante o desenvolvimento do sapti.	66
Figura 11. Pericarpo do sapti colhido ao quarto (A) e ao sexto mês (B) de desenvolvimento, corado com azul de toluidina, 10x. m- mesocarpo; e- epicarpo; p- periderme, cp- campos de pontuação e b-braquiesclereídeos. Fortaleza, 2001.	69

- Figura 12. Pericarpo do sapoti após o climatério, corado com azul de toluidina, 10x. m- mesocarpo; e- epicarpo; p- periderme, i- espaços intercelulares, cp- campos de pontuação e s-esclereídeos. Fortaleza, 2001. 70
- Figura 13. Análise microquímica para grânulos de amido **(A)** em sapotis colhidos no sexto mês de desenvolvimento, corados com lugol, 40x. **(B)** Canal laticífero (cl) em fruto colhido no quarto mês de desenvolvimento, corado com azul de toluidina, 10x. fv- feixe vascular. Fortaleza, 2001..... 72
- Figura 14. Paredes de células do mesocarpo do sapoti pós-climatérico coradas com azul de toluidina **(A)**, 40x e coradas com vermelho de rutênio **(B)**, 100x. Im-lamela média e cp- campos de pontuações primarias. Fortaleza, 2001. 74
- Figura 15. Parede celular de células do mesocarpo do sapoti ao quarto mês **(A)** e após o climatério **(B)**, 40x, corado com vermelho de rutênio para pectina, 100x. Fortaleza, 2001..... 76

CAPÍTULO III

- Figura 1. Perda de peso dos sapotis armazenados por 7 **(A)**, 14 **(B)** e 21 **(C)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5 % U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5 % U.R). Fortaleza, 2001..... 96
- Figura 2. A firmeza dos sapotis armazenados por 7 **(A)**, 14 **(B)** e 21 **(C)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001..... 99
- Figura 3. Acidez total titulável (ATT) dos sapotis armazenados por 7 **(A)**, 14 **(B)** e 21 **(C)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001..... 104
- Figura 4. Teor de sólidos solúveis totais (SST) dos sapotis armazenados por 7 **(A)**, 14 **(B)** e 21 **(C)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001. 106
- Figura 5. pH dos sapotis armazenados por 7 **(A)** e 14 **(B)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001. 108

- Figura 6. Teor de amido dos sapotis armazenados por 7 **(A)** e 14 **(B)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001. 110
- Figura 7. Teor de açúcares solúveis totais dos sapotis armazenados por 7 **(A)** e 14 **(B)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001 112
- Figura 8. Conteúdo de compostos fenólicos dos sapotis armazenados por 7 **(A)** e 14 **(B)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001 114
- Figura 9. Teor de vitamina C dos sapotis armazenados por 7 **(A)** e 14 **(B)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 09 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001 116
- Figura 10. Atividade da β -galactosidase dos sapotis armazenados por 7 **(A)** e 14 **(B)** dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.. 119

LISTA DE TABELAS

Página

CAPÍTULO II

Tabela 1. Evolução das principais características de aparência durante o desenvolvimento do sapoti. Fortaleza, 2000.....	54
--	----

ANEXOS

Tabela A1. Resumo das análises de variância do teor de açúcares solúveis totais (AST), de açúcares redutores (AR), de amido e de compostos fenólicos poliméricos (FPOL), oligoméricos (FOLIG) e dímeros (FDIM). Fortaleza, 2000.	129
Tabela A2. Resumo das análises de variância de peso fresco (PF) e seco (PS), firmeza (FR), diâmetros transversal (DT) e longitudinal (DL) de sapoti durante o desenvolvimento. Fortaleza, 2000	129
Tabela A3. Resumo das análises de variância de produção de CO ₂ e etileno em sapotis colhidos ao sexto mês e armazenados em condição ambiente (28°C e 60 ± 5% U.R.). Fortaleza, 2000.....	130
Tabela A4. Resumo das análises de variância do teor de açúcares solúveis totais (AST), de amido e de compostos fenólicos poliméricos (FPOL), oligoméricos (FOLIG) e dímeros (FDIM), de vitamina C (VC) e da atividade da β Galactosidase (GAL) de sapotis armazenados por 7 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.....	131
Tabela A5. Resumo das análises de variância de firmeza (FR), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) e pH de sapotis armazenados por 7 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.....	132
Tabela A6. Resumo das análises de variância do teor de açúcares solúveis totais (AST), de amido e de compostos fenólicos poliméricos (FPOL), oligoméricos (FOLIG) e dímeros (FDIM), de vitamina C (VC) e da atividade da β Galactosidase (GAL) de sapotis armazenados por 14 dias sob	

refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5 % U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.....	133
Tabela A7. Resumo das análises de variância de firmeza (FR), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) e pH de sapotis armazenados por 14 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60±5% U.R). Fortaleza, 2001.	134
Tabela A8. Resumo das análises de variância de firmeza (FR), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) e pH de sapotis armazenados por 21 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60±5% U.R). Fortaleza, 2001	135

RESUMO

Várias são as espécies frutíferas exóticas com alto potencial agrônomo como o sapotizeiro, o qual é um muito bem adaptado às condições edafo-climáticas de nosso país, mais especificamente às da região Nordeste. O fruto do sapotizeiro tem excelente aroma e sabor, o que o torna interessante para exploração comercial. A necessidade de estudos mais aprofundados que permitam entender melhor as mudanças metabólicas que ocorrem no sapoti ao longo de seu desenvolvimento, nos levaram a estabelecer os objetivos desse trabalho. No primeiro experimento, fez-se um acompanhamento das mudanças bioquímicas, físicas e histológicas que ocorrem ao longo do desenvolvimento do sapoti visando identificar alguns índices de maturidade. Por último, com o intuito de se determinar o potencial de vida útil do sapoti, avaliou-se seu comportamento sob armazenamento refrigerado e atmosfera modificada. A curva de crescimento do sapoti é do tipo sigmóide simples, em que atinge o maior peso médio, 127,0 g, ao sexto mês. Os frutos colhidos nesse estágio encontram-se completamente maduros ao oitavo dia e apresentam um padrão respiratório tipo climatérico. O estudo histológico, do sapoti, mostrou que há uma evidente desorganização com afrouxamento das camadas da parede celular nos frutos maduros o que explicaria o brusco declínio em firmeza. Os frutos armazenados a 5 e 12°C sob atmosfera modificada por um período de 14 dias, apresentam boa qualidade e amadurecem regularmente entre o 3 e 6º dia, após estarem em condições ambientes.

ABSTRACT

Sapodilla tree is one of many exotic species with great agronomic potential. This species is very well acclimatized to the Northeastern region of Brazil and has fruits known for their flavour and sweet taste. These organoleptic characteristics, makes sapodilla so interesting for commercial exploitation. The necessity for a further understanding of the metabolic changes that occur during the development of sapodilla, has helped us establish the objectives of this work. Initially, the biochemical, physical and histological changes that happen through the development of sapodilla were studied, to identify maturity indexes. Then, fruits were stored under modified atmosphere and refrigeration to determine their postharvest life, under these conditions. Sapodilla has a sigmoid growth pattern and they reach their maximum weight after six months of development (127,0 g). Six months olds fruits were completely ripe on the 8th day after harvest and showed a typical climateric respiratory pattern. The histological studies showed a disorganized tissue and the disassembly of the cell walls, explaining the loss in firmness observed in ripe fruits. Postharvest storage, for a 14 day period, in cool chamber at 5 or 12 °C with modification of atmosphere results in fruits with good quality that ripened after 3 to 6 days at ambient conditions.

CAPÍTULO I

1. Introdução Geral

A fruticultura ocupa uma importante posição na produção agrícola nacional. Vários são os frutos cultivados com interesses econômicos, muito embora, haja ainda uma grande quantidade de espécies de plantas frutíferas, consideradas exóticas, que são pouco exploradas comercialmente ou somente de forma extrativista. Dentre as espécies frutíferas com alto potencial para exploração, pode-se citar o sapotizeiro.

O interesse em melhores condições de exploração comercial das culturas exóticas, nos traz a necessidade de aprofundar os conhecimentos básicos nas áreas de fisiologia e bioquímica dessas espécies. O sapotizeiro é uma planta frutífera muito bem adaptada às condições edafo-climáticas do Brasil, mais especificamente às da região Nordeste. O fruto do sapotizeiro tem excelente aroma e sabor, o que o torna interessante para exploração comercial tanto para consumo *in natura*, como para produção de geléia, sucos e sorvetes.

As mudanças bioquímicas que ocorrem durante o desenvolvimento e amadurecimento do sapoti incluem a degradação de carboidratos, a síntese de proteínas relacionadas ao amadurecimento e o metabolismo dos compostos fenólicos abundantes nesse fruto. Para que qualquer fruto seja comercializado com boa qualidade, é importante conhecer sua fisiologia desde o seu desenvolvimento, identificando qual a melhor época de colheita, até o amadurecimento. Informações sobre o comportamento do fruto durante as etapas de transporte, armazenamento e comercialização, permitem que sejam adaptadas as técnicas de manejo e conservação mais apropriadas.

Além da preocupação com a conservação em si, o interesse em tirar maior proveito das circunstâncias variáveis do mercado, traz a necessidade de manter os frutos em suas melhores condições para serem comercializados no momento mais lucrativo. Ao longo dos tempos, foram sendo desenvolvidas várias técnicas de conservação pós-colheita dos produtos agrícolas. No meio do século XX, já se

armazenavam maçãs sob condições refrigeradas nos Estados Unidos e hoje, armazenamento sob condições refrigeradas, assim como sob atmosferas modificadas e controladas, são práticas corriqueiras em várias partes do mundo.

A insuficiência de informações sobre as mudanças metabólicas que ocorrem ao longo do desenvolvimento e amadurecimento do sapoti, que implica numa maior dificuldade de conservação pós-colheita desse fruto, norteou os objetivos desse trabalho que foram: estudar seu desenvolvimento por meio da avaliação de características físicas, químicas e histológicas para identificar o estágio de maturidade fisiológica e determinar seu potencial de vida útil pós-colheita sob armazenamento refrigerado associado a atmosfera modificada.

2. Revisão de Literatura

2.1 O sapotizeiro – Aspectos gerais

A origem do sapotizeiro, provavelmente, se deu na América Central mais especificamente no sul do México (Popenoe, 1920). O sapotizeiro é classificado taxonomicamente como *Manilkara zapota* L. Von Royen, do gênero *Manilkara*, que faz parte da subfamília Mimosopoideae, família Sapotaceae. Uma variedade de sinônimos é empregada na denominação dessa planta como *Achras sapota*, *Achras zapota*, *Manilkara sapotilla* e *Sapota zapodilla* (Gilly, 1943). Existem outros gêneros importantes pertencentes à mesma família como *Calocarpum*, *Chrysophyllum*, *Lucuma* e *Pouteria*.

O sapotizeiro é uma árvore de porte médio, que mede de 3 a 5 m quando cultivada, e que pode alcançar até 30 m no estado selvagem. O tronco é curto, espesso e ramificado, com caule de cor pardo-cinza que sustenta uma copa ornamental, densa, esférica e irregular. As folhas são alternadas, oblanceoladas, com pecíolo curto (5x15 cm) e quando novas possuem pelos. As flores são perfeitas, completas, de cor branca e situam-se isoladas nas axilas das folhas, possuem ovário com 10 e 12 lóculos, e 6 estames férteis e 6 estéreis, conhecidos como estaminóides (Leon, 1968; Simão, 1971).

Os principais produtos de exploração comercial do sapotizeiro são seus frutos e seu látex, muito usado na produção de goma de mascar. O fruto do sapotizeiro, o sapoti, é uma baga, fixada normalmente por um longo pedúnculo e pode ter vários formatos: oval, globoso, elipsóide, piramidal ou oblongo (Figura 01). O peso médio varia entre 50 e 300 g, com diâmetro médio de 5 cm, porém há registros de frutos que pesavam até 1kg com até 10cm de diâmetro, e o número de sementes variando de 4 a 12 (Lakshminarayana, 1980; Salunkhe e Desai, 1986; Popenoe, 1989; Pinto *et al.*, 1996 e Ferreira *et al.*, 1998). O fruto se constitui em exocarpo, meso e endocarpo. O exocarpo ou casca é coberto de lenticelas e frágil, o que dificulta o armazenamento do fruto. A casca tem cor marrom e textura arenosa, que se torna mais lisa à medida que o fruto amadurece, já que esta vai descamando. O mesocarpo ou polpa é carnoso e rico em amido.



Figura 1. Frutos do sapotizeiro com formatos globoso e oblongo.

A polpa do fruto maduro apresenta pouca acidez, é succulenta e de cor escura que vai de marrom-amarelada até avermelhada e com rendimento de 85% (Lima *et al.*, 1990).

Tanto na casca como na polpa do fruto imaturo se encontram vários canais de látex (Leon, 1968 e Simão, 1971). O sapoti é reconhecido por seu sabor adocicado e levemente adstringente, sendo consumido *in natura* ou como sorvete, suco ou compota ou geléia.

O sapoti é conhecido vulgarmente como chicozapote no México, níspero em outros países de língua espanhola, ciku, chiku ou chikoo na Índia e Sudeste asiático, sapodilla nos Estados Unidos, breiapfel na Alemanha, sapotille em países de língua francesa e no Brasil, dependendo do formato, como sapoti ou sapota (Lakshminarayana, 1980).

O sapotizeiro é uma planta que se adapta muito bem às mais diversas condições de solo e clima, o que contribui para sua distribuição por várias partes do mundo, como nas Américas, Índia, Ásia, Oceania e ilhas do Caribe. O México era um dos principais produtores de sapoti na década de 80, com mais de 4000 ha cultivados segundo Lakshminarayana (1980), enquanto que publicações anteriores afirmavam que a Índia em 1970 já tinha 2000 ha plantados (Shanmugavelu e Srinivasan, 1973).

A produtividade do sapotizeiro é maior quando plantado em altitudes menores que 400 m, no entanto sabe-se que este pode produzir até a 2500 m acima do nível do mar, onde as precipitações estão acima de 1000 mm anuais (Moura e Bezerra, 1982; Salunkhe e Desai, 1986). A preferência por temperaturas acima de 28°C, permitiu uma adaptação rápida dessa planta no Nordeste brasileiro, onde a temperatura média é 30°C, embora possa ser encontrada em quase todo território brasileiro, do Amazonas ao norte de Paraná. A planta adulta é resistente à geada e temperaturas abaixo de 0°C, no entanto uma planta jovem submetida a esse tipo de estresse dificilmente sobrevive (Simão, 1971; Lakshminarayana, 1980; Moura e Bezerra, 1982).

Sob condições de estresse hídrico e de ventos fortes, o sapotizeiro sobrevive bem. Todavia, as melhores condições para seu cultivo são regiões quentes onde a precipitação pluviométrica é bem distribuída. Fatores externos como altas

temperaturas e luminosidade, assim como a riqueza mineral do solo em questão, afetam diretamente o sabor dos frutos (Simão, 1971; Popenoe, 1989; Velez-Cólon *et al.*, 1989)

Os solos preferenciais para o desenvolvimento do sapotizeiro são os ricos e bem drenados, muito embora essa planta sobreviva em quase todos os tipos de solo. Outro importante ponto a favor do cultivo do sapotizeiro seria a sua resistência a pragas e doenças, que se deve, provavelmente, à sua rusticidade (Simão, 1971; Lakshminarayana, 1980; Moura e Bezerra, 1982; Popenoe, 1989).

Poucos insetos são capazes de infestar o sapotizeiro, dentre os quais *Nephoteryx engraphella* é conhecido por atacar folhas (Lakshminarayana, 1980; Salunkhe e Desai, 1986), e três espécies da família Cerambycidae são capazes de atacar ramos e caules (Moura e Bezerra, 1982). Os frutos estão sujeitos ao ataque por moscas da fruta, especialmente quando são cultivados próximos a pessegueiros, goiabeiras ou cafeeiros. Algumas espécies de moscas, *Ceratitidis capitata*, *Anastrepha fraterculata* e *A. serpentin*, causam prejuízos, por penetrarem na polpa e inutilizarem os frutos (Simão, 1971; Moura e Bezerra, 1982). Algumas espécies de fungos se aproveitam do ataque de insetos para infectar a planta, em particular os do gênero *Phytophthora* que atacam tanto frutos imaturos como maduros, e bactérias podem ser encontradas associadas ao látex do fruto (Salunkhe e Desai, 1986).

2.2. A Cultura do sapotizeiro

A grande maioria dos cultivos de sapoti são do tipo “fundo de quintal”, onde os frutos são designados conforme seu formato e consistência. Os frutos ovais ou cônicos são chamados de sapoti, enquanto os arredondados são chamados de sapota. No Brasil, a primeira cultivar estabelecida foi a *Itapirema-31* (Moura *et al.*, 1983). Mais recentemente, outra cultivar a *Chocolate* foi desenvolvida por pesquisadores da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA. Nesse mesmo período, várias cultivares de sapoti já foram bem estabelecidas em outros países.

Nos Estados Unidos foram estabelecidas cinco cultivares (Lakshminarayana, 1980), na Indonésia quatro e nas Filipinas há uma cultivar bastante conhecida, a *Ponderosa chico* (Rodrigo, 1938). Com certeza, a Índia é o país no qual foi

estabelecido o maior número de cultivares, dezesseis na região sul do país, algumas bem conhecidas como *Calcutta Round*, *Cricket ball*, *Kitabarti* e *Dwarapudi*, mais sete cultivares na região oeste e nove na sudeste (Lakshminarayana, 1980). Recentemente, algumas cultivares tailandesas, *Makok* e *Alano*, e mexicanas, *Morena* e *Hasyá* foram estabelecidas (Campbell e Mahdeem, 1997).

Um fato muito comum é o estabelecimento dessas cultivares em outros locais que não os seus países de origem. Nesse caso ocorre que os frutos são identificados pelo formato, característica não muito confiável, já que o sapoti é reconhecidamente muito heterogêneo. A alta variabilidade do sapotizeiro deve-se à alta frequência de heterozigose, condições climáticas e além disso, à mutações ao acaso e a propagação por sementes (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979; Vélez-Cólon *et al.*, 1989).

Vários são os fatores de variabilidade observados no sapotizeiro e que são utilizados na identificação de novas cultivares, como forma e tamanho da planta e do fruto, cor da polpa, sabor e *flavour*, características de produção e número de sementes (Leon, 1968; Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979).

A propagação do sapotizeiro é feita na maioria das vezes por sementes, o que resulta em plantas de “pé franco”, que são produtos de recombinação genética com alta heterogeneidade. As técnicas de propagação vegetativa por enxertia, borbúlia, garfagem, encostia, além de alporquia, foram testadas (Rodrigo, 1938; Peralta e Cruz, 1954; Krochmal, 1971). Moura *et al.* (1979) observaram que, para o sapotizeiro, a enxertia por encostia era mais eficiente que por garfagem, embora a encostia apresente uma série de problemas quando utilizada na multiplicação de fruteiras, como a limitação no número de enxertos. Alguns dos problemas enfrentados na multiplicação do sapotizeiro são a exsudação de látex e uma frutificação que demora de quatro a cinco anos (Simão, 1971). Todavia, existem resultados mostrando que o fluxo de látex não impediu o pegamento dos enxertos (Gonzalez *et al.*, 1999).

Atualmente, há necessidade de se complementar os vários métodos tradicionais empregados na propagação de plantas frutíferas como o sapotizeiro. A micropropagação, utilizando técnicas *in vitro*, vem ajudar na produção de grandes quantidades de propágulos geneticamente uniformes. Sachdeva e Mehra (1986) iniciaram estudos de indução de *calli* a partir de várias partes de plântulas de *M.*

zapota, e Purohit e Singhvi (1998) conseguiram estabelecer um protocolo bastante reproduzível para micropropagação de explantes jovens.

O sapoti requer um longo período de desenvolvimento para atingir a maturidade, entre 4 a 10 meses (Roy e Joshi, 1997). No entanto, essa desvantagem é ultrapassada, porque sob regime irrigado, a produção de frutos é errática durante todo o ano, de modo que se encontram frutos em todos os estádios numa única planta. O sapotizeiro apresenta uma característica que dificulta muito a determinação do ponto de colheita. Diferentemente de outros frutos, o sapoti raramente exibe mudanças externas na cor ou consistência, acarretando que frutos colhidos antes da maturidade fisiológica amadureçam de forma irregular com alterações na consistência e sabor, e aqueles colhidos em estágio mais avançado amadureçam em muito pouco tempo, dificultando a comercialização (Sundararajan e Madhava-Rao, 1967).

Alguns indicadores físicos são usados de modo arbitrário na identificação do estágio de maturação dos frutos na planta. Indicadores como a queda do estigma da extremidade do fruto, perda da textura arenosa da casca que se torna lisa, e o fato de, ao se arranhar levemente a casca, não haver a exsudação de látex, exibindo-se o tecido de coloração marrom-amarelada (Lakshminarayana, 1980; Salunkhe e Desai, 1986). Abdul-Karim *et al.* (1987) afirmam que tanto o comprimento quanto o diâmetro podem ser usados como indicadores de colheita para frutos da cultivar *Jatung*.

Esses fatos justificariam a necessidade de se conhecer bem o estágio de maturação ideal para a colheita do sapoti. Através de estudos sobre a fisiologia e bioquímica do fruto seria possível entender melhor as modificações que ocorrem durante o desenvolvimento e amadurecimento, e portanto obter informações essenciais para o melhor aproveitamento comercial do sapoti.

2.3 Mudanças durante o desenvolvimento e maturação do sapoti.

O desenvolvimento dos frutos depende da fotossíntese e da absorção de água e nutrientes, assim como de hormônios fornecidos pela planta-mãe. O padrão de crescimento do sapoti pode ser obtido através de um gráfico relacionando peso fresco e tempo, observando-se curvas sigmóides dos tipos simples ou duplos, dependendo

da duração do desenvolvimento da variedade (Lakshminarayana e Subramanyan, 1966; Ali e Lin, 1996). Após a colheita, todas as reações metabólicas que requerem energia vão depender do processo respiratório para obtê-la. Dessa forma, o tipo e a intensidade da atividade fisiológica vão determinar a longevidade de armazenamento dos frutos.

O estágio de maturação do fruto no momento da colheita, representa um estágio inicial de qualidade cujo declínio deve ser mínimo após a colheita. A colheita de frutos antes de atingirem a maturidade fisiológica, impede o desenvolvimento de todas as suas características apropriadas. Por outro lado, frutos colhidos em estágio avançado de maturação, tornam-se difíceis de ser manuseados, transportados, e portanto, comercializados. O sapoti, logo antes de alcançar a maturidade fisiológica apresenta, no final do desenvolvimento, um padrão de respiração climatérico, que pode alcançar um pico de liberação de CO₂ de 27 ml/kg/h, e um aumento na produção de etileno que atinge um máximo de 1,7 µl/kg/h (Baez *et al.*, 1997). Todas as mudanças envolvidas no amadurecimento, como amaciamento, na cor da polpa e no sabor, assim como outras características físicas e químicas coincidem com o pico climatérico (Baez *et al.*, 1997).

2.3.1 Açúcares

Em frutos, de uma forma geral, os açúcares são acumulados ao longo do desenvolvimento, quando estes ainda estão associados à planta mãe. O modo de reserva de carboidratos varia entre as espécies, mas normalmente estes são originados a partir de assimilados fotossintéticos. Alguns frutos acumulam suas reservas na forma de amido e outros na de açúcares solúveis como sacarose, frutose e glicose, antes ainda do amadurecimento (Seymour *et al.*, 1993).

Os açúcares livres, glicose e frutose, em conjunto com compostos fenólicos são os principais constituintes quantitativos do sapoti maduro (Salunkhe e Desai, 1986). O açúcar galactose é encontrado na forma solúvel apenas no sapoti maduro (Pathak e Bhat, 1952). Estudos realizados por Lakshminarayana (1980), mostraram que durante a maturação do fruto os conteúdos de hemicelulose e amido decrescem, enquanto as concentrações de sacarose e, em menor quantidade, de glicose e frutose

aumentam. Ocorre, inicialmente, uma degradação mais acelerada de hemicelulose, porém à medida em que o fruto amadurece, tanto hemicelulose quanto amido são degradados igualmente (Pathak e Bhat, 1952). Existe uma alta correlação entre o aumento no conteúdo de açúcares solúveis e o conteúdo de sólidos solúveis totais em frutos como o sapoti, o qual varia entre 12 e 28 °Brix (Shanmugavelu e Srinivasan, 1973; Abdul-Karim *et al.*, 1987; Heredia *et al.*, 1997; Alves *et al.*, 2000).

O sapoti é conhecido por possuir uma quantidade relativamente alta de amido quando maduro, até 5% (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979, Abdul-Karim *et al.*, 1987 e Alves *et al.*, 2000). O conteúdo total de açúcares no sapoti maduro varia entre 7,0 e 28,0%, conforme a cultivar (Lakshminarayana e Subramanyam, 1966; Shanmugavelu e Srinivasan, 1973; Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979; Selvaraj e Pal, 1984; Salunkhe e Desai, 1986; Abdul-Karim *et al.*, 1987). Porém, em geral, as cultivares Mexicanas (11-20%), possuem um conteúdo de açúcar mais alto e mais consistente que as Indianas (7-26%) (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979).

Estudo feito por Lakshminarayana e Subramanyam (1966), com sapotis da cultivar indiana *Calcutta Round*, mostrou que até três meses após a formação dos frutos só havia açúcares redutores, enquanto os açúcares não redutores só começaram a se acumular, então muito rapidamente, no período dos quatro aos sete meses. Durante os oito meses que a *Calcutta Round* necessita para se desenvolver, a maior quantidade de açúcares não redutores foi observada entre o sexto e sétimo mês. Araújo Neto *et al.* (2001) observaram que o conteúdo máximo de açúcares redutores e totais ocorreu aos 202 dias após a formação dos frutos da cultivar *Itapirema 31*, embora o pico de açúcares não redutores tenha ocorrido antes, aos 180 dias.

No fruto maduro, além de glicose e frutose, encontram-se também outros açúcares redutores como maltose, galactose e lactose. A quantidade de galactose livre é abundante, enquanto maltose e lactose se apresentam somente como traços, indicando que estes últimos são produtos do catabolismo de carboidratos (Lakshminarayana, 1980). A presença de lactose no sapoti foi observada pela primeira vez por Reithel e Venkataraman (1956), até então esse açúcar só havia sido encontrado em animais.

O sabor doce do sapoti deve-se ao conteúdo do dissacarídeo não redutor sacarose. Acredita-se que no fruto maduro o aumento no conteúdo de sacarose seja resultado não somente da degradação de amido e hemicelulose, mas também da degradação do látex do fruto por microorganismos ou enzimas do próprio látex (Pathak e Bhat, 1952).

Após o amadurecimento, os frutos do sapotizeiro apresentam decréscimo no conteúdo de sacarose, que deve ser causado, provavelmente, por sua inversão em glicose e frutose. No entanto, existe evidência que os microorganismos associados ao látex, mais especificamente os fungos, são capazes de hidrolisar sacarose (Pathak e Bhat, 1952). Esses mesmos autores observaram que há um crescimento da microflora do fruto concomitantemente a um aumento no conteúdo de açúcares solúveis ou um declínio no de ácidos orgânicos, e que quando os frutos estão excessivamente maduros, há uma produção de álcool paralelamente à última degradação significativa de ácidos orgânicos. Isso seria explicado pela descarboxilação dos ácidos orgânicos formando os álcoois, ou então esses ácidos seriam usados como fonte de carbono pela microflora do fruto.

2.3.2 Acidez

Os principais substratos para a respiração são açúcares e ácidos orgânicos, ambos se acumulam nos vacúolos ao longo do desenvolvimento e, em conjunto, são os maiores responsáveis pelo *flavour* dos frutos. O principal ácido orgânico usado nos processos respiratórios é o málico. Enzimas encontradas no citosol são capazes de uma descarboxilação redutiva do ácido málico resultando em ácido pirúvico, o qual entra no ciclo de Krebs. Dessa forma, a necessidade de se obter piruvato a partir de açúcares via glicólise é reduzida, o que explica por que os ácidos orgânicos diminuem em conteúdo ao longo do amadurecimento dos frutos. Outros ácidos como succínico e cítrico são capazes de entrar diretamente no ciclo de Krebs (Seymour *et al.*, 1993). O ácido ascórbico, embora não seja um dos mais abundantes, é um dos mais importantes do ponto de vista nutricional. Ocasionalmente, há a formação de açúcares via gliconeogênese a partir de malato, o que explicaria o aumento em açúcares observado no amadurecimento de alguns frutos, independentemente da

hidrólise de amido. Os ácidos orgânicos são bastante influenciáveis pela temperatura e contribuem, em parte, para o pH dos frutos. O pH do sapoti é elevado, em torno de 5,0, e se comporta aumentando no início do desenvolvimento e decrescendo no final do crescimento até a maturação (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979; Vélez-Colon *et al.*, 1991; Alves *et al.*, 2000; Araújo Neto *et al.*, 2001)

O sapoti não é uma boa fonte nutricional de ácido ascórbico ou vitamina C, pois seu conteúdo é baixo e não se mantém constante ao longo do desenvolvimento do fruto (Sastry, 1970). Frutos com 30 dias de formados possuem duas a cinco vezes mais vitamina C do que frutos maduros (Selvaraj e Pal, 1984). Lakshminarayana e Subramanyam (1966) observaram que o máximo de conteúdo de vitamina C, na cultivar *Calcutta Round*, se deu aos cinco meses após a formação do fruto. Além disso, há uma grande variação na conteúdo de ácido ascórbico entre cultivares de sapoti, como a *Dwarapudi* com 0,1 mg/100g e a *Co.1* com 11,9 mg/100g (Shanmugavelu e Srinivasan, 1973). As cultivares mexicanas, em geral, possuem teores mais altos de vitamina C (8,9-41,0 mg/100g) do que as indianas (0,1-11,9 mg/100g) (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979).

O ácido ascórbico é uma vitamina hidrossolúvel importante na dieta de humanos e sua deficiência dá origem a uma doença caracterizada por hemorragias subcutâneas, o escorbuto. Essa vitamina é um cofator na reação de hidroxilação do aminoácido prolina em hidroxiprolina. Além disso, o ácido ascórbico é um bom agente redutor de modo que sua forma oxidada, o ácido dehidroascórbico, pode ser novamente reduzida por vários redutores. As frutas e hortaliças são excelentes fontes de vitamina C, principalmente quando consumidas frescos. Durante a cocção de alimentos, a vitamina pode ser perdida por lixiviação em água ou por oxidação, e de forma geral o conteúdo de vitamina C decresce com o amadurecimento dos frutos devido a ação da enzima ácido ascórbico oxidase, estando positivamente correlacionado com a temperatura e o tempo de armazenamento (Butt, 1980; Conn e Stumpf, 1986; Kays, 1991).

A acidez total titulável do sapoti em geral é baixa (<0,2%) e decresce linearmente com o amadurecimento, sendo o ácido málico, o principal ácido orgânico encontrado durante todo o desenvolvimento (Selvaraj e Pal, 1984). Os sapotis da variedade *Jatung* apresentaram um máximo no conteúdo de ácidos antes

dos quatro meses de formados, embora demorem o mesmo tempo para se desenvolver (Abdul-Karim *et al.*, 1987). Araújo Neto *et al.* (2001) observaram que frutos da cultivar *Itapirema 31* apresentaram acidez total titulável mais alta (0,38%) aos três meses de formados, que depois decrescia até os estádios finais da maturação, quando voltava a aumentar.

2.3.3 Proteínas

Em geral, há um aumento na síntese de proteínas na fase pré-climatérica dos frutos, e depois uma queda brusca no pico. Esta síntese protéica ocorre independente do aumento na respiração (Biale e Young, 1981; Chitarra e Chitarra, 1990). As proteínas sintetizadas são, na maioria das vezes, enzimas relacionadas com as reações metabólicas que ocorrem durante o climatério, como a síntese autocatalítica de etileno e a hidrólise de compostos como pigmentos, carboidratos e componentes da parede celular.

Experimentos feitos por Selvaraj e Pal (1984) com as cultivares de sapoti *Oblong* e *Cricket ball*, mostraram que o conteúdo máximo de proteína nesses frutos ocorre aos 30 dias após antese. Sastry (1970), porém, observou um máximo na síntese protéica aos 50 dias. Esses frutos no estágio de maturidade fisiológica, apresentaram um ligeiro acréscimo no conteúdo de proteínas e queda logo após o climatério, em que essas proteínas acumuladas devem provavelmente estar envolvidas com as mudanças do climatério. Apesar disso, como na maioria dos frutos, o conteúdo protéico do sapoti maduro é baixo, entre 0,5 e 0,7 % (Selvaraj e Pal, 1984; Salunkhe e Desai, 1986).

De modo geral, a quantidade de aminoácidos solúveis também decresce durante o desenvolvimento dos frutos das cultivares *Oblong* e *Cricket ball*, e dentre esses, sete são os aminoácidos encontrados durante todos os estádios: alanina, ácido aspártico, glutamina, ácido glutâmico, lisina, fenilalanina e treonina. Essas duas cultivares diferem entre si na quantidade de proteínas e de aminoácidos, e no acúmulo de outros aminoácidos, além dos já citados. De forma geral, os conteúdos de aminoácidos apresentaram grandes variações nos diferentes estádios (Selvaraj e Pal, 1984).

As principais enzimas envolvidas no processo degradativo da parede celular e da lamela média durante o amadurecimento dos frutos são pectinametilesterase (PME), poligalacturonase (PG), β -galactosidase, hemicelulase e a celulase, e elas agem hidrolisando as ligações intra e intermoleculares. A solubilização dos polissacarídeos pécticos ocorre durante o amadurecimento *in vivo* e está associada ao amaciamento da polpa dos frutos. A enzima PME (EC 3.2.1.15) catalisa a desmetilação das cadeias de substâncias pécticas, para que posteriormente a PG (EC 3.1.1.11) possa hidrolisar as ligações $\alpha(1-4)$ entre os monômeros de ácido galacturônico (John e Dey, 1986).

O interesse pela ação da β -galactosidase em tomate aumentou depois que foi observado que a degradação dos poligalacturonídeos por PG não é suficiente para induzir o amaciamento dos frutos, muito embora haja um aumento significativo em atividade dessa enzima durante o amadurecimento (Schuch *et al.*, 1991). Já com o melão, o interesse surgiu com a observação que não há atividade detectável de PG ou celulase durante o amadurecimento (Ranwala *et al.*, 1992).

A β -galactosidase é uma hidrolase que age em conjunto com as enzimas pectolíticas (PG e PME) para afrouxar a estrutura da parede celular (Konno *et al.*, 1986). Sua ação consiste na quebra de ligações cruzadas do tipo 1,4 β -galactosídicas entre os polímeros pécticos e hemicelulose e precede a ação das enzimas pectolíticas. Isso foi comprovado pela perda de resíduos de galactose da parede antes do acúmulo de poliuronídeos solúveis e pelo fato de que, os poliuronídeos solúveis não possuíam resíduos galactosil em sua estrutura, diferentemente de quando se encontravam na parede (Bartley, 1974). Uma redução no conteúdo de galactose da parede durante o amadurecimento foi observado em melão concomitante ao aumento na atividade da β -galactosidase (McCollum *et al.*, 1989).

Em tomate e melão foram isoladas três isoformas da β -galactosidase (EC 3.2.1.23) com pesos moleculares 62 a 144 kD. Essas enzimas tinham ótima atividade na faixa de pH de 3,8 a 4,2 e eram completamente inibidas por HgCl_2 , AgNO_3 e CuSO_4 e apresentavam 50% de inibição por concentrações de galactose de 2 a 15 mM e de galactolactona de 70 a 210 μM (Pressey, 1983; Ranwala *et al.*, 1992).

No sapoti, observou-se que enquanto o fruto está imaturo, a atividade de PME é muito baixa, mas quando este atinge a maturidade, a atividade da enzima aumenta

rapidamente, e decresce após o amadurecimento (Flores *et al.*, 1971; Selvaraj e Pal, 1984). Miranda *et al.* (2001) observaram alta atividade de PME e PG durante o amadurecimento, no entanto nenhum modo de ação das enzimas ficou claro no estudo.

Quanto a degradação de carboidratos, a amilase, responsável pela hidrólise de amido aumenta em atividade enquanto o fruto é imaturo até o estágio de maturidade fisiológica e decresce durante o amadurecimento (Selvaraj e Pal, 1984). A enzima invertase, que catalisa a degradação de sacarose em frutose e glicose, aumenta em atividade até o amadurecimento e depois decresce. Já a celulase não mostra alterações ao longo do desenvolvimento, por que provavelmente não está envolvida com o processo de amaciamento (Selvaraj e Pal, 1984).

Outras enzimas importantes, como catalase, peroxidase, polifenoloxidase e adenosina trifosfatase, envolvidas com mecanismos de defesa através de reações de oxidação e reações energéticas apresentaram um acréscimo somente até o estágio maduro do sapoti (Selvaraj e Pal, 1984; Roy e Joshi, 1997).

2.3.4 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos exercem grande influencia no *flavour* dos frutos maduros. Embora a quantidade de fenólicos nos frutos das diferentes espécies seja geralmente baixa, ela é muitas vezes determinante para a qualidade. Duas características importantes dos frutos são influenciadas por compostos fenólicos, a adstringência e o escurecimento, muito comum quando há ruptura nos tecidos. As polifenoloxidases catalisam as reações de oxidoredução de fenólicos que resultam no escurecimento dos tecidos (Seymour, 1993).

No início do seu desenvolvimento, o sapoti se mostra muito adstringente, quase tanto quanto o ácido tânico, todavia quando o fruto amadurece essa característica é bastante amenizada. Frutos *Calcutta Round* apresentaram um decréscimo na quantidade de fenólicos ao longo do desenvolvimento, com dois períodos de intermitência nos quais o conteúdo variou pouco (Lakshminarayana e Subramanyan, 1966). A menor adstringência do fruto maduro é provavelmente resultado da polimerização dos fenólicos, assim como do aumento de peso fresco e

de um efeito de diluição, devido ao aumento na síntese de outros compostos como os açúcares solúveis (Lakshminarayana *et al.*, 1969). O sapoti, mesmo maduro, apresenta uma quantidade relativamente alta de polifenóis, variando de 2 até 6% (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979 e Lakshminarayana, 1980). Acredita-se que, em parte, a resistência do sapoti contra o ataque de fungos deva-se a essas altas concentrações de compostos fenólicos (Lakshminarayana e Subramanyan, 1966).

Dentre os fenólicos, as leucoantocianidinas poliméricas com estrutura flavan são as principais responsáveis pela adstringência. A adstringência dos fenólicos do tipo flavan está associada ao seu grau de polimerização. A condensação ou polimerização desses compostos ocorre, geralmente, durante a maturação dos frutos resultando em diminuição da adstringência. O grau de polimerização também está associado a solubilidade destes compostos, de modo que os polímeros mais facilmente extraídos em água é menos em metanol puro, ao contrário daqueles de menor peso molecular (Goldships e Swaps, 1963).

Lakshminarayana e Mathew (1967) observaram que dentre os fenólicos, uma grande quantidade de leucoantocianidinas foi encontrada. Frutos com dois meses de desenvolvimento possuíam 30 % de leucoantocianidinas, as quais são precursores de antocianidinas como leucocianidinas, leucopelargonidinas e leucodelphinidinas. As leucodelphinidinas, embora sejam as menos abundantes das antocianidinas, são as que mais contribuem para a adstringência. Lakshminarayana *et al.* (1969) observaram que leucoantocianidinas poliméricas são os principais constituintes fenólicos nos frutos maduros.

Araújo Neto *et al.* (2001) observaram que frutos *Itapirema-31* apresentavam uma diminuição nos taninos totais aos 55 dias de desenvolvimento, acompanhado por um aumento até os 95 dias, quando depois houve outra redução. Abdul-Karim *et al.* (1987) observaram um máximo conteúdo de fenólicos na cultivar *Jatung* aos 5,3 meses e depois um decréscimo até a colheita. Resultados semelhantes foram observados para as cultivares *Oblong* e *Cricket ball*, onde há um decréscimo na quantidade de fenólicos totais ao longo do desenvolvimento (Selvaraj e Pal, 1984).

No sapoti imaturo, além daqueles citados anteriormente, outros compostos fenólicos influenciam o sabor azedo como os ácidos gálicos, clorogênicos e as catequinas (Lakshminarayana *et al.*, 1969).

2.3.5 Teor de água

O teor de água ou umidade nos frutos é inversamente proporcional ao seu peso seco. Lakshminarayana e Subramanyam (1966) mostraram que a cultivar *Calcutta Round* decresce em peso seco até o terceiro mês de desenvolvimento, a partir do qual há um período estacionário até o quinto mês, depois do qual se observa um aumento gradual no peso seco do fruto. Comportamentos semelhantes foram observados para frutos das cultivares *Cricket ball* e *Oblong* (Selvaraj e Pal, 1984). Em experimentos que mediam a umidade ao longo do desenvolvimento de frutos *Jatung*, observou-se um comportamento inverso ao do peso seco, relatado anteriormente. Nesse caso, o conteúdo relativo em água aumentou até o quarto mês e decresceu a partir do sexto (Abdul-Karim *et al.*, 1987). O mesmo padrão foi observado por Lakshminarayana *et al.* (1969). Estudos feitos com cultivares mexicanas *SCH* mostraram que o teor de água nos frutos maduros varia entre 69 e 75% (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979). De modo geral, há uma redução no teor de água durante o armazenamento dos frutos, devido a diferença de pressão de vapor entre o fruto e o ambiente (Chitarra e Chitarra, 1990).

A desidratação pós-colheita dos frutos é de importância comercial, já que para a maioria dos frutos uma redução no teor de água correspondente a mais que 10% do peso fresco torna-o comercialmente inadequado, muito embora essa perda não influa nas reações bioquímicas que ocorrem durante o amadurecimento (Chitarra e Chitarra, 1990).

2.3.6 Firmeza

Nas plantas, a resistência mecânica e a firmeza estão relacionadas com a estrutura e organização celular. Nos frutos, as células da polpa são delimitadas por uma parede celular primária e cada célula está conectada à adjacente por uma lamela média. Os citoplasmas das células estão interconectados por plasmodesmas, que conferem uma certa coesão ao fruto maduro. A redução em firmeza tão característica do amadurecimento é resultante do mecanismo de hidrólise da parede celular e da lamela média.

A parede celular é composta por duas fases, uma microfibrilar constituída por celulose e proteínas e a outra, uma matriz de polissacarídeos não celulósicos (pectinas e hemicelulose) que envolve a primeira. A hemicelulose se liga por pontes de H^+ à celulose, regulando a força e a porosidade da parede por meio do controle da distância entre as microfibrilas. Os polissacarídeos pécticos preenchem a matriz como um gel, onde se ligam às extremidades redutoras das cadeias de hemicelulose e à glicoproteína rica em hidroxiprolina. As ligações com a proteína ocorrem através de resíduos arabinogalactosil dos polissacarídeos pécticos com os carboidratos da proteína e com as moléculas de hemicelulose, através das cadeias laterais de galactanas (Keegstra *et al.*, 1973).

Os principais componentes da parede celular e da lamela média são polissacarídeos pécticos, formados por monômeros de ácido galacturônico unidos linearmente entre si por ligações do tipo α (1-4) e a outros tipos de carboidratos nas cadeias laterais de resíduos ramnosil, arabinosil e galactosil, covalentemente ligados entre si *in vivo*, formando uma matriz. As substâncias pécticas podem ser classificadas em protopectina que é insolúvel em água e em pectina que é solúvel e capaz de formar géis com açúcares e ácidos, sob determinadas condições. As cadeias de substâncias pécticas são capazes de formar ligações não covalentes entre si por atração iônica aos íons cálcio, resultando em uma estrutura mais rígida e em ligações cruzadas entre as moléculas (Biale e Young, 1981; John e Dey, 1986).

No sapoti, à medida que o fruto se desenvolve há um decréscimo na firmeza. Os frutos da cultivar *Jatung* apresentaram uma redução em firmeza a partir do quinto mês, e os da variedade venezuelana *Conchudo* apresentaram redução de 64 N para 5,5 N após 12 dias de colhidos (Ramadan *et al.*, 1981; Abdul-Karim *et al.*, 1987).

Uma forma indireta de se avaliar alterações na firmeza é através do conteúdo das formas da fração péctica. Estudos mostraram que durante o amadurecimento do sapoti ocorre uma redução no conteúdo péctico total enquanto o conteúdo de pectina solúvel aumenta (Miranda *et al.*, 2001). Shanmugavelu e Srinivasan (1973) avaliaram doze cultivares indianas de sapoti e observaram que o teor de pectato de cálcio (pectina com íons cálcio) variava entre 1,9 e 3,5%, e concluíram que de modo geral o sapoti é uma boa fonte de pectina e de açúcares, o que é favorável à produção de geléias.

2.3.7 Látex

O sapotizeiro há muito já era explorado pelo seu látex, usado na produção de goma de mascar ou chicle. O látex pode ser encontrado em todas as partes aéreas da planta, mas normalmente é extraído do caule. O caule pode ser “sangrado” uma vez a cada três anos, produzindo de 2,7 a 3,6 kg de goma de mascar. No entanto, uma planta “sangrada” muito freqüentemente apresenta uma redução na frutificação.

A composição geral do látex do sapoti é 2,2 % de água, 44,8 % de resinas, 17,2 % de borracha, 6,4 % de goma, 9,0 % de açúcar, 8,2 % de amido e 0,7 % de cinzas (Salunkhe e Desai, 1986).

O sapoti quando maduro não possui látex, pois este é completamente degradado pelo próprio fruto, quando alcança o estágio de maturidade fisiológica. Se a colheita for feita em estágio imaturo, o látex não é metabolizado adequadamente e coagula formando bolsas no centro do fruto (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979). Frutos da variedade *Calcutta Round* não apresentam quantidades perceptíveis de látex um mês após formados e a produção máxima só é observada no quinto mês (Lakshminarayana e Subramanyam, 1966). Os frutos da variedade *Conchudo*, quando maduros, apresentam uma mudança na coloração para marrom escuro e ausência do látex na polpa (Ramadan *et al.*, 1981).

Estudos realizados com duas cultivares indianas *Oblong* e *Cricket ball*, mostraram que no látex de ambas há frutose e sacarose em quantidades semelhantes, enquanto a primeira possui três vezes mais amido e a segunda, possui o dobro de glicose. O látex de ambas possui de 1,23 a 1,26 % de proteínas, e os aminoácidos encontrados foram alanina, ácido aspártico, glutamina, prolina, lisina, isoleucina, fenilalanina e treonina. A acidez total titulável do látex é mais baixa do que a da polpa para ambas as cultivares, e ácido ascórbico estava presente em 7 e 12 mg/100g em *Cricket ball* e *Oblong*, respectivamente. O látex das duas cultivares também possui fenólicos e enzimas como amilase, peroxidase e fosfatase, embora com menores atividades que na polpa (Selvaraj e Pal, 1984). Essas substâncias justificariam a idéia de que o látex do sapoti seja responsável por sua resistência a pragas e doenças (Salunkhe e Desai, 1986).

2.3.8 Climatério

O amadurecimento corresponde à etapa ao fim da qual o fruto está completamente formado e se torna apto para consumo. Ao amadurecimento segue-se a senescência e subseqüentemente a morte dos tecidos (Chitarra e Chitarra, 1990).

Em alguns frutos é essencial que ocorra o fenômeno do climatério para dar início ao amadurecimento. O climatério ocorre no fim da fase de maturação, e é caracterizado por um aumento brusco na taxa de respiração, grandemente influenciada pelo fitohormônio etileno. As mudanças típicas do amadurecimento, que tornam os frutos adequados para o consumo, se iniciam logo antes, durante ou depois do pico respiratório. Os frutos podem ser avaliados quanto à sua perecibilidade em função do pico respiratório climatérico, ou seja, quanto mais brusco for o pico, mais rápido o fruto amadurece, e portanto perece. Outro fato importante, é o tempo que decorre entre a colheita e o início do climatério, que vai depender do estágio de maturação do fruto, da espécie ou variedade assim como da temperatura em que este é armazenado (Roy e Joshi, 1997).

O sapoti leva de 5 a 8 dias para amadurecer depois de colhido, quando armazenado em temperatura ambiente (Flores e Rivas, 1975; Lakshiminarayana, 1980). O uso de etileno exógeno também afeta o tempo de amadurecimento. A aplicação de 5 ppm de etileno acelerou em um dia o amadurecimento de saptotis da variedade *Jatung* (Latifah, 1996). Os frutos dessa variedade indiana alcançam a maturidade fisiológica após seis meses de desenvolvimento, embora resultados apresentados por Abdul-Karim *et al.* (1987) indiquem que frutos colhidos aos sete meses após formados são maiores e mais doces, apresentando 18,0 °Brix. Frutos da cultivar *Calcutta Round* alcançam a maturidade fisiológica sete meses e meio após formados e amadurecem de 9 a 13 dias após a colheita. O pico climatérico ocorre no oitavo dia após a colheita, com um máximo de liberação de CO₂ de 8,0 ml/kg por hora a 24 °C (Lakshimarayana e Subramanyam, 1966). Outros resultados mostram que o sapoti pode alcançar um máximo de produção de CO₂ de 27,0 ml/kg por hora seguido por um aumento na produção de etileno que atinge o máximo de 1,7 µl/kg por hora a 20 °C (Baez *et al.*, 1997).

O sapoti, quando maduro, possui um aroma bem característico e reconhecidamente agradável. O aroma do fruto maduro deve-se em grande parte a compostos relacionados ao benzil e ao metil salicilato, no entanto o fruto quando sobremaduro possui um aroma alcóolico pouco agradável (MacLeod e Troconins, 1982).

2.4 Modificações histológicas durante o amadurecimento dos frutos.

O amadurecimento é visto por alguns estudiosos como um fenômeno de senescência, durante o qual ocorre uma redução na compartimentalização celular resultando em aumento de permeabilidade. Porém, a opinião mais recente é que as alterações de permeabilidade e organização celular são mais provavelmente causadas por danos osmóticos às células de frutos maduros (Crookes e Grierson, 1983).

Dentre todas as modificações típicas do amadurecimento, a redução na firmeza é a mais evidente (Chitarra e Chitarra, 1990). A perda de firmeza tem sido associada à ação de enzimas hidrolíticas da parede celular, e é bastante provável que essa ação resulte nas alterações químicas e estruturais nas paredes celulares. Estudos anatômicos dos frutos, por microscopia, visam elucidar as alterações que ocorrem na firmeza durante o amadurecimento ao nível histológico e celular. A firmeza é determinada pela estrutura e comportamento do tecido de um fruto, de modo que sofre influência do formato, do tipo de células, de sua organização, do turgor celular, da estrutura e composição da parede celular, e da adesão entre células (Hallett e Harker, 1996).

Os frutos de reconhecido valor comercial têm sido o principal alvo dos estudos anatômicos, enquanto trabalhos utilizando técnicas microscópicas com frutos exóticos como cajá, ceriguela e sapoti são praticamente inexistentes.

A histologia dos frutos, em geral, mostra que em sua parede ou pericarpo existem três camadas distintas que são denominadas de fora para dentro como exocarpo, mesocarpo e endocarpo. O sapoti pertence ao grupo dos frutos indeiscentes, os quais se originam normalmente de um ovário e tem uma estrutura bacóide. Nas bagas, todo o tecido fundamental é carnoso e, geralmente o pericarpo é maciço e de estrutura heterogênea com células parenquimatosas, com protoplasto

vivo e parede celular primária delgada, unidas pela estrutura cimentante da lamela média (Esau, 1998).

Em alguns frutos, a epiderme externa do pericarpo pode ser substituída por camadas de células suberizadas, chamadas de periderme. A periderme é um tecido protetor de origem secundária composto pelo felogênio, súber e pela feloderme. O felogênio é o meristema que produz a periderme. O felema ou súber é o tecido protetor produzido pelo felogênio, em direção a periferia e a feloderme, é o tecido parenquimático produzido para o interior do fruto. As células do súber estão dispostas de modo compacto, morrem na maturidade e se caracterizam por apresentar suberização de suas paredes. A suberina é uma substância graxa que cobre a parede primária das células. A periderme pode também apresentar lenticelas, que são formadas em áreas onde o felogênio é mais ativo e produz um tecido com muitos espaços intercelulares. Essa disposição mais aberta da lenticela permite que ocorra entrada de ar pela periderme (Esau, 1998).

As células da epiderme de laranja estudadas por microscopia de transmissão, mostraram muitas variações durante o amadurecimento. A mais óbvia alteração ocorria nos vacúolos, quando os frutos mudavam de cor verde para alaranjada. Nesse estágio, a parede celular e a cutícula das células já se assemelhavam com as do fruto maduro, apresentando ocasionalmente lacunas na junção entre duas células (Thomson e Platt-Aloia, 1976).

Estudos com abacate, através de microscopia de transmissão, mostraram que as células do mesocarpo dos frutos imaturos possuíam paredes homogêneas, as quais com o início do climatério apresentavam lamela média e microfibrilas de celulose mais evidentes. À medida que o amadurecimento prosseguia, a lamela média mostrava-se mais solta e a desorganização da parede mais aparente (Platt-Aloia *et al.*, 1980). Platt-Aloia *et al.* (1981) observaram que organelas do mesocarpo de abacate como plastídeos, corpos lipídicos, núcleo e dictiossomos não se alteravam durante o amadurecimento, ao contrário da mitocôndria e do retículo endoplasmático.

Caracterização e isolamento da parede celular do mesocarpo de duas cultivares de uva mostraram que embora estudos detalhados da ultra-estrutura não apresentassem grandes diferenças entre as duas, estudos bioquímicos evidenciaram

que os conteúdos de celulose, hemicelulose e de proteína da parede, eram maiores na cultivar *Gordo*, o que justificaria sua maior firmeza (Nunan *et al.*, 1997).

Micrografias eletrônicas de tomate mostraram que o amadurecimento consiste em uma série de mudanças específicas, como a transição dos cloroplastos em cromoplastos e a dissolução da parede celular. O período mais acentuado de dissolução da parede coincide com o aumento da atividade da PG. O citoplasma do tomate completamente maduro e macio, apesar disso, se mostrou bastante íntegro estruturalmente (Crookes e Grierson, 1983).

2.5 Conservação pós-colheita do sapoti.

Os frutos de origem tropical apresentam alguns obstáculos em relação à extensão de sua vida pós-colheita, por serem mais perecíveis que aqueles de clima temperado. A maior perecibilidade dos frutos tropicais deve-se ao fato destes possuírem uma maior taxa respiratória. Quanto a maior é a taxa respiratória de um fruto mais rápido é seu metabolismo e, portanto mais rápido é seu amadurecimento e senescência. Isso é válido tanto para frutos climatéricos como para os não climatéricos (Tucker, 1993; Burdon, 1997).

Os frutos após separados da planta-mãe, continuam a passar pelos mesmos processos de respiração e transpiração, com a diferença que as perdas observadas não são mais supridas pela planta. Isso requer que os frutos possuam reservas suficientes para continuar seu amadurecimento de forma adequada depois de colhidos. Além das perdas metabólicas, os frutos podem também sofrer com danos de origem mecânica ou fisiológica, assim como causados por doenças e pragas. Dessa forma, todos os cuidados tomados desde o momento da colheita, armazenamento, transporte e comercialização dos produtos agrícolas em geral, são justificados quando se obtém um produto de melhor qualidade e que pode ser armazenado, até que as condições sejam mais favoráveis para comercialização.

2.5.1 Refrigeração

O uso de refrigeração durante o armazenamento de frutos é muito eficiente em retardar o amadurecimento e a senescência, já que há uma redução na velocidade das reações metabólicas de forma geral. O abaixamento da temperatura de armazenamento resulta em diminuição da taxa respiratória, da perda de água por evaporação, assim como da ação do hormônio indutor do amadurecimento, o etileno. Outra grande vantagem do armazenamento refrigerado é a redução da proliferação de patógenos (Burdon, 1997).

Os benefícios da refrigeração sobre a vida útil pós-colheita dos frutos dependem de sua susceptibilidade às baixas temperaturas. Os produtos agrícolas, em geral, possuem uma temperatura mínima que é suportada sem causar danos. A temperatura mínima de segurança depende do tempo de exposição, do estágio de maturação e da variedade em questão. Os frutos tropicais suportam temperaturas mínimas mais altas que os de clima temperado, as quais são menos eficientes em retardar os sintomas de senescência.

Algumas anormalidades observadas no comportamento de frutos armazenados sob baixas temperaturas, podem ser explicadas como sintomas de desordens fisiológicas causadas pelo frio. Essas desordens são comuns quando se armazena frutos tropicais em temperaturas abaixo de 10°C, e os principais sintomas são lesões de superfície, rápida senescência, escurecimento e desintegração dos tecidos da polpa, incapacidade para amadurecer, alterações atípicas na composição, dentre outros (Morris, 1982). Muitos são os métodos empregados com o intuito de reduzir ou aliviar essas desordens como o armazenamento refrigerado com aquecimento intermitente e o uso de atmosferas modificadas.

O aumento nos conteúdos de açúcares solúveis totais (AST) e redutores em frutos, como resposta à injúria pelo frio, já foi documentado (Wang, 1982). A manutenção de um alto conteúdo de AST em frutos expostos a baixas temperaturas pode ser um mecanismo de alívio das injúrias pelo frio desenvolvido pelo próprio fruto. Os carboidratos contribuem para o potencial osmótico, aumentando o potencial hídrico das células e diminuindo a perda de água dos tecidos, além de estabilizar membranas celulares e enzimas e servir como fonte de energia (Purvis, 1990).

Os sapotis são frutos importantes no comércio localizado em regiões da Ásia e América Latina, que cada vez mais geram interesse por apresentar potencial para exportação. Nesse caso, a distância percorrida desde o local de cultivo até o de consumo é grande e o transporte é demorado, o que explica a necessidade de se definir as melhores condições de armazenamento do sapoti, para que possa alcançar mercados distantes com a melhor qualidade possível. Sob temperatura de 4°C e umidade relativa de 85-90 %, sapotis cultivados no estado indiano de Mysore foram armazenados por até oito semanas e tiveram uma vida pós-armazenagem de 3 a 5 dias, com uma pequena perda de peso (Kirpal-Singh e Marthur, 1963).

A perda de peso dos sapotis *Gotas de Miel* refrigerados é proporcional à temperatura e à duração do armazenamento, sendo que ao final de trinta dias sob temperatura de 4°C, os frutos perdem 23,7% de peso e apresentam sintomas de injúria por frio após o nono dia. Os mesmos autores afirmam que sob temperatura de 16°C, o amadurecimento dos frutos não é afetado. No entanto, nessas condições o tempo de armazenamento, de 17 dias, só é aumentado em quatro dias (Vargas *et al.*, 1999).

O sapoti quando armazenado em temperaturas abaixo de 12°C, tem sua vida útil estendida para 18 dias, já que a exposição por tempo mais longo causa danos pelo frio. Um dos principais sintomas de danos pelo frio é a incapacidade de amadurecer. Esses resultados justificaram os experimentos de Huertas *et al.* (1999) com armazenamento refrigerado do sapoti com períodos intercalados em condições ambiente. Frutos da variedade *Gotas de Miel* foram armazenados a 4°C por 6 dias, depois dos quais foram transferidos para ambiente a 23°C por 24 h. Esse procedimento foi repetido três vezes (ciclos), em que foi observado que os frutos amadurecidos após cada ciclo apresentaram boa qualidade, assim como um índice de 100 % de amadurecimento entre os frutos. Somente os frutos que amadureceram após o terceiro ciclo apresentaram perda de qualidade. Enquanto a testemunha amadureceu em 8 dias, a vida útil dos frutos dos primeiros dois ciclos aumentou para 14 e 17 dias, respectivamente. Esses dados sugerem que a conservação refrigerada do sapoti com períodos em condições ambiente prolonga a vida útil do sapoti, facilitando sua comercialização.

Experimentos realizados por Flores e Rivas (1975) mostraram, por sua vez, não haver diferenças significativas na qualidade dos frutos armazenados a 12 e 16°C sob umidade relativa de 90 %, uma vez que ambos apresentaram pequena porcentagem de danos causados por patógenos e pouca senescência. Os mesmos autores afirmam que frutos maduros podem ser conservados por cerca de 10 dias em temperatura de zero °C sem perda de qualidade, e se o fruto for utilizado para processamento industrial pode ser armazenado por até 15 dias. Outro sintoma muito comum de dano por frio no sapoti, é o amaciamento irregular da polpa. Estudos realizados por Cervera *et al.* (2001) mostraram que essa característica está diretamente relacionada com um aumento da atividade da PME, no momento em que os frutos armazenados em baixas temperaturas são postos em condições ambiente.

2.5.2 Atmosferas Modificada e Controlada

Segundo Kader (1986) a modificação da atmosfera no ambiente de armazenamento de produtos agrícolas, com a redução no conteúdo de O₂ e aumento no de CO₂, resulta em diminuição da taxa respiratória e prolongamento da vida útil desses produtos. A modificação da atmosfera ambiente é um recurso auxiliar que deve ser utilizado em conjunto com a refrigeração.

Atmosferas de armazenamento controladas consistem na manutenção dos níveis de CO₂ e O₂ através de sensores que ativam a absorção ou eliminação dos gases indesejados ou a liberação dos desejados. No armazenamento sob atmosfera controlada, o conteúdo de cada gás é mantida sob controle independente da temperatura ou de qualquer outra variação ambiental. Sabe-se que, um mínimo de 1 a 3 % de O₂ é necessário para que não haja um total bloqueio da atividade respiratória, dando início a respiração anaeróbica ou fermentação. Como resultado têm-se aromas desagradáveis e deterioração dos tecidos. Níveis de O₂ abaixo de 8 % causam decréscimo na produção e sensibilidade ao etileno por parte de frutos frescos. Já níveis altos de CO₂ podem estimular, inibir ou não interferir com a ação do etileno. Acredita-se que só há indução da produção do etileno, quando o conteúdo de CO₂ é tão alto a ponto de causar injúrias fisiológicas ao tecido (Chitarra e Chitarra, 1990).

A modificação da atmosfera de armazenamento pode ser feita através de filmes plásticos que envolvem os produtos, impedindo as trocas gasosas que ocorrem naturalmente, com o meio externo. Nesse caso, o próprio fruto é o principal responsável pela alteração na atmosfera de armazenamento, através de sua respiração. Outros fatores que influenciam na composição atmosférica são a permeabilidade dos gases através do filme e o metabolismo microbiano. As principais embalagens usadas são sacos ou filmes de polietileno de baixa densidade, cloreto de polivinila, polipropileno, poliestireno e poliéster. Embalagens plásticas micro-perfuradas também são utilizadas com o objetivo de reduzir a perda de água por evaporação e de criar uma atmosfera modificada (Sass, 1993).

O uso de embalagens que permitem uma modificação na composição da atmosfera reduz, também, o desenvolvimento de danos pelo frio por manter uma maior umidade relativa e alta concentração de CO₂ durante o armazenamento. A alta umidade relativa favorece a manutenção do potencial hídrico das células do fruto tornando-o menos susceptível aos danos por baixas temperaturas, enquanto a atmosfera rica em CO₂ reduz a taxa metabólica reduzindo consequentemente o desenvolvimento das injúrias pelo frio (Wang, 1982).

A remoção do etileno da atmosfera de armazenamento retarda o amadurecimento. Filmes com agentes oxidantes como permanganato de potássio, e luz ultravioleta nas câmaras de armazenamento são usados, com objetivo de oxidar o gás presente na atmosfera, entretanto o meio mais barato e simples é a ventilação e monitoração dos níveis de etileno, quando os frutos são armazenados em atmosfera ambiente (Fallik e Aharoni, 2001).

O tempo de armazenamento do sapoti não é muito longo quando comparado com outros frutos que podem ser conservados por vários meses, e esse período depende da taxa respiratória do fruto e do ambiente de armazenamento. Experimentos com atmosfera modificada foram realizados com sapotis da variedade *Jatung* e mostraram que quando embalados em sacos de polietileno de baixa densidade selados ou a vácuo, esses puderam ser armazenados por quatro semanas a 10°C com ótima qualidade. Os piores resultados foram verificados em frutos embalados em PVC encolhível, devido provavelmente ao fato da embalagem não ser selada e ao aquecimento necessário na embalagem. O uso de atmosfera modificada

aliviou os sintomas de injúria por frio nos frutos armazenados a 10°C, mas não naqueles armazenados a 5°C (Mohamed *et al.*,1996). A remoção de etileno e aumento do nível de CO₂ em 5 a 10 % prolongou a vida útil do sapoti (Broughton e Wong, 1979). Miranda *et al.* (2001) observaram que saptotis perderam menos peso quando embalados em filme tipo PVC do que aqueles em condições ambientes, depois de armazenados por 12 dias. Frutos da cultivar *Kalipatti*, submetidos a tratamento térmico em água (50°C por 10 min) e embalados com filme plástico de polietileno, amadureceram mais tarde, embora apresentassem grande contaminação por fungos (Bojappa e Reddy, 1990).

3. Referências Bibliográficas

ABDUL-KARIM, M.N.B.; TARMIZI, S.A.; BAKAR, A.A. The physico-chemical changes in ciku (*Achras sapota* L.) of Jantung variety. **Pertanika**, v.10, n.3, p.277-282, 1987.

ALI, S.H; LIN, T.S. Fruit development and maturation os sapodilla cv. Subang. **Proceedings International Conference on Tropical Fruits**. Kuala Lumpur, Malásia, v.1, p.397-402, 1996.

ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOURA, C.F.H. Sapoti. In: **Caracterização de frutas nativas da América Latina**. Série Frutas Nativas. Jaboticabal. FUNEP, 2000, p.55-58.

ARAÚJO-NETO, S.E. **Desenvolvimento, maturação e determinação do ponto de colheita do sapoti (*Manilkara achras*)**. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró-RN, 2000, 100p.

ARAÚJO-NETO, S.E.; PRACA, E.F.; CARVALHO, E.F.; ALVES, R.E; MENEZES, J.B.; MORAIS, E. A., Determinação do ponto de colheita e índices de maturação para sapoti (*Manilkara achras*), **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.1, p 45-49, 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 11.ed. Washington: AOAC, 1992. 1115p.

BAEZ, M.A; SILLER, J.H.; HEREDIA, J.B.; PORTILLO, T.; ARAIZA, E.; GARCIA, R.S.; MUY, M.D. Fisiologia poscosecha de frutos de chicozapote (*Achras zapota* L.) durante condiciones de mercadeo. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.41, p.209-214, 1997.

BARTLEY, I.M. β Galactosidase in ripening apples, **Phytochemistry**, v.13, p.2107-2111, 1974.

BEN-ARIE, R; KISLEV, N. Ultra-structural changes in the cell walls of ripening apple and pear fruit. **Plant Physiology**, v.64, p.197-202, 1979.

BIALE, J.B; YOUNG, R.E. Respiration and ripening in fruits- retrospect and prospect. In: FRIEND, R.: RHODES, J., 1981. p. 1-39.

BOJAPPA, K.K.M.; REDDY, T.V. Postharvest treatment to extend the shelf life of sapota fruits, **Acta Horticulturae**, v.269, p.391, 1990.

BROUGHTON, W.J; WONG, H.C. Storage conditions and ripening of chiku fruits (*Achras sapota*. L.), **Scientia Horticulturae**, v.10, p.377-385, 1979.

BURDON, J.N. Postharvest handling of tropical and subtropical fruits for export. In: MITRA, 1997, p.1-19.

BUTT, V.S. Direct oxidases and related enzymes. In: STUMPF. e CONN, 1980. p.23-25.

CAMPBELL, R.J.; MAHDEEM, H. New sapodilla cultivars with commercial potential. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.41, p. 215-218, 1997.

CERVERA, J.C.; SAURI-DUCH, E.; CENTURION, A.; TAMAYO, J. Cambios en la actividad de la enzima pectin metil esterasa durante el almacenamiento refrigerado y posterior maduración de frutos de chicozapote (*Achras sapota*). **Horticultura Mexicana**, v.8, n.3, p.203, 2001.

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

CONN, E.E.; STUMPF, P.K. **Introdução a bioquímica**. Ed Edgard Blucher, São Paulo, 1986, 525p.

CROOKES, P.R.; GRIERSON, D. Ultrastructure of tomato fruit ripening and the role of poligalacturonase isoenzymes in cell wall degradation. **Plant Physiology**, v.72, p.1088-1093, 1983.

DEY, P.M.; PRIDFHAM, J.B. Purification and properties of galactosidases from *Vicia faba* suds. **Biochemistry Journal**, v.113, p.49-55, 1969.

DIAZ-PEREZ, J.C.; BAUTISTA,S.E.; VILLANUEVA,A.R. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.18, p.67-73, 2000.

DONADIO.L.C.; DURIGAN, J.F. Evaluation of new fruit species in Sao Paulo, Brazil. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.39, p.162-165, 1995.

ESAU, K. **Anatomia de plantas com sementes**. Ed. Edgar Blucher, São Paulo, 1998, 301p.

FALLIK, E; AHARONI, Y. Summary of lectures on postharvest biology and technology. **Notas de aula**: An advance course on postharvest technology and preservation of horticultural commodities. MASHAV e The Volcani Center, Israel. Fevereiro, 2001.

FERREIRA, F.R; FERREIRA, S.A.N; CARVALHO, J.E.U. Espécies frutíferas pouco exploradas com potencial econômico e social para o Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.8, p.11-22, 1998.

FLORES, M.C.; PAIZ, L.; ORTEGA, M.; ORTIZ, J; DESHPANDE, V.; ROLZ, C. Variacion de los constituyentes pécticos solubles y de la actividad de la

pectinesterasa durante el proceso de maduración de algunas frutas. **Revista de Agronomía y Tecnología**. v.11, n.4, p.584-601, 1971.

FLORES, A.G.; RÍVAS, D. Estudios de maduración y almacenamiento refrigerado de nispero (*Achras sapota*). **Fitotecnia Latinoamericana**, v.11, n.1, p.43-51, 1975.

FRIEND, R.; RHODES, J. **Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables**. CRC Press, 1981, 246p.

GILLY, C.L. Studies on sapotaceae, II- The sapodilla-nispero complex. **Tropical Woods**, School of Forestry of the Yale University, n.73, p.1-22, 1943.

GOLDSHIPS, J.L.; SWAPS, T. Changes in tannins in ripening fruits. **Phytochemistry**, v. 2, p. 371-384, 1963.

GONZALEZ, G.J.M.; RUIZ, B. ; HERNANDEZ, S. Respuesta del chicozapote a cinco tipos de injerto y tres épocas del injertado. **Horticultura Mexicana**, v.7, n.1, p.25, 1999.

HALLET, I.C; HARKER, F.R. Microscopic investigations of fruit texture. **Acta Horticulturae**, v.464, p.411-416, 1996.

HEREDIA, J.B.; SILLER, J.H.; BAEZ, M.A; ARAIZA, E.; PORTILLO, T.; GARCIA, R.S.; MUY, M.D. Cambios en la calidad y el contenido de carbohidratos en frutas tropicales y subtropicales a nivel supermercado. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.41, p.104-109, 1997.

HUERTAS, G.G.C.; MORENO, N.G.N.; SAURI, D.E. Conservación refrigerada de chicozapote con calentamiento intermitente. **Horticultura Mexicana**, v.7, n.1, p.258. 1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3ed. São Paulo: IAL, v.1, 1985, 533p.

JOHN, M.A.; DEY, P.M. Postharvest changes in fruit cell wall. **Advances in Food Research**, v.30, p.139-181, 1986.

KADER, A.A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruits and vegetables. **Food Technology**, v.40, n.5, p.99-104, 1986.

KADER, A.A., **Sapotes (Sapodilla e Mamey Sapote) Recommendations for maintaining postharvest quality**. Disponível em <[http:// postharvest.ucdavis.edu/Produce/Producefacts/ Fruit/Sapotes.html](http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Producefacts/Fruit/Sapotes.html)> acessado em 08/02/2001.

KAYS, J. **Postharvest physiology of perishables**. Ed. CRC Press, Florida, 1991. 532p.

KEEGSTRA, K.; TALMADGE, K.E.; BAUER, W.D.; ALBERSHEIM, P. The structure of plant cell walls. **Plant physiology**, v.51, p.188-196, 1973

KIRPAL-SINGH, K.; MATHUR, P.B. Note on the cold storage of sapota (*Achras sapotas*). **The Indian Journal Agricultural Science**, v.24, p.149-150, 1953.

KITAGAMA, Y.; KANAYAMA, Y.; YAMAKI, S. Isolation of galactosidase fractions from japanese pear, with activity against native wall polysacharides. **Physiologia Plantarum**, v.93, p.545-550, 1995.

KONNO, H; YAMASAKI, Y.; KATOH, K. Characteristics of β galactosidase purified from cell suspension cultures of carrots. **Physiologia plantarum**, v.68, p. 46-52, 1986.

KROCHMAL, A. Inarching as a method of propagating tropical fruit trees. **World Crops**, p.218-219, 1971.

LAKSHMINARAYANA, S. Sapodilla and prickly pear. In: NAGY e SHAW, 1980, p. 415-441.

LAKSHMINARAYANA, S.; MATHEW, A.G. Leucoanthocyanidins of sapota fruit. **Journal Food Science**, v.32, p.451-452, 1967.

LAKSHMINARAYANA, S.; MATHEW, A.G.; PARPIA, H.A.B. Changes in polyphenols of sapota fruit (*Achras zapota* L.) during maturation. **Journal Science Food Agriculture**, v.20, p.651-653, 1969.

LAKSHMINARAYANA, S; MORENO-RIVERA, M.A. Proximate characteristics and composition of sapodilla fruits grown in Mexico. **Proceedings Florida State Horticulture Society**, v.92, p.303-305, 1979.

LAKSHMINARAYANA, S; SUBRAMANYAM, H. Physical, chemical and physiological changes in sapota fruit {*Achras sapota* (Sapotaceae)} during development and ripening. **Journal of Food Science and Technology**, v.3, p.151-153, 1966.

LATIFAH, M.N. Effect of exogenous ethylene in the ripening of ciku (*Achras sapota*). **Proceedings Interantional Conference on Tropical Fruits**. Kuala Lumpur, Malásia, v.1, p.367-376, 1996.

LEON, J. **Fundamentos botânicos de los cultivos tropicales**. Ed. IICA, Costa Rica, 1968, 244-249p.

LIMA, D.P.; HOLANDA, L.F.; MAIA, G.A.; MARTINS, C.B. Caracterização física e avaliação de rendimento do fruto do sapotizeiro (*Achras sapota*). **Ciência Agrônômica**, v.21, p.51-57, 1990.

MACLEOD, A.J.; TROCONINS, N.G. Volatile flavor components of sapodilla fruit (*Achras sapota*). **Journal Agriculture Food Chemistry**, v.30, p.515-517, 1982.

MARTIN-CABREJAS, M.A.; WALDRON, K.W.; SELVEDRAN, R.R.; PARKER, M.L.; MOATS, G.K., Ripening-related changes in the cell wall of spanish pear (*Pyrus communis*). **Physiologia Plantarum**, v.91, p.671-679, 1994.

MCCOLLUM, T.G.; HUBER, D.J.; CANTLIFFE, D. Modification of polyuronides and hemicelulose during muskmelon fruit softening. **Physiologia Plantarum**, v.76, p.303-308, 1989.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, v.31, p.426-428, 1959.

MIRANDA, M.R.A.; SILVA, F.S.; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; ARAUJO, N.C.C. Enzyme activity and pectin breakdown during storage of two types of sapodilla under modified atmosphere. **Horticultura Mexicana**, v.8, n.3, p.136, 2001.

MIRANDA, M.R.A.; SILVA, F.S.; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; ARAUJO, N.C.C. Armazenamento de dois tipos de sapoti sob condição de ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2000, no prelo.

MITRA, S.K. **Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits**. CAB International, New York, 1997, 500p.

MOHAMED, S; TAUFIK, B.; KARIM, M.N.A. Effects of modified atmosphere packaging on the physico-chemical characteristics of ciku (*Achras sapota*) at various storage temperatures. **Journal Science Food Agriculture**, v.70, p.231-240, 1996.

MOURA, R.J.M.; LEDERMAN, I.E.; BEZERRA, J.E.F. Multiplicação agâmica do sapotizeiro (*Achras sapota*) : enxertia. **Anais do Congresso Brasileiro de Fruticultura**, Pelotas, p.596-601, 1979.

MOURA, R.J.M.; BEZERRA, J.E.F, Cultivo do sapotizeiro (*Achras sapota*) em Pernambuco. **Instruções técnicas do IPA**, Secretaria de Agricultura de Pernambuco, Recife, 1982. 4p.

MOURA, R.J.M.; BEZERRA, J.E.F; SILVA,M.A.; CAVALVANTE, A.T. Comportamento de matrizes de sapotizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.5, p.103-112, 1983.

NAGY, S.; SHAW, P.E. **Tropical and subtropical fruits composition, properties and use**. Avi Publishing company, Westport-CT, 1980, 500p.

NUNAN, K.J.; SIMS, I.M.; BACIC, A; ROBINSON, S.P.; FINCHER, G.B. Isolation and characterization of cell walls from the mesocarp of mature grape berries (*Vitis vinifera*). **Planta**, v.203, p.93-100, 1997.

PATHAK, S.; BHAT, J.V. Studies on the carbohydrate metabolism of *Achras zapota* L. fruit, **Journal of the University of Bombay**, p.11-20, 1952.

PINTO, E.O.S.; CORREA, J.T.A.; MELO, F.I.O. Características físicas e morfológicas do fruto de sapoti *Manilkara achras*. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Fruticultura**, Curitiba, p.385, 1996.

PERALTA, F.; CRUZ, J.E. Preliminary studies on vegetative propagation of chico. **Araneta Journal Agriculture**, p.24-32, 1954.

PLATT-ALOIA, K.A.; THOMSON, W.W. Ultra-structure of mesocarp of mature avocado fruit and changes associated with ripening. **Annals of Botany**, v.48, p.451-465, 1981.

PLATT-ALOIA, K.A.; THOMSON, W.W.; YOUNG, R.E. Ultrastructural changes in the walls of ripening avocados: transmission, scanning and freezing fracture microscopy. **Botany Gazette**, v.141, n.4, p.366-373, 1980.

POPENOE, W. **Manual of tropical and subtropical fruits**. Ed. MacMillan and Co., New York, 1920.

POPENOE, W. **Importantes frutas tropicais**. Ed. União Panamericana, Departamento de Cooperação Agrícola, Washington D.C., 1989. p. 13-14

PRESSEY, R. β -Galactosidase in ripening tomatoes. **Plant Physiology**, v.71, p.132-135, 1983.

PUROHIT, S.V. SINGHVI, A. Micropropagation of *Achras sapota* through enhanced axillary branching. **Scientia Horticulturae**, v.76, p.219-229, 1998.

PURVIS, A.C. Relation to chilling injury on carbohydrate composition. In: WANG, 1990, p.211-222.

RAMADAN, L.; MENDOZA, M.; OSUNA, M.; PANZZA, C. Acumulacion de azucares, perdida de textura y contenido de solidos solubles totales en nispero (*Achras sapota*) variedad Conchudo. **Revista de la Facultad de Agronomia de la Universidade de Zulia**, Venezuela, v.6, n.2, p.744-757, 1981.

RANWALA, AP.; SUEMATSU, C.; MASUDA, H. The role of β -galactosidase in the modification of cell wall components during muskmelon fruit ripening. **Plant Physiology**, v.100, p.1318-132, 1992.

REDGWELL, A.; HALLET, I.A; MACRAE, E.A; WEGRZYN, T.F. Changes in kiwi cell wall ultra-structure and cell packing in postharvest ripening. **Journal of Plant Science**, v.153, n.1, p.49-60, 1992.

REICHER, F., SIERAKOWSKI, M.R., CORREA, J.B.C. Determinação espectrofotométrica de taninos pelo reativo fosfotúngstico-fosfomolibdico. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.24, n.4, p.407-411, 1981.

REITHEL, F.J; VENKATARAMAN, R. Lactose in the Sapotaceae. **Science**. v.123, p.1083-1084, 1956.

RIENZO, J.A; AIAZZI, N.T.; ARGUELLO, J.A. Physiological maturity in seeds of *Atriplex cordobensis* correlation with visual indicators. **Seed Science Technology**, v.26, p.405-411, 1998.

RODRIGO, P.A Notes on the propagation of the "Ponderosa chico", **The Philippine Journal Agriculture**, v.9, p.357-364, 1938.

ROY, S.K.; JOSHI, G.D. Sapota. In: MITRA, 1997. p. 387-395

SACHDEVA, S.; MEHRA, P.N. *In vitro* studies on *Achras sapota*: I. Callus and early embryogenesis. **Phytomorphology**, v.36, p.315-324, 1986.

SALUNKHE, D.K.; DESAI, B.B. **Postharvest Biotechnology of Fruits**, v.II, 2^a ed. CRC Press Inc, New York, 1986, 147p.

SASS, P. **Fruit storage**. Ed. Mezogazda kiado, Budapeste, 1993, 345p.

SASTRY, M.V. Biochemical studies in the physiology of sapota part III- Minor chemical changes. **Indian Food Packer**, n. 24, p. 20-23, 1970.

SCHUCH, W; KANCZLER, J; ROBERTSON, D; HOSON, G; TUCKER, G; GRIERSON, D; BRIGHT, S; BIRD, C., Fruit quality characteristics of transgenic tomato fruit with altered polygalacturonase activity., **HortScience** , v.26, n.12, p.1517-1520, 1991.

SELVARAJ, Y.; PAL, D.K., Changes in the chemical composition and enzyme activity of two sapodilla (*Achras zapota*) cultivars during development and ripening. **Journal Horticultural Science**, v.59, n.2, p.275-281, 1984.

SEYMOUR, G.; TAYLOR, J.; TUCKER, G. **Biochemistry of fruit ripening**. Ed. Chapman-Hall, London, 1993, 453p.

SHANMUGAVELU, R.G.; SRINIVASAN, C., Proximate composition of fruits of sapota cultivars (*Achras zapota* L.). **South Indian Horticulture**, v.21, n.3, p.107-108, 1973.

SIMÃO, S. **Manual de fruticultura**. Ed. Agronômica "CERES", São Paulo, 1971, p.500-508.

SINGH, R. Fruits. **National Book Trust**, India, 1969. p.120-123

SINGH, R; KRISHNAMURTI, S.; KATYAL, S.L. **Fruit culture in India**, ICAR, New Delhi, 1963. p. 192-198. In: ROY e JOSHI, 1997.

SIRIPHANICH, J. High CO₂ enhances fruit firmness during storage. **Journal Japanese Society Horticultural Science**, v.67, n.6, p.1167-1170, 1998.

STROHECKER, R.; HENNING, H.M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Ed. Paz Montalvo, Madrid, 1967, 428p.

STUMPF, P.K.; CONN, E.E. **The biochemistry of plants: a comprehensive treatise**. Ed. Academic Press, New York, v.2, 1980, 215p.

SUNDARARAJAN, S; MADHAVA-RAO, M.V.N. Studies on fruit development and quality in some varieties of sapota (*Achras sapota*). **South Indian Horticulture**, v.15, p.52-57, 1967.

THOMSON, W.W; PLATT-ALOIA, K.A. Ultrastructure of the epidermis of development, ripening and senescing Navel oranges. **Hilgardia**, v.44, n.3, p.61-82, 1976.

TUCKER, G. Introduction. In: SEYMOUR *et al*, 1993. p. 1-51

YAHIA, E.M. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. **Horticultural Reviews**, v.22, p.123-183, 1998.

YEMN, E.W., WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, London, v.57, p.508-514, 1954.

VARGAS, L.; CENTURION, A.; TAMAYO, J; SAURI, E. Efecto de las bajas temperaturas sobre las principales características de calidad en frutos de chicozapote (*Achras sapota*). **Horticultura Mexicana**, v.7, n.1, p.260, 1999.

VELEZ-CÓLON, R.; CALONI, I.B; GARRASTAZU, S.M. Sapodilla (*Manilkara sapota*) variety trials in Southern Puerto Rico. **Journal Agriculture University Puerto Rico**, v.73, n.3, p.255-264, 1989.

WANG, C.Y. **Chilling injury of horticultural crops**. Ed. CRC Press, Florida, 1990, 300p.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E HISTOLÓGICA DO DESENVOLVIMENTO DO SAPOTI.

RESUMO

O estudo do desenvolvimento do sapoti por meio de características físicas, químicas e histológicas teve como objetivo identificar índices de maturidade. Esse experimento foi realizado no primeiro semestre de 2000 com frutos provenientes da Estação Experimental do Vale do Curu da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Paraipaba, CE. Os frutos foram marcados no início do seu desenvolvimento, com até 8 mm de diâmetro e colhidos após 45, 60, 90, 120, 150 e 180 dias para as devidas avaliações. As análises consistiram de observações da aparência dos frutos, assim como as medições do pesos fresco e seco, firmeza, comprimento, diâmetro, teor de açúcares solúveis totais, de açúcares redutores, de amido e de compostos fenólicos e produção de etileno e CO₂ climatéricos e caracterização histológica por microscopia óptica. Os resultados mostraram que os saptotis demoraram seis meses para alcançar sua maturidade fisiológica, ocasião em que apresentavam peso médio de 127,7g, diâmetros transversal e longitudinal médios de 61,2mm e 49,4mm, respectivamente. Os frutos exsudavam pouco látex quando removidos da planta-mãe e possuíam aproximadamente 20% de açúcares solúveis totais e 4% de amido. O amadurecimento dos frutos, colhidos aos 180 dias, ocorreu entre o 5 e 10º dia pós-colheita, onde apresentavam um padrão climatérico de respiração. Os estudos microscópicos mostraram, após o climatério, uma clara desorganização estrutural do tecido do sapoti e ausência de células laticíferas.

ABSTRACT

The development of sapodilla was studied through its physical, chemical and histological characteristics, to identify harvest maturity indexes. This work was realized in the first semester of 2000 with fruits grown at the Vale do Curu Experimental Station belonging to Embrapa Agroindústria Tropical, at Paraipaba, CE. Fruits tagged at the beginning of their development, with 8 mm in diameter, were harvested after 45, 60, 90, 120, 150 and 180 days. At each harvest stage, fruits were analyzed for physical appearance, fresh and dry weights, transversal and longitudinal diameters, total soluble sugars, reducing sugars, starch and phenols contents. They were, also, analyzed for ethylene production and tissue histology with an optical microscope. Results showed that it took six months for sapodilla to reach the physiological maturity stage, when they showed an average weight of 127,7g and transversal and longitudinal mean diameters of 61,2mm and 49,4mm, respectively. There was little latex seepage when fruits were detached from the plant and the total soluble sugars and starch contents were 20% and 4%, respectively. Fruits, harvested at 180 days, ripened 5 to 10 days after harvest with a climacteric respiratory pattern with ethylene production. Microscopic, post-climacteric, studies showed clear tissue disorganization and the absence of latex cells.

1. Introdução

O sapotizeiro é, provavelmente, originário da América Central mais especificamente no sul do México (Popenoe, 1920) e é classificado taxonomicamente como *Manilkara zapota* L. von Royen. Os principais produtos de exploração comercial do sapotizeiro são seus frutos e seu látex, este muito usado na produção de goma de mascar. O sapotizeiro tem preferência por temperaturas acima de 28°C, o que permite uma adaptação rápida dessa planta no Nordeste brasileiro, onde a temperatura média é 30°C (Simão, 1971).

O sapotizeiro possui uma grande variabilidade que pode ser facilmente observada em seus frutos, que apresentam diferenças nas formas e tamanhos, nas cores da polpa, em sabor e *flavour* e no número de sementes (Leon, 1968 e Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979). No Brasil, a primeira cultivar foi a *Itapirema-31* e mais recentemente, outra cultivar a *Chocolate* foi desenvolvida, ambas foram estabelecidas por pesquisadores da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária - IPA (Moura *et al.*, 1983). A grande maioria dos cultivos de sapoti são do tipo “fundo de quintal”, onde os frutos são designados conforme seu formato e consistência. Os frutos ovais ou cônicos são chamados de sapoti, enquanto os arredondados são chamados de sapota.

O fruto do sapotizeiro, o sapoti, apresenta peso médio entre 50 e 300 g, com diâmetro médio de 5 cm, e o número de sementes varia de 4 a 12 (Lakshminarayana, 1980; Salunkhe e Desai, 1986; Popenoe, 1989; Pinto *et al.*, 1996; Ferreira *et al.*, 1998). O fruto constitui um pericarpo formado por exocarpo, meso e endocarpo. O exocarpo ou casca é frágil, tem cor marrom e textura granulosa, que se torna mais lisa à medida que o fruto amadurece, já que esta vai descamando. O mesocarpo ou polpa do fruto maduro, é suculento e de cor escura que vai de marrom-amarelada até avermelhada (Lima *et al.*, 1990). Tanto na casca, como na polpa do fruto imaturo se encontram várias células produtoras de látex (Leon, 1968; Simão, 1971). O sapoti é reconhecido por seu sabor adocicado e levemente adstringente, sendo consumido *in natura* ou como sorvete, suco, compota ou geleia.

Alguns indicadores físicos são usados de modo arbitrário na identificação do estágio de maturação dos frutos na planta. Alguns exemplos são a queda do estigma

da extremidade do fruto, a perda da granulidade da casca que se torna lisa, e o fato de, não ocorrer exsudação de látex ao se arranhar levemente a casca, exibindo-se o tecido de coloração amarelada (Lakshminarayana, 1980; Salunkhe e Desai, 1986). Em frutos de algumas cultivares, como a *Jatung*, tanto o comprimento quanto o diâmetro podem ser usados como indicadores de colheita (Abdul-Karim *et al.*, 1987).

O padrão de crescimento do sapoti pode ser obtido através de um gráfico relacionando peso fresco e tempo, observando-se curvas sigmóides dos tipos simples ou duplos, dependendo da duração do desenvolvimento da variedade (Lakshminarayana e Subramanyan, 1966; Ali e Lin, 1996).

A identificação do estágio de maturação adequado para colheita é muito importante, por que os frutos colhidos antes de atingirem a maturidade fisiológica não desenvolvem todas as suas características de forma apropriada. Por outro lado, frutos colhidos em estágio avançado de maturação tornam-se difíceis de ser manuseados, transportados, e portanto comercializados. O sapoti, durante o amadurecimento apresenta, um padrão de respiração climatérico, que pode alcançar um pico de liberação de CO₂ de 27 ml/kg por hora, e um aumento na produção de etileno que atinge um máximo de 1,7 µl/kg por hora (Baez *et al.*, 1997). Todas as mudanças envolvidas no amadurecimento, como amaciamento, mudança na cor da polpa e no sabor, assim como outras características físicas e químicas, coincidem com o pico climatérico (Chitarra e Chitarra, 1990).

As informações anteriormente citadas serviram como base para a definição do objetivo desse trabalho que foi o de estudar o desenvolvimento do sapoti avaliando as alterações das características físicas, químicas e histológicas procurando identificar índices de maturidade.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado no primeiro semestre de 2000. Os frutos foram marcados em um estágio inicial, com até 8 mm de diâmetro, e avaliados ao longo dos seis meses da sua etapa de crescimento e maturação. O período de desenvolvimento do sapoti é composto pelas etapas de crescimento, maturação e senescência. A maturação inicia quando o fruto atinge sua maturidade fisiológica ou tamanho máximo, ao final da etapa de crescimento, e se caracteriza pelas alterações que o tornam apto para consumo.

Os frutos foram estudados por microscopia óptica, para observar as mudanças histológicas mais evidentes, nos estádios inicial, de maturidade fisiológica e pós-climatérico.

A definição dos estádios avaliados foi baseada nos resultados de experimentos preliminares e naqueles apresentados por Araújo-Neto (2000).

2.1 Condições de cultivo dos sapotizeiros.

Os frutos foram provenientes da Estação Experimental do Vale do Curu da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Paraipaba, CE. O pomar foi formado em 1995, a partir de mudas provenientes da Estação Experimental de Itapirema, em Goiana, PE, pertencente a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) sendo uma mistura de todas as variedades/tipos existentes naquele momento, naquela estação.

A Estação Experimental do Vale do Curu está entre os paralelos 3°17' e 39°15' Sul e distante 100 km de Fortaleza. O clima é do tipo Bsh'i (Köppen) com maior concentração de chuvas ocorrendo de fevereiro a maio, e o restante do ano é seco. A média de precipitação anual é 1050 mm e de temperatura, 27°C, segundo a Estação Meteorológica de Pentecoste, CE. O solo da área experimental é Podzólico vermelho amarelo distrófico, pertencente a formação barreira, com predominância de textura arenosa nos horizontes superficiais. A topografia do terreno apresenta relevo plano.

O pomar foi submetido a irrigação por microaspersão com dotação de água equivalente a 36 L/planta/dia e adubado com 150 g de super fosfato triplo, 100 g de uréia e 100 g de cloreto de potássio divididos em 6 vezes ao longo do ano.

2.2 Colheita e manuseio dos frutos

Os frutos foram colhidos manualmente no início da manhã. Os frutos foram cortados deixando aproximadamente 1 cm de pedicelo, com tesouras e foram, então, acondicionados em caixas de colheita, forradas com espuma de poliestireno. Vinte frutos foram colhidos para cada época de desenvolvimento, e transportados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE.

2.3 Instalação e condução dos experimentos.

Os frutos foram marcados em janeiro de 2000 logo após sua formação, quando possuíam diâmetro transversal de até 8 mm, e colhidos após 45, 60, 90, 120, 150 e 180 dias para avaliações durante o desenvolvimento.

No laboratório, os sapotis colhidos em diferentes estádios foram separados em quatro repetições, contendo cinco frutos. As primeiras análises consistiram de observações sobre a aparência dos frutos, assim como da medição dos pesos fresco e seco, firmeza, comprimento e diâmetro. Seguiram-se as análises das características químicas. No entanto, os frutos colhidos aos 45 e 60 dias não foram analisados para parâmetros químicos devido a impossibilidade de extração da polpa. Os frutos colhidos nos demais estádios, tiveram sua polpa extraída, processada e congelada e analisada para o conteúdo de açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR), amido e de compostos fenólicos.

Nove frutos excedentes foram colhidos aos 180 dias de marcados, armazenados em condição ambiente de 28 °C e 60 ± 5% U.R. e reservados para avaliação da produção de CO₂ e etileno.

Frutos colhidos nos estádios de 120, 180 dias e pós-climatérico foram utilizados no experimento de caracterização histológica, por microscopia óptica, do desenvolvimento do sapoti.

2.4 Análises

As avaliações das características físicas foram realizadas, individualmente nos frutos de cada repetição, imediatamente após a chegada ao laboratório, assim como foram retiradas e fixadas as amostras utilizadas nas análises microscópicas.

As análises químicas foram realizadas após o descongelamento da polpa previamente processada. O processamento da polpa foi feito em um homogeneizador da marca Waring Blender e, para facilitar esse processo, se adicionou água destilada em quantidade equivalente ao peso do fruto, resultando em uma diluição 1:1, que foi considerada para efeito de cálculo dos resultados.

2.4.1 Físicas

Peso fresco

Uma balança semi-analítica da marca Mark 3100 foi usada na pesagem dos saptis. Os frutos inteiros foram pesados individualmente, e o peso foi expresso em g.

Tamanho

As medições dos diâmetros transversal e longitudinal foram feitas com o auxílio de um paquímetro digital com escala graduada em milímetros modelo SC-6.

Firmeza da polpa

A firmeza da polpa dos saptis foi determinada, nos frutos íntegros, através de um penetrômetro digital computadorizado da marca Stable Micro Systems modelo

TA.XT2i com sonda de 2 mm de ponta. Foram feitas duas medições em regiões opostas ao longo da área mediana do fruto. Os valores foram expressos em Newton (N).

Índice de formato

Com o objetivo de determinar a forma do fruto (esférica ou oval) foi calculado a relação entre os diâmetros transversal e longitudinal.

Peso seco

Imediatamente, após a realização das análises que requeriam os frutos íntegros, cada fruto foi cortado em 4 partes e uma dessas partes foi pesada em balança semi-analítica, e então posta em estufa a 67°C. As amostras foram pesadas diariamente até atingirem um peso constante. O peso seco foi obtido através da diferença de peso, tendo como medidas inicial e final, o peso no dia da colheita e o peso após a dessecação, respectivamente. Assim, essa variável foi expressa em porcentagem em relação ao peso inicial.

Com os frutos pós-climatéricos, seguiu-se o mesmo procedimento, tendo como medida inicial o peso observado após o climatério.

Aparência externa

Os frutos foram avaliados, através de avaliação visual, quanto a sua aparência segundo sua cor de polpa e da casca, cor e consistência das sementes, presença de textura granulosa na casca e presença de látex e os resultados foram apresentados em uma tabela.

2.4.2 Químicas

Açúcares solúveis totais

A determinação de açúcares solúveis totais nos sapotis seguiu a metodologia de Yemn e Willis (1954). A partir de 1g do homogenato de polpa iniciou-se a extração com 50ml de álcool 80%. A amostra foi filtrada e alíquotas de 10ml do filtrado foram retiradas e diluídas para 100ml com água destilada. Os resultados foram expressos em porcentagem de açúcares solúveis totais na polpa.

Açúcares redutores totais

Aproximadamente 1g de homogenato de polpa foi diluído em 50ml de água e filtrado em papel. Seguiu-se o doseamento pelo método do reagente de ácido dinitrosalicílico (DNS) (Miller, 1959). Foram retirados 1,5ml do filtrado, e a este se adicionou 1ml do reagente de DNS, em tubos de ensaio. Os tubos foram agitados e aquecidos em banho-maria por 5min a 100°C. A seguir, os tubos foram resfriados em banhos de gelo até a temperatura ambiente, e adicionados 7,5ml de água destilada a cada um. As absorvâncias foram lidas em espectrofotômetro a 450 nm e os resultados expressos em porcentagens.

Amido

Alíquotas de 5g de homogenato de polpa foram diluídas em 80ml de água destilada e centrifugadas por 10 min a 3000rpm. Esse procedimento foi repetido mais duas vezes. O precipitado foi transferido para erlenmeyer com 150ml de água e 5ml de HCl. As amostras foram aquecidas por 2h sob refluxo, e a seguir resfriadas e neutralizadas com Na₂CO₃ 20%. O volume foi completado para 250ml com água destilada e filtrado em papel (AOAC, 1992). O doseamento foi feito por meio do reagente DNS (Miller, 1959). Os resultados foram multiplicados por 0,90 para obtenção do conteúdo de amido em porcentagem.

Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos foram determinados em três extrações de acordo com a solubilidade. Amostras de 5g foram extraídas em 50ml de água destilada, 50ml de metanol 50% ou 50ml de metanol puro. As amostras extraídas em água foram postas em banho-maria por 15min a 60°C, enquanto as extraídas em metanol foram aquecidas por 15min a 100°C, sob refluxo. As amostras foram posteriormente agitadas por 15min e filtradas à vácuo em papel. Os filtrados foram aquecidos para redução dos volumes até aproximadamente 5ml, e transferidos para um balão volumétrico de 50ml, completando-se o volume com água destilada.

Os diferentes reagentes de extração extraem fenólicos em diferentes formas. Os fenólicos poliméricos são melhor extraídos por água, enquanto os oligoméricos, são extraídos por metanol 50%. Os compostos fenólicos de menor tamanho, os dímeros, são mais facilmente separados em metanol puro.

Os compostos fenólicos foram doseados pelo reagente de Folin-Denis, segundo Reicher *et al.* (1981). Uma alíquota de 1 ml foi retirada da amostra e adicionada a 2,5ml do reagente de Folin-Denis e a 5ml de Na₂CO₃ 20%, em um balão volumétrico de 50ml, cujo volume foi completado com água destilada. As amostras foram agitadas e deixadas em repouso por 30min, e as absorbâncias lidas em um espectrofotômetro a 720 nm.

2.4.3 Produção de CO₂ e etileno climatéricos.

Frutos foram analisados diariamente a partir do dia de colheita. Com o início do climatério, os intervalos entre as análises foram mais freqüentes sendo diminuídos para cada 2 horas. Os nove frutos foram separados em três repetições, com três frutos cada. Os frutos de cada repetição foram postos em um recipiente plástico, mantido hermeticamente fechado por 1 hora. Após esse período foram retiradas, com seringas, amostras de 5ml de gás do interior do recipiente, e analisadas em cromatógrafo CG, modelo DANI 8610. O cromatógrafo foi equipado com coluna Porapak-N de quatro metros de comprimento e 1/8" de espessura, com detetores de condutividade térmica e ionização de chama para análise de CO₂ e etileno em série,

respectivamente. Os resultados foram expressos para o etileno em $\mu\text{l}/\text{Kg}$ de fruto por hora e para CO_2 em ml/Kg de fruto por hora.

2.4.4 Histológicas

Preparo do material e das lâminas para visualização microscópica

De cada estágio estudado (120, 180 dias e pós-climatérico), foram retiradas seções da porção mais externa do pericarpo, quadradas com aproximadamente 5 mm de lado, e foram fixadas em glutaraldeído 1% e paraformaldeído 4% (Karnovsky, 1965). Após a fixação, as amostras foram lavadas com tampão fosfato 0,1 M pH 7,2 três vezes por 15 min cada, para depois serem desidratadas em série etílica e incluídas em historesina de glicometilmetacrilato, da marca Leica. Cortes transversais com 5 μm de largura foram feitos em um micrótomo Leica modelo Supercut 2065, e as lâminas preparadas e coradas com azul de toluidina 0,12 % em bórax 5 % por 2 min e fucsina básica 0,05 % por 30 seg (Junqueira, 1997). Para análise microquímica, usou-se lugol para detecção de amido (Johansen, 1940) e vermelho de rutênio aquoso 0,02 % para localização de pectina.

2.4.5 Delineamento experimental e análises estatísticas.

O experimento foi desenvolvido em um delineamento inteiramente casualizado para as características pesos fresco e seco, firmeza, tamanho, açúcares solúveis totais, açúcares redutores, amido e compostos fenólicos tendo como tratamento os estádios de desenvolvimento. As amostras foram divididas em 4 repetições cada uma representando uma unidade experimental composta por 5 frutos.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando constatada a significância pelo teste F, os tratamentos foram comparados através do teste Tukey ao nível de 5%, de probabilidade (Gomes, 1987).

As análises foram realizadas com auxílio do programa computacional SISVAR versão 3.01. Os resultados obtidos a partir da análise de variância, permitiram o desdobramento do tempo dentro de cada tratamento, quando houve interação entre

fatores. Os resultados foram, então, submetidos a regressão polinomial, na qual foram consideradas equações até 3º grau de acordo com Banzatto e Kronka (1992). O coeficiente de determinação mínimo para utilização das curvas foi 0,70.

3, Resultados e Discussão

3.1 Caracterização física do sapoti durante o desenvolvimento.

3.1.1 Aparência externa e interna

A evolução das características de aparência, observada na Tabela 1, mostra que o sapoti produz a maior quantidade de látex ao quinto mês do desenvolvimento, decrescendo até o amadurecimento. A redução do látex coincide com o aumento no conteúdo de açúcares solúveis (Figura 8), indicando uma provável participação do látex no metabolismo de açúcares durante a maturação do sapoti. Pathak e Bhat (1952) relataram que com o início da maturação do sapoti, o látex é metabolizado e transformado em sacarose, sendo então a principal fonte de açúcares solúveis, já que o conteúdo de matéria insolúvel em álcool, como amido e hemicelulose, não varia o suficiente para justificar o aumento em açúcares.

Além do látex, outra característica típica do sapoti é a granulosidade da casca. A medida que o fruto se desenvolve, a casca se torna menos rugosa, até que o fruto após o climatério apresentava uma casca totalmente lisa. Os frutos apresentam ainda um estigma ressecado coberto por um apêndice, até o terceiro mês de desenvolvimento. A presença dessas estruturas já foi utilizada como índice de maturidade do sapoti (Roy e Joshi, 1997).

No presente estudo, não foi observado nenhuma mudança na coloração externa do fruto durante seu desenvolvimento, o que impede que a cor seja usada como índice de maturação (Figura 1). A coloração interna, todavia, sofre alterações evidentes. Inicialmente, a cor da polpa é verde, para depois tornar-se verde-amarelado no sexto mês de desenvolvimento e bege escuro, com tons avermelhados, nos frutos maduros. As sementes, que nos estádios iniciais, eram transparentes e gelatinosas e quase imperceptíveis se tornavam escuras e muito duras no fruto maduro.

Tabela 1. Evolução das principais características de aparência durante o desenvolvimento do sapoti. Fortaleza, 2000.

Características	Dias pós Marcação							
	0	45	60	90	120	150	180	Pós-climatério
Látex	A	+	+	++	+++	+++	+	A
Estigma	P	P	P	AV	AV	A	A	A
Apêndice	P	P	AV	AV	A	A	A	A
Granulosidade da Casca	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	A
Cor Externa	marrom	marrom	marrom	marrom	marrom	marrom	marrom	marrom
Cor da Polpa	verde	verde	verde	verde	verde	verde amarelada	verde amarelada	bege escuro
Consistência das Sementes	A	gelatinosa	gelatinosa	gelatinosa	macia	± dura	dura	dura
Formato	achatado	achatado	achatado	achatado	achatado	esférico	esférico	esférico

Legenda: + pouco, ++ razoável, +++ muito, A- ausente, AV- às vezes, P- presente, ± mais ou menos.

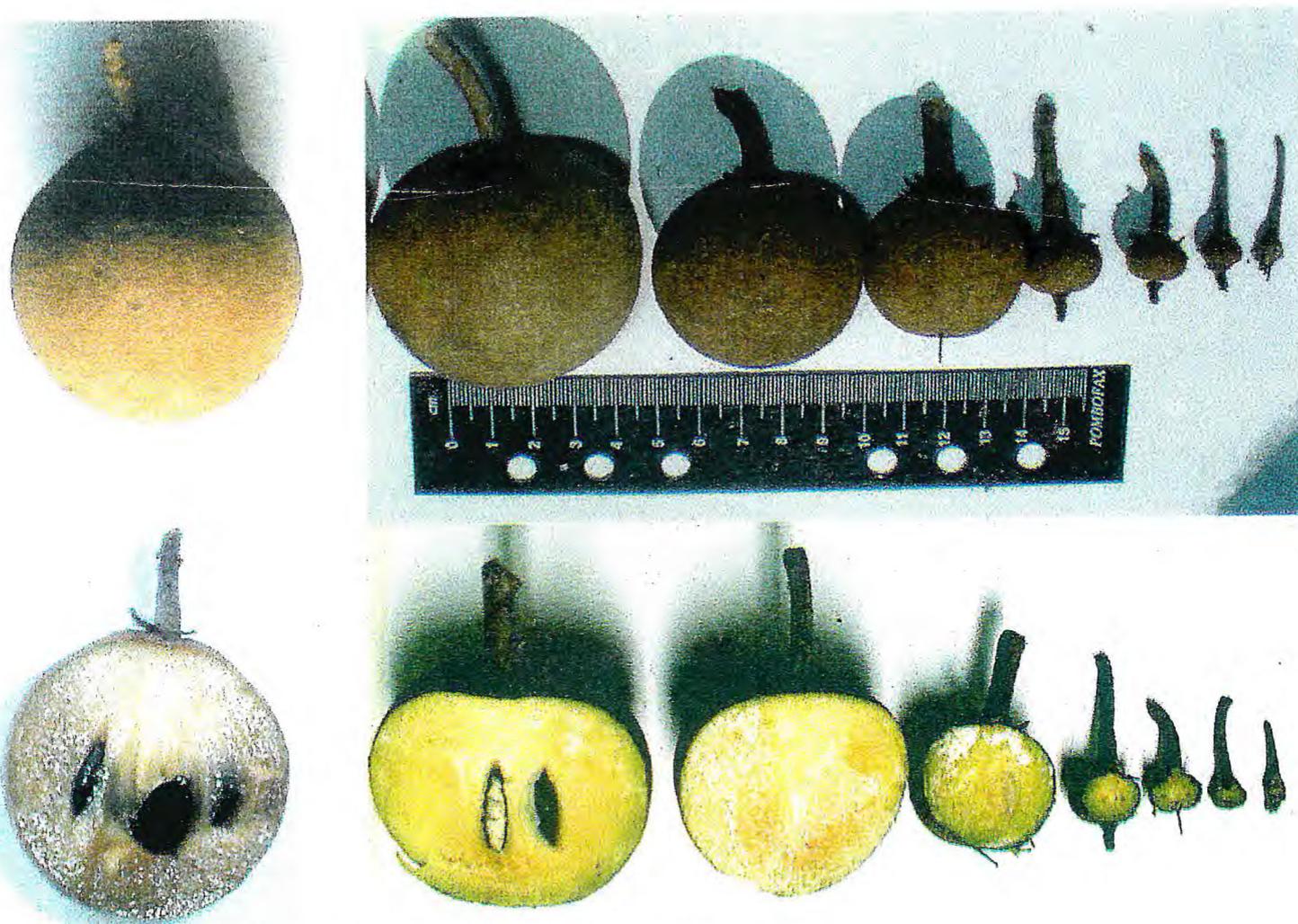


Figura 1. Colorações externa e interna do sapoti durante seu desenvolvimento. Frutos alinhados da esquerda para direita: pós-climatérico, 180, 150, 120, 90, 60, 45 e 0 dias após a marcação. Fortaleza, 2000.

Um critério empírico bastante empregado na colheita do sapoti, é a remoção de uma pequena parte da casca do fruto e observação da coloração da parte mais externa da polpa, considera-se apropriado o fruto o qual apresenta uma coloração verde-amarelado abaixo da polpa, correspondente aqueles colhidos ao sexto mês nesse trabalho.

3.1.2 Crescimento

Os sapotis aumentaram em tamanho durante todo o seu desenvolvimento (Figura 2). O diâmetro transversal aumentou linearmente ($r^2=0,98$), enquanto o longitudinal aumentou mais a partir do 3º mês ($r^2=0,99$).

No segundo mês de desenvolvimento do sapoti, o índice de formato foi 1,30 e após o climatério caiu para 1,07, o que caracterizou um formato mais esférico. A relação diâmetro transversal e longitudinal se manteve maior que 1 durante todo o desenvolvimento, indicando uma tendência para o formato arredondado. Esses resultados concordam com os apresentados por Araújo-Neto (2000), segundo os quais, os frutos da cultivar *Itapirema-31* possuíam índice de formato igual a 1,01, quando maduros.

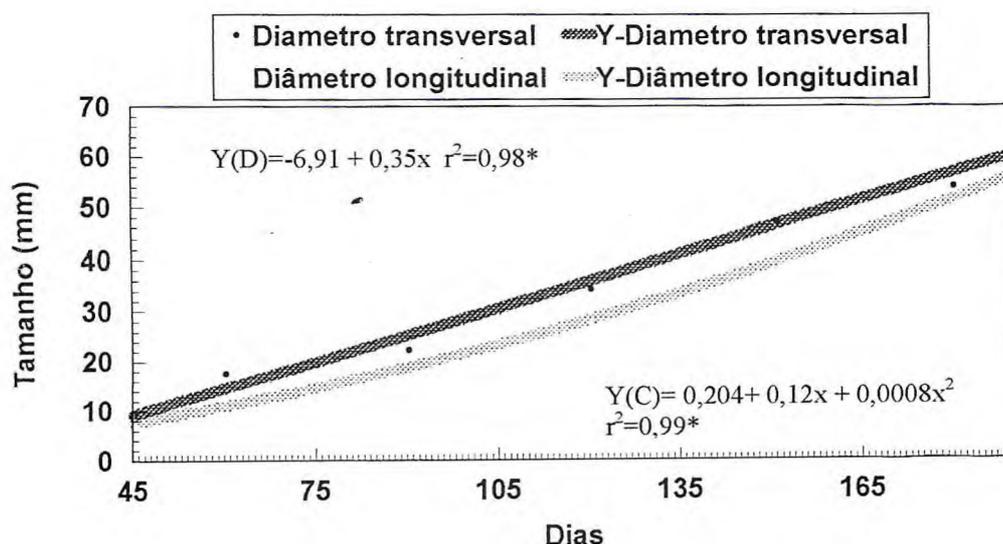


Figura 2. Alterações nos diâmetros transversal e longitudinal durante o desenvolvimento do sapoti. Fortaleza, 2000.

Os frutos atingem seu tamanho máximo e portanto sua maturidade fisiológica a partir do sexto mês de desenvolvimento, cujo comportamento é confirmado pela curva de crescimento desses frutos (Figura 3). A curva de dos sapotis é do tipo sigmóide simples e o momento de maior aceleração do crescimento ocorre entre o terceiro e sexto mês. Os frutos ao sexto mês de desenvolvimento haviam atingido um platô em seu crescimento, segundo os resultados preliminares desse trabalho e os de Araújo-Neto (2000).

Os frutos colhidos nesse estágio de maturidade fisiológica possuíam peso médio de 127 g ($r^2=0,96$) (Figura 3), que após o climatério cai para 117,1 g. A perda de peso fresco após o climatério, é resultado principalmente da perda de água por transpiração.

O coeficiente de determinação (r^2) mostra que os diâmetros transversal ($r^2=0,98$) e longitudinal ($r^2=0,99$) são melhores indicadores do estágio de desenvolvimento do fruto do que o peso fresco ($r^2=0,96$) (Figura 3).

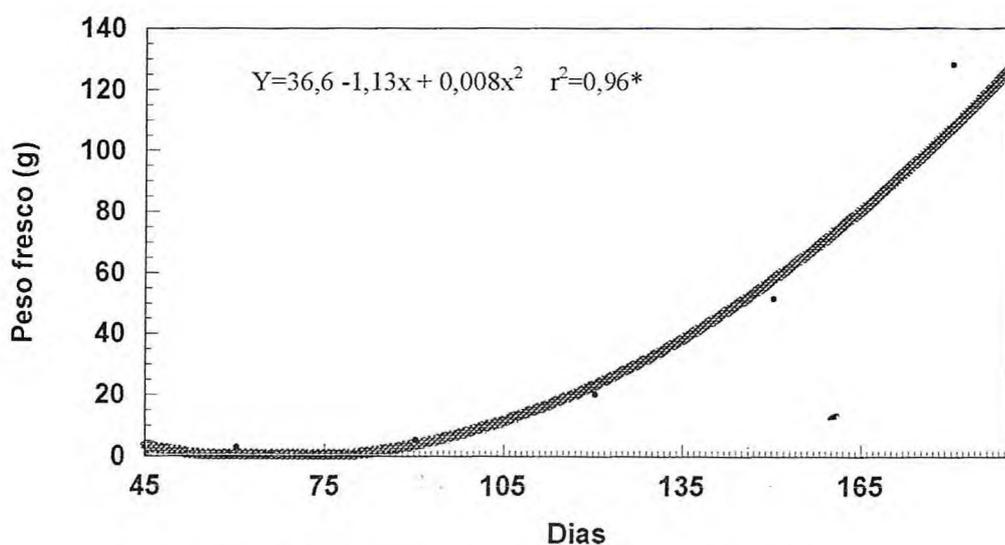


Figura 3. Curva de crescimento do sapoti. Fortaleza, 2000.

O peso fresco é um dos parâmetros que melhor representa a grande variabilidade dessa espécie. Frutos em estágio de maturidade fisiológica ou “de vez” das cultivares indianas *Cricket ball*, *Calcutta Round* e *Jantung* possuem peso fresco médio de 140, 75 e 44,1g, respectivamente (Lakshminarayana e Subramanyan, 1966;

Sundararajan e Madhava-Rhao, 1967; Abdul-Karim *et al.*, 1987). Enquanto isso, as cultivares americanas têm pesos normalmente maiores entre 90,1 e 363,6g (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979). O sapoti introduzido no Estado de São Paulo pesa em média 114,8g (Donadio e Durigan, 1995) e dados provenientes de um levantamento feito no Estado do Ceará, com frutos colhidos na central de abastecimento do estado, em Fortaleza, mostraram que os frutos comercializados ali possuíam peso entre 46 e 81 g (Lima *et al.*, 1990).

O sapoti apresenta um aumento em peso seco a partir do quinto mês de desenvolvimento ($r^2=0,80$) (Figura 4), que corresponde ao mesmo período em que houve um aumento brusco em peso fresco (Figura 3). O peso seco dos frutos inicialmente declina até o terceiro mês e depois se mantém constante até o quinto mês, a partir dos quais aumenta. O aumento em peso seco observado a partir do quinto corresponde ao aumento no conteúdo de açúcares solúveis, observado mais adiante nesse trabalho, na Figura 8. O aumento após o climatério deve-se principalmente à perda de água por transpiração durante o armazenamento em condição ambiente. Após a colheita a transpiração continua sem um suprimento de água, causando a desidratação dos tecidos devido a diferença de potencial hídrico entre o ar quente e relativamente seco (28°C e 60 % U.R.) e o tecido do fruto. Lakshminarayana e Subramanyan (1966) observaram comportamento semelhante ao apresentado aqui, com relação ao peso seco dos frutos da cultivar *Calcutta Round*.

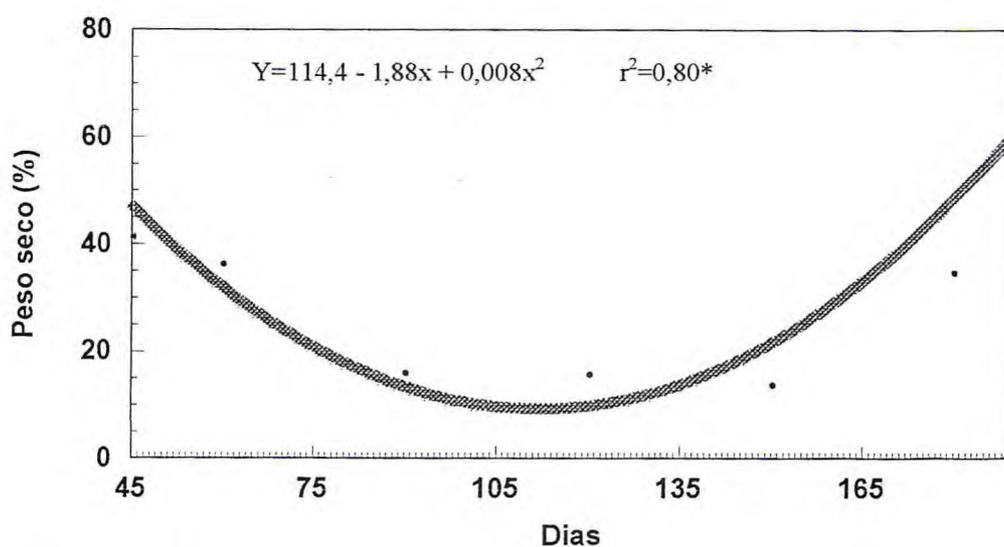


Figura 4. Alterações no peso seco durante o desenvolvimento do sapoti.

O estágio designado como o de maturidade fisiológica, é a etapa que permite que os frutos continuem desenvolvimento após a colheita mantendo as características de qualidade desejadas (Chitarra e Chitarra, 1990). Em outros órgãos vegetais como as sementes, o estágio de maior viabilidade corresponde ao de maturidade fisiológica onde se observa o maior peso seco, que é geralmente resultado do acúmulo de carboidratos (Rienzo, 1998).

3.1.3 Firmeza

A firmeza do sapoti decresce em função do tempo de desenvolvimento (Figura 5). A firmeza do sapoti começa a decrescer a partir do quinto mês, alcançando 81,9N no sexto mês a partir do qual decresce rapidamente até após o climatério, com 9,2N. A maior redução em firmeza coincide com o amadurecimento, quando há várias mudanças estruturais e de composição. Em alguns frutos como a banana a degradação do amido está associada a perda em firmeza (Turner, 1997), o que não parece ser o caso do sapoti, já que o teor de amido não decresce com o amadurecimento (Figura 7).

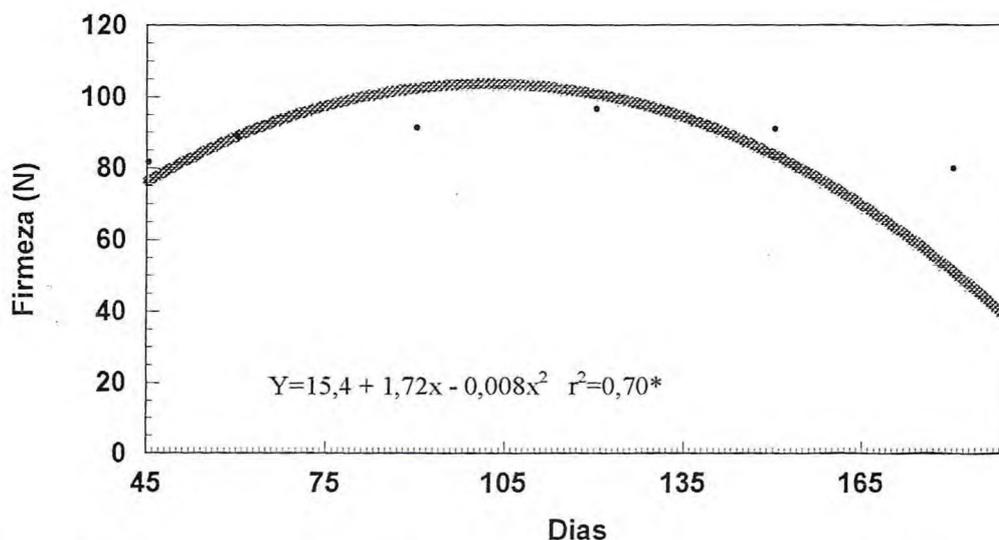


Figura 5. Alterações em firmeza durante o desenvolvimento do sapoti. Fortaleza, 2000.

A redução em firmeza durante o amadurecimento do sapoti, parece estar associada a desorganização da parede celular e da lamela média assim como a uma redução da turgidez celular, como pode ser observado, mais adiante, nas Figuras 11B e 12, resultando em uma perda de integridade estrutural. A redução da turgidez celular está associada à perda de água e pode ser observada com o aumento do peso seco no fim do desenvolvimento do sapoti, resultado da diferença em umidade entre o fruto e a atmosfera (Figura 4).

Alguns autores acreditam que a firmeza não é um bom indicador do estágio de desenvolvimento dos saptos, devido ao seu baixo coeficiente de determinação ($r^2 = 0,70$) (Abdul-Karim *et al.*, 1987). Isso seria explicado pelo fato de que, os frutos colhidos em áreas, estações e anos diferentes variam consideravelmente em firmeza.

Araujo-Neto *et al.* (2001), no entanto, observaram que frutos da variedade *Itapirema-31* quando colhidos no estágio “de vez” apresentavam firmeza de 78,6N e afirmaram que isso poderia ser usado como um bom indicador físico do ponto de colheita.

3.2 Produção de CO₂ e de etileno climatéricos.

O climatério é o período do desenvolvimento de alguns frutos, no qual ocorrem mudanças fisiológicas e bioquímicas iniciadas pelo etileno produzido autocataliticamente e que resultam na transição entre o crescimento e a senescência (Chitarra e Chitarra, 1990). O climatério é caracterizado por um aumento brusco na evolução de CO₂ e por uma produção autocatalítica de etileno.

O sapoti possui um padrão respiratório do tipo climatérico. Os frutos colhidos no sexto mês atingiram o pico da produção de etileno ao sétimo dia após a colheita e o respiratório ocorreu ao oitavo, quando mantidos a 28°C e 60 ± 5% U.R. (Figura 6). No pico, a produção de etileno foi 1,8 µl/kg por hora e a de CO₂ foi 23,4 ml/kg por hora.

Os frutos após o climatério respiratório apresentavam-se em estágio avançado de maturação com aroma levemente alcoólico e aparência enrugada, o que leva a crer que as principais mudanças do amadurecimento ocorrem durante no início do pico de etileno e que logo depois do pico respiratório, os frutos começam a senescer.

A senescência engloba o envelhecimento e morte dos tecidos e já se discute o amadurecimento como uma etapa da senescência. O aroma alcoólico é resultado da diminuição do metabolismo respiratório resultando na fermentação, com produção de álcool, e a aparência enrugada deve-se à perda de turgidez celular por desidratação. A redução em turgidez do sapoti, no período pós-climatérico, pode ser observada nas curvas de peso fresco e seco (Figuras 3 e 4) e nos estudos histológicos apresentados adiante, na Figura 12.

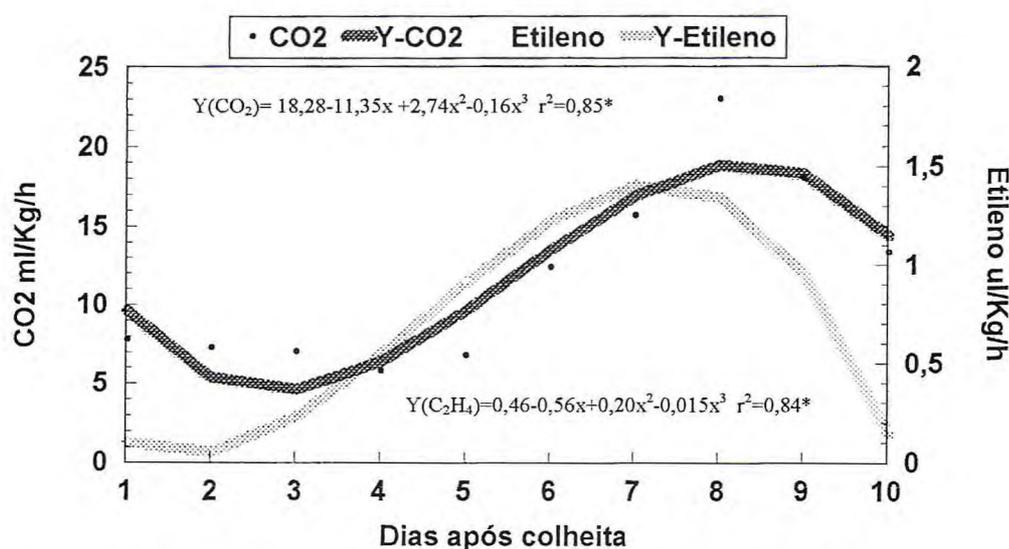


Figura 6. Produção de CO₂ e etileno em sapotis colhidos ao sexto mês e armazenados em condição ambiente (28 °C e 60 ± 5 % U.R.). Fortaleza, 2000.

As cultivares *Cricket Ball* e *Oblong* atingiram o pico de liberação de CO₂ aos 4,5 e 3,5 dias após a colheita e produziram 100 e 93 ml/kg/h, respectivamente (Selvaraj e Pal, 1984). Outros resultados mostram que o sapoti, a 20 °C, pode alcançar um máximo de produção de CO₂ de 27 ml/kg/h precedido em um dia por um aumento na produção de etileno atingindo um máximo de 1,7 µl/kg/h (Baez *et al.*, 1997). A cultivar *Calcutta Round* atinge um máximo de CO₂ de 8 ml/kg/h no oitavo dia após a colheita (Lakshminarayana e Subramanyan, 1966). A cultivar *Jantung* atinge o pico de produção de etileno aos 3,5 dias após colheita com 4,2

$\mu\text{l/kg}$ por hora e de CO_2 ao quarto dia, com 29 ml/kg por hora, a 20°C (Latifah, 1996).

3.3 Caracterização química do sapoti durante o desenvolvimento.

3.3.1 Carboidratos

O amido é a principal substância de reserva nos frutos. A curva de acúmulo de amido durante o desenvolvimento do sapoti (Figura 7) mostra que se obteve um máximo de conteúdo (8,2%) no quarto mês, para depois decrescer gradualmente até o sexto mês, com 4,2%. Até o estágio de maturidade fisiológica (180 dias), o amido tem padrão de acúmulo inverso ao dos açúcares solúveis (Figura 8), indicando a hidrólise de amido como origem dos açúcares. Porém, durante esse período os frutos ainda estão ligados a planta, de modo que a importação de fotoassimilados é o procedimento mais usual. No entanto, um aumento observado na atividade da α -amilase, enzima responsável pela hidrólise de amido, até o estágio de maturidade fisiológica nos frutos das variedades *Oblong* e *Cricket ball*, leva a crer que a hidrólise do amido contribui ao menos em parte para o acúmulo dos açúcares solúveis durante o desenvolvimento do sapoti (Selvaraj e Pal, 1984).

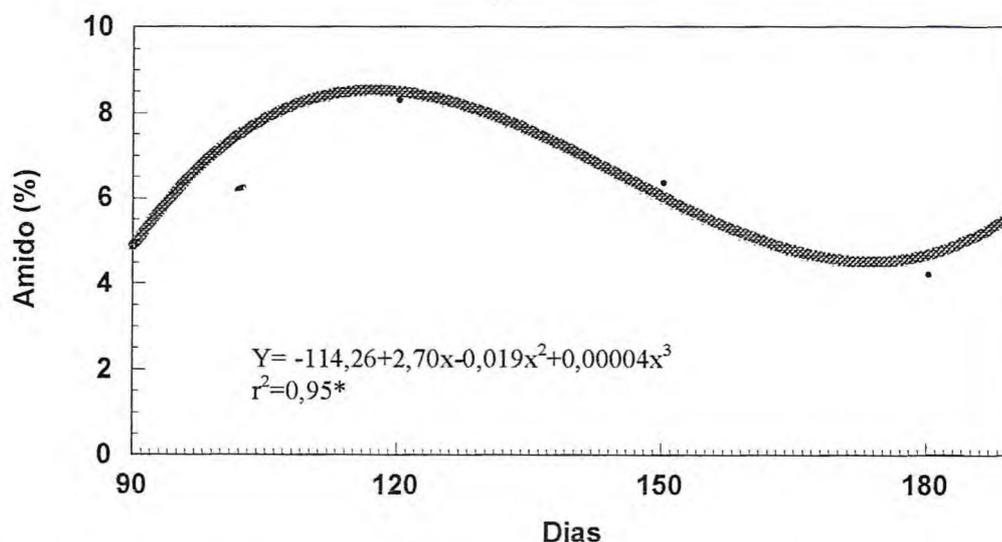


Figura 7. Alterações no conteúdo de amido durante o desenvolvimento do sapoti.

Fortaleza, 2000.

A maioria dos frutos hidrolisa amido durante o amadurecimento e os açúcares obtidos são usados como substratos na respiração, visando a obtenção de energia necessária para a manutenção do metabolismo celular após o desligamento da planta (Chitarra e Chitarra, 1990). O sapoti possui um comportamento pouco comum durante o amadurecimento, com os frutos apresentando um pequeno aumento em seu conteúdo de amido, após o climatério. A degradação do amido pode não ter sido necessária devido ao acúmulo de açúcares no final da etapa de crescimento ou uso de outras fontes de açúcares como o látex e os componentes da parede celular. O pequeno aumento observado após o climatério pode ser explicado por um efeito de concentração resultante da perda de peso, nesse período.

Quanto ao conteúdo de amido no sapoti, os resultados estão de acordo com os de Alves *et al.* (2000), que mostraram que o sapoti maduro possuía 5,18% de amido.

Os saptis começam a acumular açúcar nas formas solúveis a partir do quarto mês (Figura 8). Nesse estágio, os frutos possuem quase 5% de açúcares. Os frutos colhidos no sexto mês, apresentam um aumento no teor de açúcares solúveis totais, chegando a 21,3%. Após o climatério, há um decréscimo para 12,9%, no conteúdo de açúcares solúveis totais no sapoti.

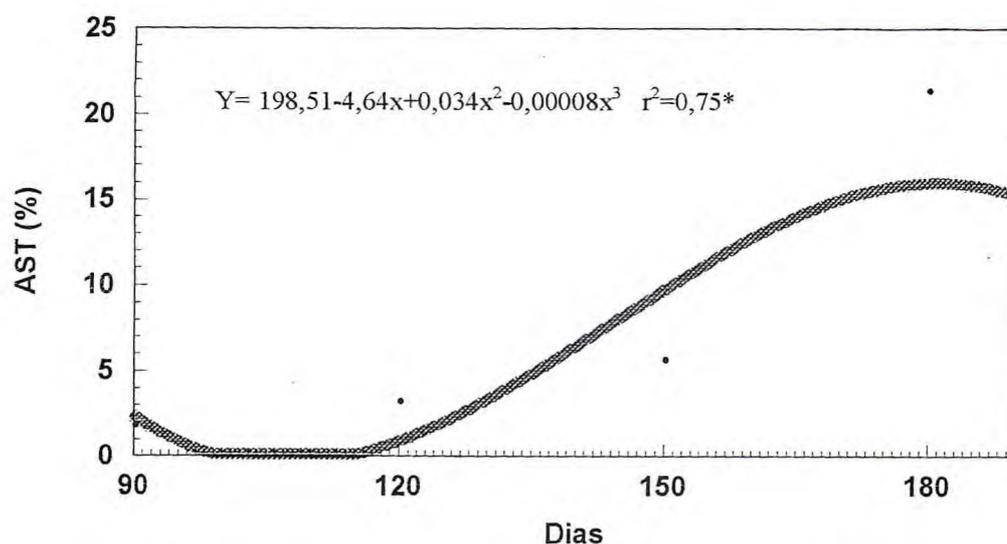


Figura 8. Alterações no conteúdo de açúcares solúveis totais (AST) durante o desenvolvimento do sapoti. Fortaleza, 2000.

O aumento em açúcares solúveis totais observado nos sapotis colhidos no sexto mês, corresponde ao maior aumento em peso fresco. Como os frutos ainda estão ligados a planta, esse aumento deve-se em grande parte a importação, pelos frutos, desses açúcares assimilados por fotossíntese pela planta. Além da importação e da hidrólise de amido, outra fonte de açúcares solúveis no final do crescimento é o látex. Estudos publicados mostraram que durante a maturação do sapoti, o látex é metabolizado e transformado em sacarose por enzimas do próprio látex ou dos fungos que compõem a microflora do fruto (Pathak e Bhat, 1952).

A redução desses açúcares durante o amadurecimento é, provavelmente resultado de sua utilização com o substrato na respiração. De modo que nesse período, o consumo de açúcares na respiração é maior do que sua síntese a partir do látex ou da solubilização dos componentes da parede celular.

Estudos realizados por Ramadan *et al.* (1981) afirmam que, no sapoti não há acúmulo de açúcares solúveis após a colheita. Entretanto, os sapotis das cultivares *Cricket Ball* e *Oblong* acumulam açúcares solúveis totais durante seu desenvolvimento e inclusive após a colheita, aumentando de 12,6% no estágio de colheita para 14,4% quando maduros (Selvaraj e Pal, 1984).

Os açúcares solúveis totais são divididos em redutores e não redutores, sendo que o conteúdo dos não redutores pode ser observado como a diferença entre o conteúdo de açúcares totais e o de redutores. A sacarose é o principal dissacarídeo não redutor do sapoti, sendo o maior responsável pelo sabor muito doce do fruto maduro (Pathak e Bhat, 1952). O sapoti apresentou um aumento no conteúdo de sacarose a partir do quinto mês, atingindo um máximo no sexto com o início da maturação, e um declínio durante o amadurecimento, mostrado nos frutos pós-climatéricos.

A redução em sacarose após o climatério deve-se a sua transformação em glicose e frutose pela enzima invertase ácida. Nos frutos da cultivar *Cricket ball* essa enzima aumentou em atividade até a maturação, para em seguida decrescer (Selvaraj e Pal, 1984). Lakshminarayana e Subramanyam (1966) observaram que com o amadurecimento dos frutos da cultivar *Calcutta Round*, os açúcares solúveis totais aumentam em conteúdo até 25% e dentre estes, os açúcares não-redutores aumentam atingindo um máximo, no início da maturação.

Dentre os açúcares solúveis totais, os redutores apresentaram um aumento gradual em seu conteúdo durante todo o desenvolvimento do sapoti ($r^2=0,99$) (Figura 9). No sexto mês, os frutos possuem um conteúdo pouco maior que 6% de açúcares redutores, que continua aumentando até após o climatério, muito embora estes sejam utilizados como substratos na respiração durante o amadurecimento.

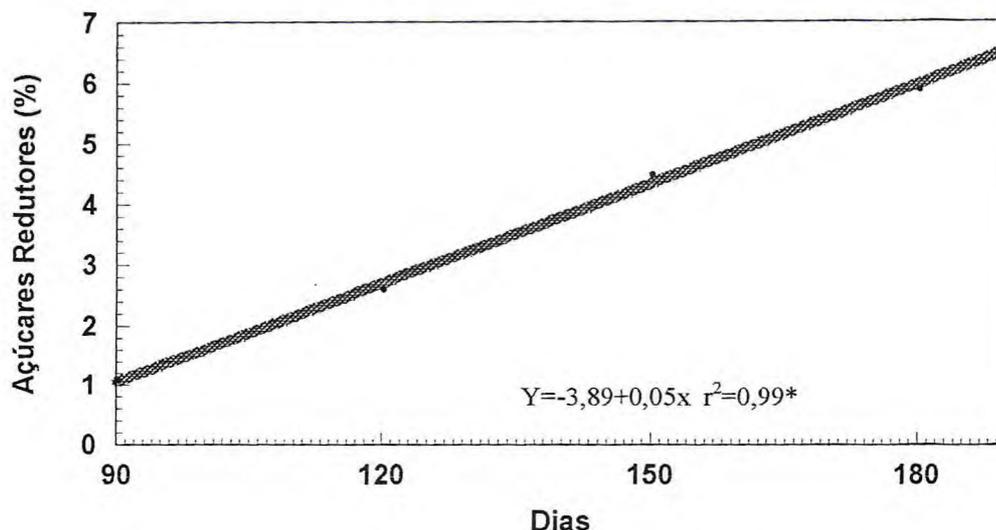


Figura 9. Alterações no conteúdo de açúcares redutores durante o desenvolvimento do sapoti. Fortaleza, 2000.

Durante o amadurecimento pós-colheita, os açúcares redutores, oriundos da hidrólise dos carboidratos complexos, são geralmente utilizados como substratos na respiração. Nela ocorre a oxidação dos açúcares em ácido pirúvico, via glicólise e transformação aeróbica do ácido pirúvico e de outros ácidos orgânicos em CO_2 , água e ATP, via ciclo de Krebs (Chitarra e Chitarra, 1990). A energia obtida, em forma de ATP, é empregada na catálise das reações que resultam nas mudanças características do amadurecimento.

O aumento pós-climatérico em açúcares redutores observado nos sapotis aqui estudados, embora pequeno quando comparado com outras variedades de sapoti, pode ser atribuído à hidrólise de sacarose em glicose e frutose que foi maior do que seu consumo pela respiração. Os principais açúcares redutores do sapoti são glicose e frutose, que em frutos maduros de cultivares mexicanas representam entre 90 e 50%

dos açúcares solúveis totais (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979). Nos frutos da cultivar *Itapirema-31* os redutores representaram quase 90% dos açúcares solúveis totais (Araujo-Neto *et al*, 2001).

3.3.2 Compostos fenólicos

O sapoti, quando imaturo, possui uma alta adstringência devido a presença de compostos fenólicos. A curva de concentração de compostos fenólicos durante o desenvolvimento (Figura 10) mostra que estes não variam tanto quantitativamente como qualitativamente. Os compostos fenólicos solúveis em metanol puro e em metanol 50% decrescem gradualmente até o sexto mês e aumentam após o climatério. Os solúveis em água tem comportamento inverso, aumentando durante todo o período de crescimento. A concentração total de fenólicos é de aproximadamente 4,5%.

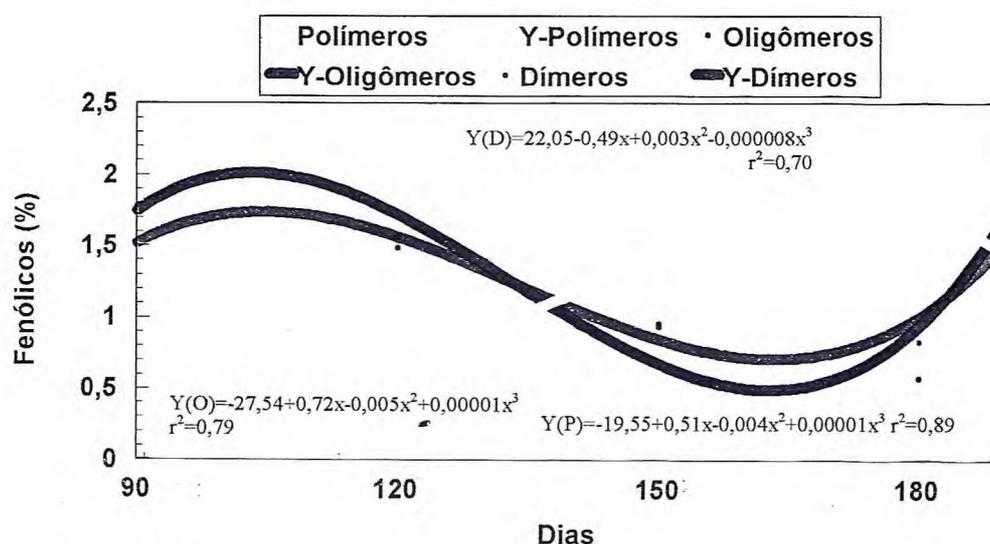


Figura 10. Alterações no conteúdo de compostos fenólicos durante o desenvolvimento do sapoti.

Dentre os fenólicos, aqueles com estrutura flavan são os principais responsáveis pela adstringência. A adstringência dos fenólicos do tipo flavan está associada ao seu grau de polimerização. A condensação ou polimerização desses

compostos ocorre, geralmente, durante a maturação dos frutos resultando em diminuição da adstringência. O grau de polimerização também está associado a solubilidade destes compostos, de modo que os polímeros são mais facilmente extraídos em água e menos em metanol puro, ao contrário daqueles de menor peso molecular (Goldships e Swaps, 1963).

O sapoti mostra um aumento dos compostos fenólicos solúveis em água no final do desenvolvimento, embora o conteúdo total de fenólicos não tenha sido alterado, indicando um aumento dos polímeros. Durante o amadurecimento, há predominância das formas poliméricas, justificando a redução, em parte, da adstringência observada nesses frutos. No entanto, a existência das formas de menor peso molecular leva a crer que a diminuição em adstringência não é só resultado da polimerização, mas também de um efeito de diluição resultado do aumento em tamanho e no conteúdo de açúcares.

Lakshminarayana *et al.* (1969) mostraram que houve polimerização dos compostos fenólicos no final da etapa de crescimento do sapoti e que o principal responsável pela adstringência eram flavans. Os referidos autores enfatizaram que, embora houvesse a polimerização, a redução em adstringência era resultado do efeito de diluição pelo aumento em tamanho e no conteúdo de compostos não fenólicos, como açúcares.

Frutos maduros de nove cultivares mexicanas estudadas por Lakshminarayana e Moreno-Rivera (1979) possuíam teores de fenólicos que variavam entre 2,9 a 6,4%, porém valores muito mais altos foram encontrados por Araujo-Neto *et al.* (2000), onde somente a fração solúvel em metanol puro consistia em 4%.

3.4 Caracterização histológica do sapoti durante o desenvolvimento.

O fruto de *Manilkara zapota* é do tipo bacóide, com formato variado, indeiscente, carnosos, com exocarpo fino e mesocarpo ou polpa de consistência branda enchendo toda a cavidade interna (Popenoe, 1989; Lima *et al.*, 1990; Pinto *et al.*, 1996).

Os frutos colhidos ao quarto mês possuem exocarpo formado por uma fina periderme (Figura 11A). Aparentemente, essa periderme origina-se de um felogênio oriundo das camadas subepidérmicas.

O mesocarpo dos frutos, nesse estágio, possui duas camadas parenquimáticas pouco distintas (Figura 11A). Mais externamente, próximo a periderme, as células são menores e de conteúdo denso. Permeando esse tecido encontram-se braquiesclereídeos, que são células com paredes secundárias espessas que formam aglomerados. Os braquiesclereídeos são os responsáveis pela textura arenosa da polpa do sapoti. Esclereídeos simples são chamadas de células pétreas e são muito encontrados na polpa de pêra (Gênero *Pyrus*) (Hallet e Harker, 1996). A camada mais interna e mais abrangente do mesocarpo constitui-se de um parênquima com células e espaços intercelulares relativamente amplos. Podem ser observadas células de conteúdos denso e denso granulado, possivelmente ricas em compostos fenólicos.

Os sapotis, colhidos ao quarto mês de desenvolvimento, possuem canais laticíferos (Figura 13B). A presença dos canais laticíferos concorda com os resultados apresentados na Tabela 1, que indicam uma abundante exsudação de látex, nos frutos colhidos nesse período do desenvolvimento. As células laticíferas observadas estão arranjadas em série, e não isoladamente, portanto são denominadas articuladas. O látex é geralmente considerado um material vacuolar, mas não se observa demarcação nítida entre o citoplasma e o vacúolo, o que é comum em laticíferos maduros (Esau, 1998).

O turgor celular deve ser o principal fator de resistência mecânica, ao quarto mês de desenvolvimento, por que nessa etapa os frutos se apresentam bastante firmes (aproximadamente 90 N) (Figura 5) e com baixo peso seco (Figura 4).

Esses frutos estão no início da fase exponencial do crescimento, com diâmetro transversal médio de 25 mm e longitudinal de 20 mm, indicando um formato mais achatado (Figuras 2 e 3).

Os frutos colhidos ao sexto mês de desenvolvimento possuem periderme com células suberizadas (Figura 11B). As camadas do mesocarpo são mais facilmente distintas e são compostas por células regulares sem alterações morfológicas destacadas. A camada mais externa possui células menores com paredes mais espessas.

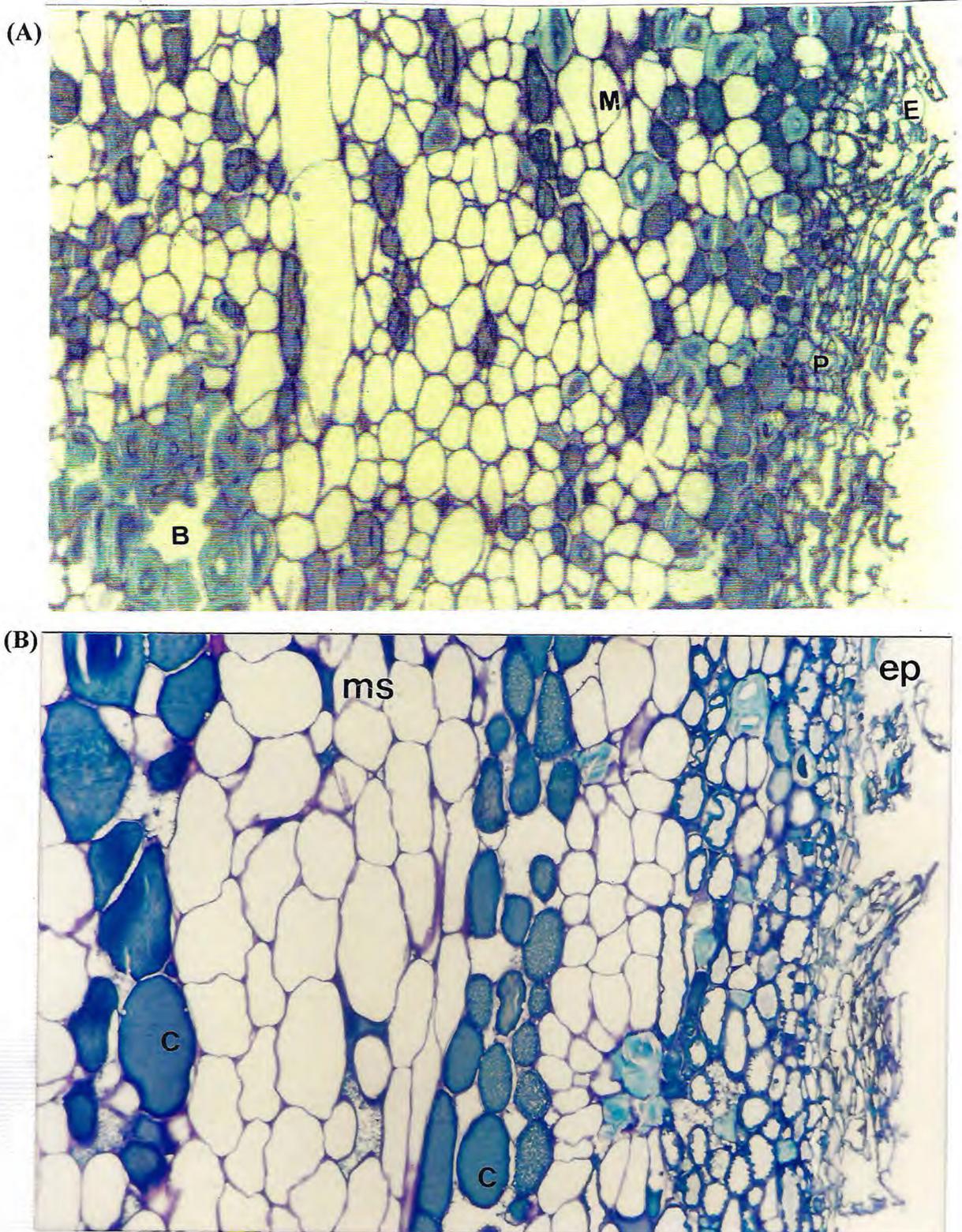


Figura 11. Pericarpo do sapoti colhido ao quarto (A) e ao sexto mês (B) de desenvolvimento, corado com azul de toluidina, 10x. m- mesocarpo; e- epicarpo; p- periderme, cp- campos de pontuação e b-braquiesclereídeos. Fortaleza, 2001.

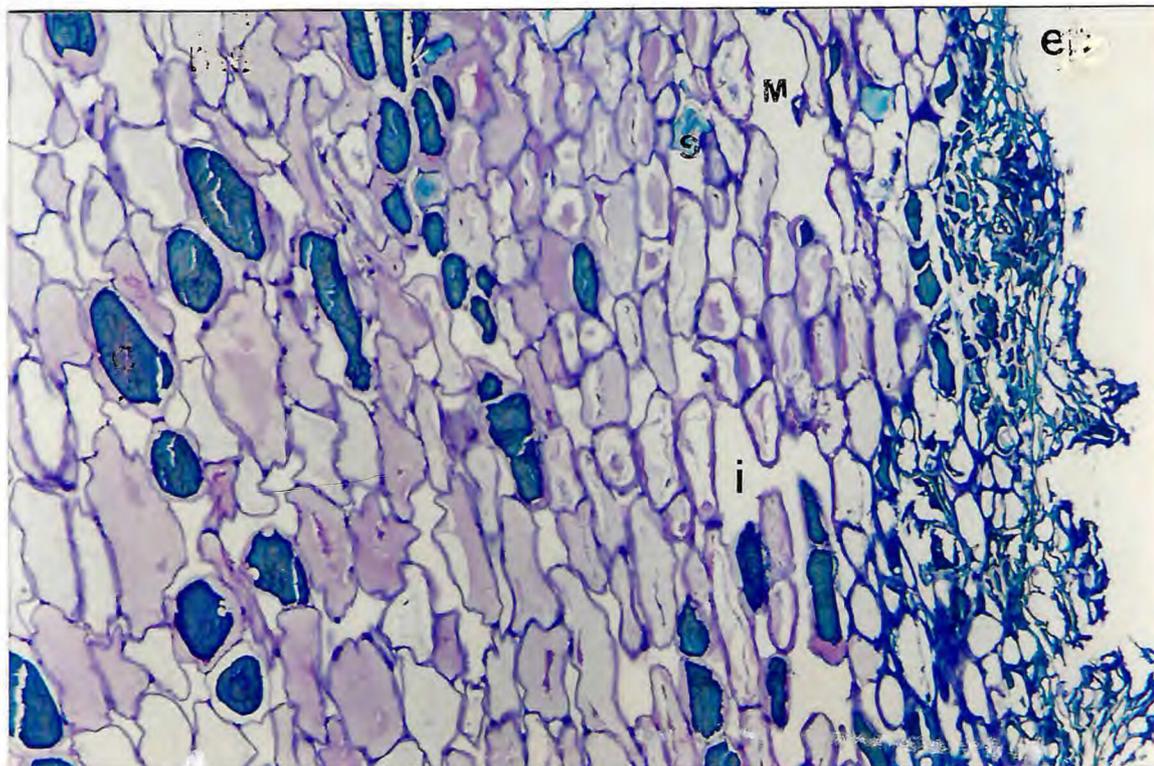


Figura 12. Pericarpo do sapoti após o climatério, corado com azul de toluidina, 10x. m- mesocarpo; e- epicarpo; p- periderme, i- espaços intercelulares, cp- campos de pontuação e s-esclereídeos. Fortaleza, 2001.

Esses células estão intensamente vacuoladas, de modo que o citoplasma se mostra periférico e tem aparência granular. Nessa camada, pode-se observar braquiesclereídeos.

Na camada mais interna, há um aumento nos espaços intercelulares e as células se mostram mais amplas, principalmente quando comparadas às dos frutos colhidos aos 120 dias, com paredes celulares ricas em campos de pontuações primárias. As células de conteúdo denso e denso granulado, que provavelmente armazenam compostos fenólicos, podem ser bem visualizadas.

Nos frutos, colhidos aos 180 dias de desenvolvimento, uma análise microquímica com lugol confirmou a presença de amido (Figura 13A), que segundo as análises químicas apresentava um conteúdo de 4,2% (Figura 7).

Os frutos, nesse estágio, se encontram no final da etapa de crescimento e início da maturação (Figura 2 e 3), quando o aumento em tamanho deve-se principalmente ao aumento no volume celular. A pequena redução em firmeza, é resultado do aumento nos espaços intercelulares e do declínio do teor de água, turgor celular (Figuras 5 e 4) e da integridade da parede (Figura 15B). Os frutos colhidos nesse estágio são capazes de amadurecer regularmente, indicando que alcançaram sua maturidade fisiológica.

Tanto nos frutos colhidos no sexto mês como nos pós-climatéricos (Figuras 11B e 12) não foram encontrados células laticíferas, concordando com a Tabela 1 que mostra que a concentração de látex decresce no final da etapa de crescimento até desaparecer nos frutos maduros. Pathak e Bhat (1952), em alguns de seus estudos, mostraram que no amadurecimento do sapoti, o látex era transformado em sacarose por enzimas do látex e dos fungos que compõem a microflora do fruto.

Após o climatério, observa-se uma desorganização tecidual (Figura 12). As células da periderme se encontram bastante suberizadas e em sua maioria, mortas. As camadas do mesocarpo não são mais facilmente distintas e as células em geral, mostram-se plasmolisadas. Os espaços intercelulares aumentaram ainda mais e alguns esclereídeos podem ser observados, permeando esse tecido. As paredes celulares, dos frutos pós-climatéricos, se encontram muito expandidas.

A perda de peso durante o amadurecimento é, fundamentalmente, resultado da desidratação e da respiração. Isso pode ser observado nas modificações no turgor celular e na estrutura de parede, que são as mais óbvias nesse estágio, e concordam com os resultados apresentados anteriormente nos quais os frutos após o climatério apresentaram uma redução acentuada em firmeza e um aumento considerável no peso seco (Figuras 5 e 4), implicando em uma aparência enrugada.

O sapoti possui lenticelas, que não foram aqui observadas, originadas de uma maior atividade do felogênio da periderme. As lenticelas permitem trocas gasosas entre o meio externo e o interior do fruto, sendo então as principais vias de perda de água do fruto (Lima *et al.*, 1990 e Esaú, 1998).

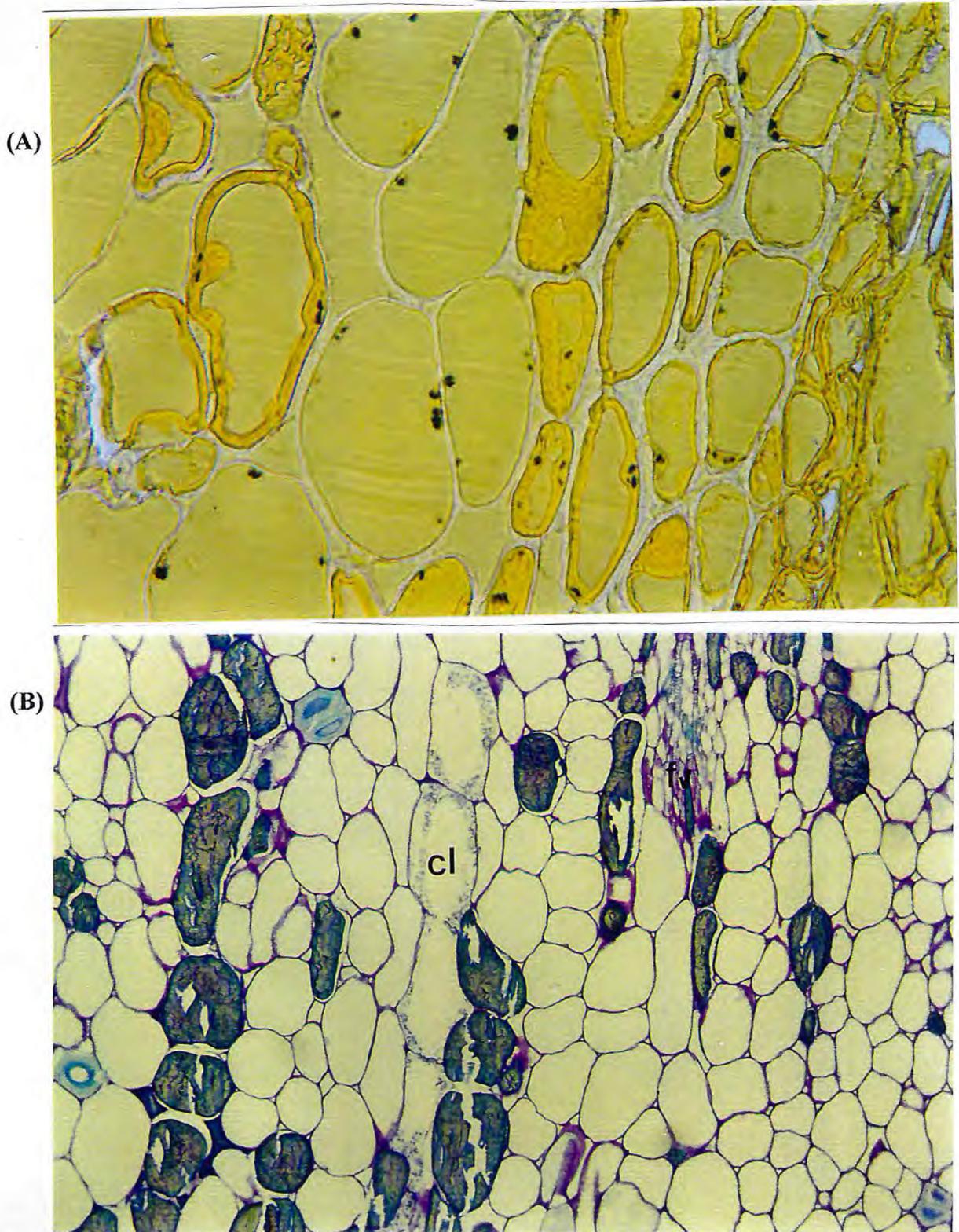


Figura 13. Análise microquímica para grânulos de amido (A) em sapotis colhidos no sexto mês de desenvolvimento, corados com lugol, 40x. (B) Canal laticífero (cl) em fruto colhido no quarto mês de desenvolvimento, corado com azul de toluidina, 10x.

fv- feixe vascular. Fortaleza, 2001.

Após o climatério do sapoti, os espaços intercelulares se tornaram mais evidentes como resultado da fraca coloração das lamelas médias (Figura 14A). Nas paredes celulares dos frutos pós-climatéricos, pode-se observar mais claramente os campos de pontuações primárias. As células do sapoti apresentam uma grande quantidade desses campos de pontuação o que resulta em manutenção de interação célula à célula e de certa integridade do tecido, mesmo quando os frutos já estão avançados quanto ao processo de amadurecimento.

Os campos de pontuação primária podem ser melhor visualizados quando ocorre a desestruturação da parede (Figuras 14A). Esses campos são regiões da parede que se encontram íntegras e por isso coram mais fortemente. As pontuações de células adjacentes são separadas por uma membrana constituída pela lamela média e pelas duas paredes primárias. A comunicação entre os protoplastos da células adjacentes se dá por meio de filamentos citoplasmáticos, chamados de plasmodesmas, que são estruturas responsáveis pela comunicação intercelular envolvidas com o transporte simplástico de nutrientes como açúcares, proteínas e sinalizadores de crescimento (Esau, 1998).

O arcabouço fibroso da parede celular do sapoti pode ser observado após o climatério (Figura 14B). Nesse estágio observa-se uma expansão da parede, provavelmente resultado da dissolução das substâncias pécticas aliada a quebra da ligações cruzadas entre os outros componentes da parede. A dissolução dos polissacarídeos pécticos pode ser observada na coloração específica por vermelho de rutênio, durante o desenvolvimento do fruto. Os frutos, no quarto mês, apresentaram paredes mais fortemente coradas (Figura 15A), enquanto aqueles no estágio de maturidade fisiológica apresentaram coloração mais fraca e difusa (Figura 15B).

Estudos mostraram que durante o amadurecimento de sapotis, com mesma origem dos utilizados neste trabalho, houve uma redução no conteúdo de pectina total a medida que o conteúdo de pectina solúvel aumentava. Esse mesmo estudo mostrou, que embora as enzimas PG e PME exibissem atividades, estas não variavam seguindo nenhum padrão específico (Miranda *et al*, 2001).

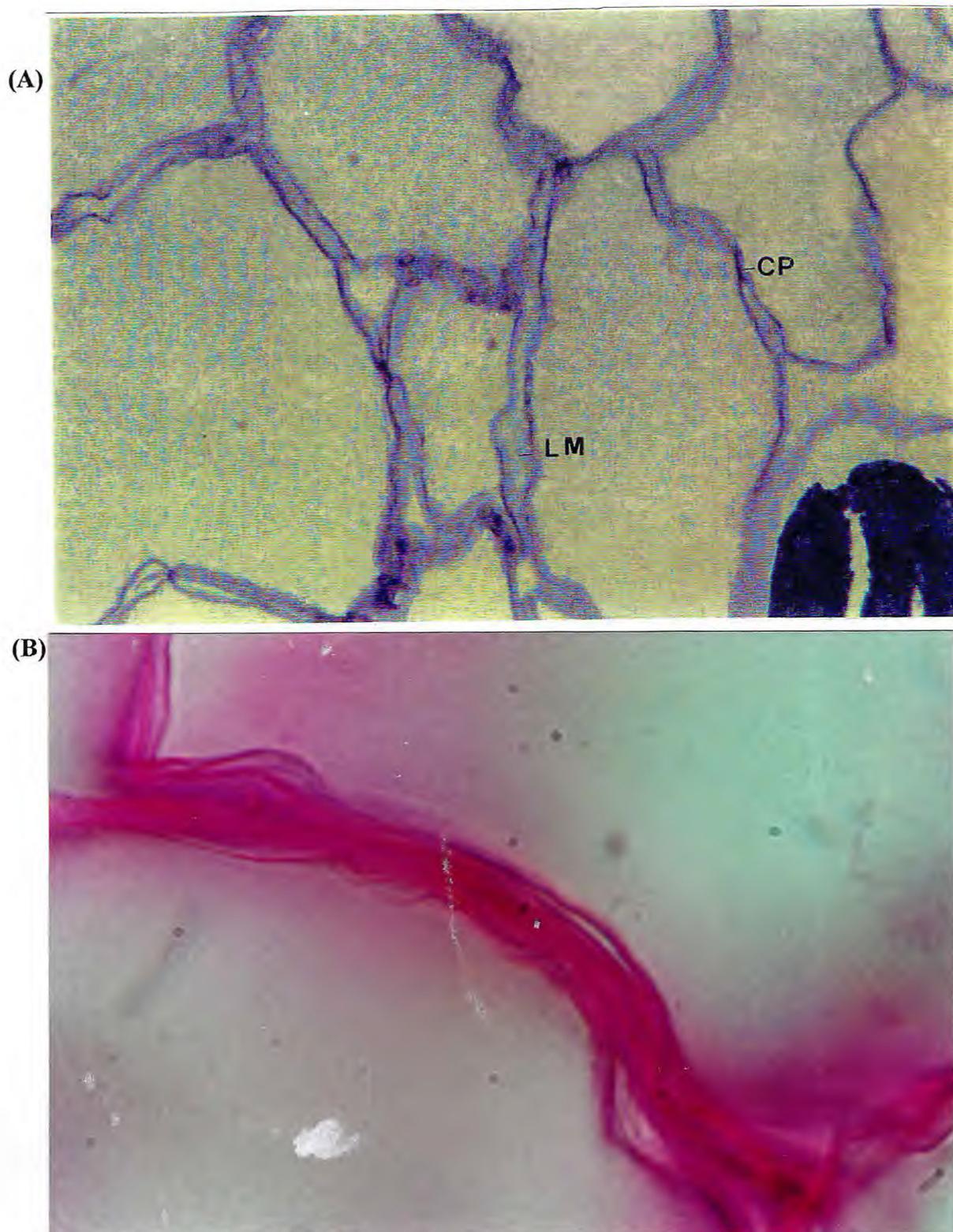


Figura 14. Paredes de células do mesocarpo do sapoti pós-climatérico coradas com azul de toluidina (A), 40x e coradas com vermelho de rutênio (B), 100x. lm- lamela média e cp- campos de pontuações primarias. Fortaleza, 2001.

A β -galactosidase é uma hidrolase que age em conjunto com as enzimas pectolíticas (PG e PME) para afrouxar a estrutura da parede celular (Konno, 1986). Sua ação consiste na quebra de ligações cruzadas do tipo 1,4 β -galactosídicas entre os polímeros pécicos e hemicelulose resultando em perda de resíduos de galactose da parede e na solubilização dos polímeros da parede (Bartley, 1974). A atividade da β -galactosidase aumentou conforme o avanço do amadurecimento do sapoti (Figura 10A e 10B do CAPÍTULO III), indicando que esta possivelmente tem um papel na desestruturação da parede celular.

Estudos anatômicos com kiwi mostraram com o amadurecimento esses frutos apresentavam expansão da parede com redução na coloração por azul de toluidina e vermelho de rutênio, e que a perda de resíduos de galactose ocorria independentemente, ou logo depois da solubilização das substâncias pécicas da parede celular. Esses resultados levaram a conclusão que, as enzimas hidrolíticas PG e β -galactosidase estavam envolvidas com a degradação dos polímeros pécicos e solúveis, mas não necessariamente com a solubilização da grande maioria dos polímeros da parede primária (Redgwell *et al.*, 1992).

Em pêras maduras, também foi observada uma expansão das paredes acompanhadas pela diminuição em coloração, embora houvesse pouquíssimos espaços intercelulares (Martin-Cabrejas *et al.*, 1994). Em tomate, a desintegração da parede ocorre principalmente na lamela média com pouca dissolução das regiões fibrosas das paredes (Crookes e Grierson, 1983). Maçãs *Calville de San Sauveur* se comportaram como os tomates, com maior dispersão do material da parede celular ocorrendo na lamela média (Ben-Arie e Kislev, 1979).

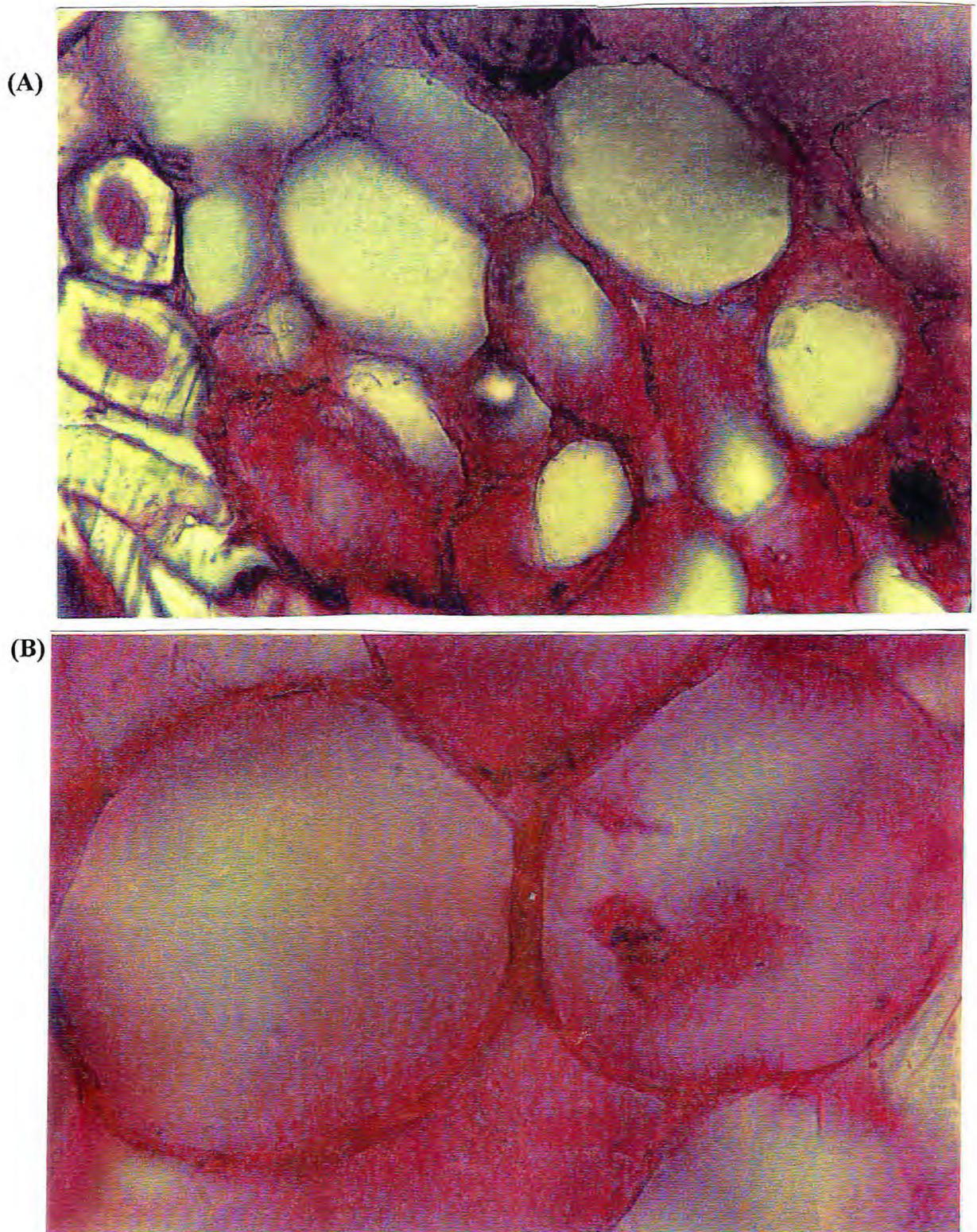


Figura 15. Parede celular de células do mesocarpo do sapoti ao quarto mês (A) e após o climatério (B), 40x, corado com vermelho de rutênio para pectina, 100x.

Fortaleza, 2001.

4. Conclusões

Os estudos sobre o desenvolvimento e maturação do sapoti, sob os aspectos fisiológicos, físicos, químicos e histológicos nos levaram as seguintes conclusões:

1. Os sapotis utilizados neste trabalho demoraram seis meses para alcançar a maturidade fisiológica. Nesse estágio, os frutos atingiram um peso médio máximo de 127,7 g e apresentaram um formato mais esférico. Esses frutos possuíam casca pouco granulosa e exsudavam pouquíssimo látex quando removidos da planta. Os frutos possuíam aproximadamente 20 % de açúcares solúveis totais e 4 % de amido. Esses resultados podem ser usados como índices de maturidade já que os frutos colhidos com essas condições amadureceram com boa qualidade.
2. Os frutos colhidos ao sexto mês de desenvolvimento amadureceram entre o 5 e 10º dia quando armazenados em condição ambiente (28°C e 60 ± 5 % U.R.), com um padrão climatérico de respiração. O pico de produção de etileno ocorreu ao sexto dia enquanto o pico respiratório, no oitavo dia.
3. Muitos dos frutos, após o climatérico respiratório, apresentavam sintomas de senescência como aroma alcoólico e murchamento, indicando que as principais alterações do amadurecimento ocorrem com o início do pico de etileno.
4. A alteração mais óbvia que ocorre na maturação do sapoti é a redução em firmeza, que ocorre após o climatérico respiratório e pode ser evidenciada ao nível microscópico.
5. A evidente desorganização estrutural do tecido do sapoti após o climatérico confirma os resultados obtidos com as análises físicas. A exsudação de látex nos frutos está diretamente associada a presença dos canais laticíferos, que são facilmente encontrados na polpa de frutos colhidos ao 4º mês e não são mais observados nos frutos colhidos ao 6º mês e pós-climatéricos.

5. Referências Bibliográficas

ABDUL-KARIM, M.N.B.; TARMIZI, S.A.; BAKAR, A.A. The physico-chemical changes in ciku (*Achras sapota*) of Jantung variety. **Pertanika**, v.10, n.3, p.277-282, 1987.

ALI, S.H; LIN, T.S.. Fruit development and maturation os sapodilla cv. Subang. **Proceedings International Conference on Tropical Fruits**. Kuala Lumpur, Malásia, v.1, p.397-402, 1996.

ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOURA, C.F.H. Sapoti. In: **Caracterização de frutas nativas da América Latina**. Série Frutas Nativas, ed. FUNEP, Jaboticabal, 2000, p.55-58.

ARAUJO-NETO, S.E. **Desenvolvimento, maturação e determinação do ponto de colheita do sapoti (*Manilkara achras*)**. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró-RN, 2000, 100p.

ARAUJO-NETO, S.E.; PRACA, E.F; CARVALHO, E.F.; ALVES, R.E; MENEZES, J.B.; MORAIS, E.A. Determinação do ponto de colheita e índices de maturação para sapoti (*Manilkara achras*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.1, p.45-49, 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 11.ed. Washington: AOAC, 1992. 1115p.

BAEZ, M.A; SILLER, J.H.; HEREDIA, J.B.; PORTILLO, T.; ARAIZA, E.; GARCIA, R.S.; MUY, M.D. Fisiologia poscosecha de frutos de chicozapote (*Achras zapota* L.) durante condiciones de mercadeo. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.41, p.209-214, 1997

BARTLEY, I.M. β Galactosidase in ripening apples. **Phytochemistry**, v.13, p.2107-2111, 1974.

BANZATTO, D.A; KRONKA, S.N. **Experimentação Agrícola**, Jaboticabal, FUNEP, 1992, 247p.

BEN-ARIE, R; KISLEV, N. Ultra-structural changes in the cell walls of ripening apple and pear fruit. **Plant Physiology**, v.64, p.197-202, 1979.

BIALE, J.B; YOUNG, R.E. Respiration and ripening in fruits- retrospect and prospect. In: FRIEND, R.: RHODES, J., 1981. p. 1-39.

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

CROOKES, P.R.; GRIERSON, D. Ultra-structure of tomato fruit ripening and the role of poligalacturonase isoenzymes in cell wall degradation. **Plant Physiology**, v.72, p 1088-1093, 1983.

DONADIO.L.C: DURIGAN, J.F. Evaluation of new fruit species in Sao Paulo, Brazil. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.39, p.162-165, 1995.

ESAU, K. **Anatomia de plantas com sementes**. Ed. Edgar Blucher, 1998, 201p.

FERREIRA, F.R; FERREIRA, S.AN; CARVALHO,J.E.U. Espécies frutíferas pouco exploradas com potencial econômico e social para o Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.8, p.11-22, 1998.

FRIEND, R.: RHODES, J. **Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables**. CRC Press, 1981, 246p.

GOLDSHIPS, J.L.; SWAPS, T. Changes in tannins in ripening fruits. **Phytochemistry**, v. 2, p. 371-384, 1963.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba, Nobel, 1987, 467p.

HALLET, I.C; HARKER, F.R. Microscopic investigations of fruit texture. **Acta Horticulturae**, v. 464, p. 411-416, 1996.

HEREDIA, J.B.; SILLER, J.H.; BAEZ, M.A; ARAIZA, E.; PORTILLO, T.; GARCIA, R.S.; MUY, M.D. Cambios en la calidad y el contenido de carbohidratos en frutas tropicales y subtropicales a nivel supermercadeo. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.41, p.104-109, 1997.

HUERTAS, G.G.C.; MORENO, N.G.N.; SAURI, D.E. Conservacion refrigerada de chicozapote con calentamiento intermitente. **Horticultura Mexicana**, v.7, n.1, p.258, 1999.

JOHN, M.A.; DEY, P.M. Postharvest changes in fruit cell wall. **Advances in Food Research**, v.30, p.139-181, 1986.

JONHANSEN, M.J. **Plant microtechnique**. Ed. McGraw-Hill, New York, 1940, 323p.

JUNQUEIRA, C.V. O uso de cortes finos de tecido na medicina e biologia - **Meios e Métodos**, v.66, p.167-171, 1990.

KARNOVSKY, D.A, A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolarity for use in electron microscopy. **Journal Cell Biology**, v.27, p.137-138, 1965.

KONNO, H; YAMASAKI, Y.; KATOH, K. Characteristics of β galactosidase purified from cell suspension cultures of carrots. **Physiologia plantarum**, v.68, p. 46-52, 1986.

LAKSHMINARAYNA, S. Sapodilla and prickly pear. In: NAGY e SHAW, 1980. p. 415-441.

LAKSHMINARAYANA, S.; MATHEW, A.G. Leucoanthocyanidins of sapota fruit. **Journal Food Science**, v.32, p.451-452, 1967.

LAKSHMINARAYANA, S.; MATHEW, A.G.; PARPIA, H.AB. Changes in polyphenols of sapota fruit (*Achras zapota* L.) during maturation. **Journal Science Food Agriculture**, v.20, p.651-653, 1969.

LAKSHMINARAYNA, S; MORENO-RIVERA, M.A. Proximate characteristics and composition of sapodilla fruits grown in Mexico. **Proceedings Florida State Horticulture Society**, v.92, p.303-305, 1979.

LAKSHMINARAYNA, S; SUBRAMANYAM, H. Physical, chemical and physiological changes in sapota fruit {*Achras sapota* (Sapotaceae)} during development and ripening. **Journal of Food Science and Technology**, v.3, p.151-153, 1966.

LATIFAH, M.N. Effect of exogenous ethylene in the ripening of ciku (*Achras sapota*). **Proceedings Interantional Conference on Tropical Fruits**. Kuala Lumpur, Malásia, v.1, p.367-376, 1996.

LEON, J. **Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales**. Ed. IICA, Costa Rica, 1968, 244-249p.

LIMA, D.P.; HOLANDA, L.F.; MAIA, G.A.; MARTINS, C.B. Caracterização física e avaliação de rendimento do fruto do sapotizeiro (*Achras sapota*). **Ciência Agronômica**, v.21, p.51-57, 1990.

MARTIN-CABREJAS, M.A.; WALDRON, K.W.; SELVEDRAN, R.R.; PARKER, M.L.; MOATS, G.K., Ripening-related changes in the cell wall of spanish pear (*Pyrus communis*). **Physiologia Plantarum**, v.91, p.671-679, 1994.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, v.31, p.426-428, 1959.

MIRANDA, M.R.A.; SILVA, F.S.; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; ARAUJO, N.C.C. Enzyme activity and pectin breakdown during storage of two types of sapodilla under modified atmosphere. **Horticultura Mexicana**, v.8, n.3, p.136, 2001.

MIRANDA, M.R.A.; SILVA, F.S.; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; ARAUJO, N.C.C. Armazenamento de dois tipos de sapoti sob condição de ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2000, no prelo.

MITRA, S.K. **Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits**. CAB International, New York, 1997, 500p.

MOURA, R.J.M.; BEZERRA, J.E.F; SILVA, M.A.; CAVALVANTE, A.T. Comportamento de matrizes de sapotizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.5, p.103-112, 1983.

NAGY, S.; SHAW, P.E. **Tropical and subtropical fruits composition, properties and use**. Avi Publishing company, Westport-CT, 1980. 500p.

PATHAK, S.; BHAT, J.V. Studies on the carbohydrate metabolism of *Achras zapota* L. Fruit. **Journal of the University of Bombay**, p.11-20, 1952.

PINTO, E.O.S.; CORREA, J.T.A.; MELO, F.I.O. Características físicas e morfológicas do fruto de sapoti *Manilkara achras*. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Fruticultura**, Curitiba-PR, p.385. 1996.

POPENOE, W. **Manual of tropical and subtropical fruits**. Ed. MacMillan and Co., New York, 1920.

POPENOE, W. **Importantes frutas tropicais**. Ed. União Panamericana, Departamento de Cooperação Agrícola, Washington D.C., 1989. p. 13-14

RAMADAN, L.; MENDOZA, M.; OSUNA, M.; PANZZA, C. Acumulacion de azucares, perdida de textura y contenido de solidos solubles totales en nispero (*Achras sapota*) variedad Conchudo. **Revista de la Facultad de Agronomia de la Universidade de Zulia**, Venezuela, v.6, n.2 , p.744-757, 1981.

REDGWELL, A.; HALLET, I.A; MACRAE, E.A; WEGRZYN, T.F. Changes in kiwi cell wall ultra-structure and cell packing in postharvest ripening. **Journal of plant Science**, v.153, n.1, p.49-60, 1992.

REICHER, F., SIERAKOWSKI, M.R., CORREA, J.B.C. Determinação espectrofotométrica de taninos pelo reativo fosfotúngstico-fosfomolibdico. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.24, n.4, p.407-411, 1981.

REITHEL, F.J.; VENKATARAMAN, R. Lactose in the Sapotaceae. **Science**, v.123, p.1083-1084, 1956.

RIENZO, J.A; AIAZZI, N.T.; ARGUELLO, J.A. Physiological maturity in seeds of *Atriplex cordobensis* correlation with visual indicators. **Seed Science Technology**, v.26, p.405-411, 1998.

ROY, S.K.; JOSHI, G.D., Sapota. In: MITRA, 1997, p. 387-395.

SALUNKHE, D.K.; DESAI, B.B. **Postharvest Biotechnology of Fruits**, v.II, 2^a ed. CRC Press Inc, New York, 1986, 147p.

SELVARAJ, Y.; PAL, D.K. Changes in the chemical composition and enzyme activity of two sapodilla (*Achras zapota*) cultivars during development and ripening. **Journal Horticultural Science**, v.59, n.2, p.275-281, 1984.

SHANMUGAVELU, R.G.; SRINIVASAN, C., Proximate composition of fruits of sapota cultivars (*Achras zapota* L.). **South Indian Horticulture**, v.21, n.3, p.107-108, 1973.

SIMÃO, S. **Manual de fruticultura**. Ed. Agronômica "CERES", São Paulo, 1971, p.500-508.

SUNDARARAJAN, S; MADHAVA-RAO, M.V.N. Studies on fruit development and quality in some varieties of sapota (*Achras sapota*). **South Indian Horticulture**, v.15, p.52-57, 1967.

THOMSON, W.W; PLATT-ALOIA, K.A. Ultrastructure of the epidermis of developing, ripening and senescing Navel oranges. **Hilgardia**, v.44, n.3, p.61-82, 1976.

TURNER D.W. Bananas and plantains. In: MITRA, 1997. p.47-84

YEMN, E.W., WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone, **The Biochemical Journal**, v.57, p.508-514, 1954.

CAPÍTULO III

DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO SAPOTI APÓS ARMAZENAMENTO REFRIGERADO SOB ATMOSFERA MODIFICADA.

RESUMO

Os sapotis foram armazenados por 21 dias a 5 e 12°C sob atmosfera modificada por filme de PVC. A cada 7 dias, os frutos eram analisados imediatamente e por nove dias com intervalos de 3 dias, após estarem em condições ambientes. As análises efetuadas foram perda de peso, firmeza, pH, ATT, SST, amido, AST, compostos fenólicos, vitamina C e atividade da enzima β -galactosidase. Os resultados mostraram que os frutos podem ser armazenados por até 14 dias a 5 e 12°C sob atmosfera modificada, com vida pós-armazenamento de até 6 dias. A vida útil pós-colheita de sapotis maduros de boa qualidade foi de 20 dias. O armazenamento sob refrigeração por 21 dias resultou em injúrias pelo frio nos frutos mantidos a 5°C e senescência naqueles a 12°C.

ABSTRACT

Sapodillas were stored for 21 days at 5 and 12°C under an atmosphere modified with PVC film. Every 7th day, fruits were removed from refrigerated and modified atmosphere storage and kept at ambient condition. These fruits were analyzed immediately and each 3rd day, for 9 days, after being at ambient condition. Fruits were analysed for weight loss, firmness, pH, TTA, TSS, starch, soluble sugars, phenolics, vitamin C and β -galactosidase activity. Results showed that fruits can be stored under modified atmosphere at 5 e 12°C for 14 days with an after storage life of 6 days. The postharvest life of good quality mature sapodilla totaled 20 days. Fruits kept for 21 days developed chilling injury symptoms, at 5°C and senescence symptoms, at 12°C storage temperatures.

1. Introdução

Os frutos após separados da planta-mãe continuam a passar pelos mesmos processos como respiração e transpiração, com a diferença que as perdas observadas não são mais supridas pela planta. Além das perdas metabólicas, os frutos podem também sofrer danos de origem mecânica ou fisiológica, assim como causados por doenças e pragas. Dessa forma, todos os cuidados tomados desde o momento da colheita, durante o armazenamento, transporte até a comercialização, são justificados para a obtenção de um produto de melhor qualidade e que pode ser armazenado até que as condições sejam mais favoráveis para comercialização.

O uso de refrigeração durante o armazenamento de frutos é muito eficiente em retardar o amadurecimento e a senescência, já que há uma redução na velocidade das reações metabólicas de forma geral. O abaixamento da temperatura de armazenamento resulta em diminuição da taxa respiratória, da perda de água por transpiração, assim como da atividade do hormônio indutor do amadurecimento, o etileno (Burdon, 1997).

Os sapotis são frutos tropicais que cada vez mais geram interesse por apresentar potencial para exportação. Nesse caso, a distância percorrida desde o local de cultivo até o de consumo é grande e o transporte é demorado, o que explica a necessidade de se definir as melhores condições de armazenamento do sapoti, para que possa alcançar mercados distantes com a melhor a qualidade possível.

O sapoti sob condição ambiente, geralmente, demora de 5 a 8 dias para amadurecer (Flores e Rivas, 1975; Lakshiminarayana, 1980). Quando sapotis da cultivar *Gotas de Miel* eram armazenados refrigerados a sua perda de peso era proporcional à temperatura e à duração do armazenamento (Vargas *et al.*, 1999). Huertas *et al.* (1999) observaram que frutos dessa variedade armazenados em temperaturas abaixo de 12°C têm sua vida útil estendida em até no máximo 18 dias, já que a exposição por tempo mais longo nessas temperaturas causa danos pelo frio. Os principais sintomas de danos pelo frio no sapoti são de irregularidade no amadurecimento e no amaciamento da polpa.

A modificação da atmosfera no ambiente de armazenamento de produtos agrícolas, com a redução na concentração de O₂ e aumento na de CO₂, resulta em

diminuição da taxa respiratória e prolongamento da vida útil desses produtos. A modificação da atmosfera ambiente é um recurso auxiliar que deve ser utilizado em conjunto com a refrigeração (Kader, 1986).

Experimentos de atmosfera modificada realizados com sapotis da variedade *Jantung*, mostraram que o armazenamento a 10°C de frutos maduros acondicionados em sacos de polietileno selados ou embalados a vácuo, prolongou a vida útil resultando em ótima qualidade. O uso de atmosfera modificada aliviou os sintomas de injúria por frio nos frutos armazenados a 10 °C, mas não naqueles armazenados a 5 °C (Mohamed *et al.*, 1996).

A necessidade de estabelecer as melhores práticas de manejo pós-colheita dos sapotis cultivados, foi fundamental para definição do objetivo desse trabalho que visou determinar a vida útil pós-colheita dos frutos armazenados a 5 e 12°C sob atmosfera modificada.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado no segundo semestre de 2001 com frutos colhidos no estágio de maturidade fisiológica e armazenados sob atmosfera modificada em duas temperaturas de refrigeração, com o objetivo de determinar a vida útil do sapoti nessas condições.

2.1 Condições de cultivo dos saptis.

As condições são as mesmas descritas no item 2.1 do CAPÍTULO II.

2.2 Colheita e manuseio dos frutos.

Os frutos provenientes da Estação Experimental do Vale do Curu da Embrapa Agroindústria Tropical, localizada em Paraipaba, CE, foram colhidos em setembro de 2001.

A colheita foi feita manualmente, no início da manhã, e os frutos foram acondicionados em caixas de colheita forradas com espuma de poliestireno e então, transportados para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, CE.

Os frutos foram colhidos no estágio de maturidade fisiológica, quando possuíam características indicativas de maturação como tamanho máximo com formato mais esférico e casca com menor granulosidade, conforme as conclusões apresentadas no final do CAPÍTULO II.

2.3 Instalação e condução dos experimentos.

Os frutos colhidos e transportados para o laboratório, foram dispostos em bandejas, cada uma contendo quatro frutos, e cobertos com filme de PVC (cloreto de polivinila), com espessura de 12 μ , que consistia na atmosfera modificada de armazenamento. As bandejas depois de prontas, eram postas em câmaras refrigeradas, reguladas para 5°C e 12°C com U.R. de 90 \pm 5 %. Os frutos

permaneceram refrigerados por 7, 14 e 21 dias. Em cada um desses períodos, os frutos foram retirados das câmaras e postos em condições ambientes de temperatura e atmosfera (28°C e $60 \pm 5\%$ U.R.), e analisados no mesmo dia e 3, 6 e 9 dias depois. Cada um desses períodos consistiu em um tratamento e para cada um houve três repetições (bandejas) de quatro frutos.

Três repetições de quatro frutos foram analisadas no dia da colheita, e as demais após cada período de tratamento, quanto a perda de peso fresco e firmeza e depois de processada e congelada a polpa, seguiram-se análises de pH, acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST), teores de amido e açúcares solúveis totais (AST), compostos fenólicos, vitamina C e atividade da enzima β -Galactosidase. Uma parte dos frutos foi avaliada para respiração e produção de etileno no mesmo dia em que foram colhidos.

2.4 Análises

As avaliações das características físicas de qualidade foram realizadas imediatamente após a chegada dos frutos no laboratório. As análises químicas foram realizadas após o descongelamento da polpa previamente processada. O processamento da polpa foi feito em um homogeneizador da marca Waring Blender e, para facilitar esse processo, se adicionou água destilada em quantidade equivalente ao peso do fruto, resultando em uma diluição 1:1, que foi considerada para efeito de cálculo dos resultados.

Os frutos armazenados por 21 dias foram submetidos somente às análises de perda de peso, firmeza, ATT e SST, pois apresentavam sintomas de injúrias pelo frio (aqueles a 5°C) e de senescência (aqueles a 12°C).

2.4.1 Físicas

Perda de peso

Uma balança semi-analítica modelo Mark 3100 foi usada na pesagem dos saptotis. Os frutos inteiros foram pesados individualmente durante todo o

experimento. A perda de peso foi expressa em porcentagem e relacionada com o peso médio dos frutos no dia da colheita.

Firmeza da polpa

Através de um penetrômetro digital computadorizado da marca Stable Micro Systems modelo TA.XT2i com sonda de 2 mm de ponta, se determinou a firmeza dos saptis ao longo de seu desenvolvimento. Foram feitas duas medições em regiões opostas ao longo da área mediana do fruto, as leituras foram expressas em Newton (N). Valores mais altos correspondem a frutos mais firmes.

2.4.2 Físico-químicas e químicas

Sólidos solúveis totais (SST)

Foram determinados por refratometria (AOAC, 1992), utilizando-se um refratômetro digital, modelo PR-100 Pallette da marca ATAGO, com compensação automática de temperatura. Os resultados foram expressos em °Brix (concentração de sacarose p/p), com valores variando de 0 a 45.

pH

Medido em potenciômetro digital Micronal B474.

Acidez total titulável (ATT)

A acidez total titulável foi determinada através de titulação com NaOH até pH 8,1, em um titulador potenciométrico automático Mettler DL12, expressando-se os resultados em porcentagem de ácido málico (Instituto Adolfo Lutz, 1985).

Açúcares solúveis totais

A determinação de açúcares solúveis totais nos sapotis seguiu a metodologia de Yemn e Willis (1954). A partir de 1g do homogenato de polpa, iniciou-se a extração com 50ml de álcool 80%. A amostra foi filtrada e alíquotas de 10ml do filtrado foram retiradas e diluídas para 100ml com água destilada. Os resultados foram expressos em porcentagem de açúcares solúveis totais na polpa.

Amido

Alíquotas de 5g de homogenato de polpa foram diluídas em 80ml de água destilada e centrifugadas por 10min a 3000rpm. Esse procedimento foi repetido mais duas vezes. O precipitado foi transferido para erlenmeyer com 150ml de água e 5ml de HCl. As amostras foram aquecidas por 2 horas sob refluxo, e a seguir resfriadas e neutralizadas com Na_2CO_3 20%. O volume foi completado para 250ml com água destilada e filtrado em papel (AOAC, 1992). O doseamento foi feito por meio do reagente DNS (Miller, 1959). Os resultados foram multiplicados por 0,90 para obtenção do conteúdo de amido em porcentagem.

Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos foram determinados em três extrações de acordo com a solubilidade. Amostras de 5g foram extraídas em 50ml de água destilada, 50ml de metanol 50% ou 50ml de metanol puro. As amostras extraídas em água foram postas em banho-maria por 15min a 60°C, enquanto as extraídas em metanol foram aquecidas por 15min a 100°C, sob refluxo. As amostras são posteriormente agitadas por 15min e filtradas à vácuo em papel de filtro. Os filtrados foram aquecidos para redução dos volumes até aproximadamente 5ml, e transferidos para um balão volumétrico de 50ml, completando-se o volume com água destilada.

Os compostos fenólicos foram doseados pelo reagente de Folin-Denis, segundo Reicher *et al.* (1981). Uma alíquota de 1ml foi retirada da amostra e adicionada a 2,5ml do reagente de Folin-Denis e a 5ml de Na_2CO_3 20%, em um

balão volumétrico de 50ml, cujo volume foi completado com água destilada. As amostras foram agitadas e deixadas em repouso por 30min, e as absorvâncias lidas em um espectrofotômetro a 720 nm.

Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi determinado por titulação direta com solução de Tillman (Strohecker e Henning, 1967). Amostra de 1ml do homogenato de polpa foi diluída para 50ml em ácido oxálico 0,5% e titulada com Solução de Tillman (2,6 diclorofenol indofenol-DFI) até o ponto de viragem. As amostras e os reagentes foram mantidos resfriados em banho de gelo e o resultado foi expresso em mg por 100g de polpa.

Atividade de β -galactosidase

A extração da enzima foi feita segundo Kitagama *et al.* (1995) com 10g de amostra diluídos em 20ml de tampão acetato de sódio 0,1M pH 5,0 contendo 1% de polivinilpirrolidona (PVP) e centrifugados a 15000rpm por 14min. O sobrenadante foi descartado, anotando-se seu volume. O precipitado foi lavado e centrifugado sob as mesmas condições anteriores por duas vezes com 20ml de tampão acetato de sódio 0,02M pH 5,0 com 2-mercaptoetanol 0,005M. O precipitado foi ressuspenso em tampão acetato de sódio 0,02M pH 5,0 com NaCl 3M e agitado por 12h. Após a agitação a amostra foi centrifugada a 10000rpm por 20min e dialisada por 24h. Todos esses procedimentos foram realizados a 4°C.

A determinação de atividade foi feita segundo Dey e Pridham (1969), tendo como substrato p-nitrofenil β -glicopiranosídeo. Os resultados foram expressos em unidade de atividade de β -galactosidase por minuto. Uma unidade de atividade é equivalente a quantidade de enzima capaz de aumentar a absorvância em 0,001 unidade a 400 nm.

2.4.3 Delineamento experimental e análises estatísticas.

O experimento foi desenvolvido em um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial para as características perda de peso, firmeza, AST, amido, compostos fenólicos, vitamina C, SST, ATT e atividade de β -galactosidase, tendo como fatores a temperatura e o tempo de armazenamento.

As análises foram divididas de modo que na primeira, os dados dos frutos, armazenados sob refrigeração por 7 dias e mantidos por 9 dias em condição ambiente, estavam em arranjo fatorial 2x5 [temperaturas (5 e 12°C) x tempos (0,7,10,13 e 16 dias)]. A segunda análise utilizou os resultados do armazenamento dos frutos por 14 dias e os resultados iniciais (0 e 7 dias) da 1ª análise e foi feita em arranjo 2x6 [temperaturas (5 e 12°C) x tempos (0,7,14,17,20 e 23 dias)]. Enquanto a terceira análise utilizou os resultados dos frutos armazenados por 21 dias e os resultados iniciais (0,7 e 14 dias) das 1ª e 2ª análises, arranjados 2x7 [temperaturas (5 e 12°C) x tempos (0,7,14,21,24,27 e 30 dias)]. As amostras foram divididas em 3 repetições cada uma representando uma unidade experimental composta por 4 frutos.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando constatada a significância pelo teste F, os tratamentos foram comparados através do teste Tukey ao nível de 5%, de probabilidade (Gomes, 1987).

As análises foram realizadas com auxílio do programa computacional SISVAR versão 3.01. Os resultados obtidos a partir da análise de variância, permitiram o desdobramento do tempo dentro de cada tratamento, quando houve interação entre fatores. Os resultados foram, então, submetidos a regressão polinomial, na qual foram consideradas equações até 3º grau de acordo com Banzatto e Kronka (1992). O coeficiente de determinação mínimo para utilização das curvas foi 0,70.

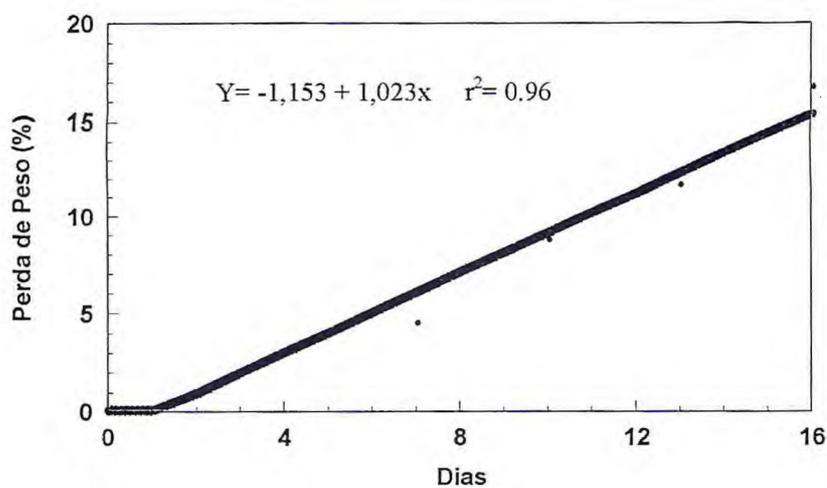
3. Resultados e Discussão

3.1 Perda de peso

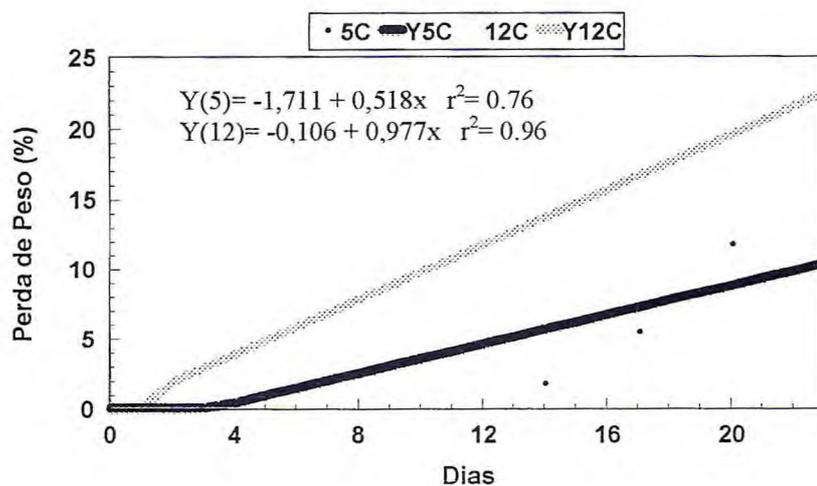
Os sapotis apresentaram perda de peso crescente relacionada positivamente com o tempo de armazenamento ($r^2 \geq 0,76$) (Figura 1 A a C). Os frutos mantidos por 7 dias (Figura 1A) a 5 e 12°C perderam peso de forma linear ($r^2=0,96$) independente da temperatura de armazenamento, chegando a 15% ao fim do experimento. Nos frutos mantidos sob refrigeração por 14 dias (Figura 1B), a perda de peso foi proporcional a temperatura armazenamento. Durante o armazenamento refrigerado, os frutos mantidos a 5°C perderam, em média, 5% e aqueles a 12° C perderam 12%, e após transferência para a temperatura ambiente as perdas foram 10 e 22%, respectivamente. Os frutos armazenados a frio por 21 dias (Figura 1C), não apresentaram relação entre perda de peso e temperatura de armazenamento. Ao final de 21 dias, tanto a 5 como a 12°C, os frutos haviam perdido em média 5% de peso, no entanto uma perda brusca foi observada quando foram transferidos para condições ambientes, chegando a 23% ao fim dos 30 dias. Os frutos armazenados por 21 dias a 5°C sob atmosfera modificada apresentavam sintomas aparentes de injúria pelo frio. O principal sintoma foi o amaciamento irregular, observando-se em um mesmo fruto porções macias e outras firmes.

O rápido aumento na perda de peso observado após a retirada dos frutos das câmaras refrigeradas e da condição de atmosfera modificada, pode ser resultado de desordens fisiológicas causadas por baixas temperaturas ou simplesmente resultado de um acelerado metabolismo devido a menor umidade relativa e a temperatura mais elevada do ambiente (28°C e 60 ± 5 % U.R.) levando ao aumento da respiração e transpiração. A transpiração é o principal fator de perda de peso e está associado a uma diferença de pressão de vapor d'água. Quanto maior é a diferença de pressão de vapor d'água ou umidade entre a superfície do fruto e a atmosfera circundante, maior será a transpiração e portanto maior será perda de peso (Chitarra e Chitarra, 1990).

(A)



(B)



(C)

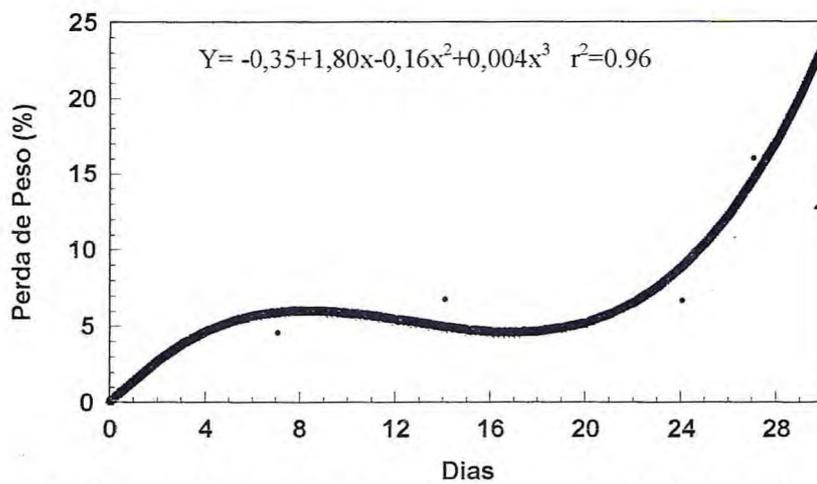


Figura 1. Perda de peso dos sapos armazenados por 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5 % U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5 % U.R.).Fortaleza, 2001.

O uso de atmosfera modificada reduz a velocidade da perda de peso por manutenção de um atmosfera com alta umidade dentro da embalagem. Experimentos anteriores realizados na Embrapa Agroindústria Tropical, mostraram que o uso de filmes para modificar atmosfera reduziu de 3 a 4 vezes a perda de peso do sapoti armazenado em condição ambiente (Miranda *et al.*, 2000). No experimento aqui descrito, os frutos, após a embalagem, foram armazenados sob refrigeração, de modo que quando fossem retirados da câmara fria e transferidos para o ambiente ocorreria a condensação da água dentro da embalagem, fato que poderia acarretar no desenvolvimento de fungos, por isso resolveu-se retirar os frutos da embalagem quando estivessem em condições ambientes.

Experimentos realizados por Mohamed *et al.* (1996) com sapotis da cultivar *Jantung* mostraram que dentre os vários métodos de modificar atmosfera, o uso de sacos de polietileno apresentou o melhor resultado com vida útil pós-colheita de até 4 semanas a 10°C. Esses autores concluíram que como a embalagem de polietileno era menos permeável a umidade, o resultado era um ambiente de alta umidade que reduziu a perda de peso do sapoti por transpiração, principalmente quando comparada à de PVC esticável. Os sintomas de injúria pelo frio foram aliviados pelo uso de atmosfera modificada em frutos refrigerados a 10°C, mas não a 5°C.

Um fruto da mesma família e com características fisiológicas semelhantes ao sapoti, a sapota ou mamey (*Pouteria sapota*), quando armazenado a 10°C e 75% U.R. por 14 dias também apresentou como sintoma de injúria pelo frio o amaciamento irregular da polpa. Esses frutos perderam 9,7 % de peso após 14 dias armazenados a 15°C e 75% U.R (Diaz-Perez *et al.*, 2000). Os mesmos autores sugeriram que o uso de atmosferas com umidade mais alta poderia reduzir a perda de peso por evaporação na sapota.

Vargas *et al.* (1999) mostraram que em frutos da cultivar *Gota de miel* a perda de peso dos frutos refrigerados era proporcional a temperatura de armazenamento. Após 15 dias armazenados, os frutos haviam perdido 7,3% do peso a 4°C e 8,54% a 16°C. Os frutos após 30 dias armazenados a 4°C e posterior amadurecimento perderam 23,7% de seu peso inicial, embora os mesmos autores tenham também observado que os sapotis armazenados por mais de 9 dias a 4°C

apresentavam um outro sintoma típico de injúria pelo frio, a incapacidade de amadurecer.

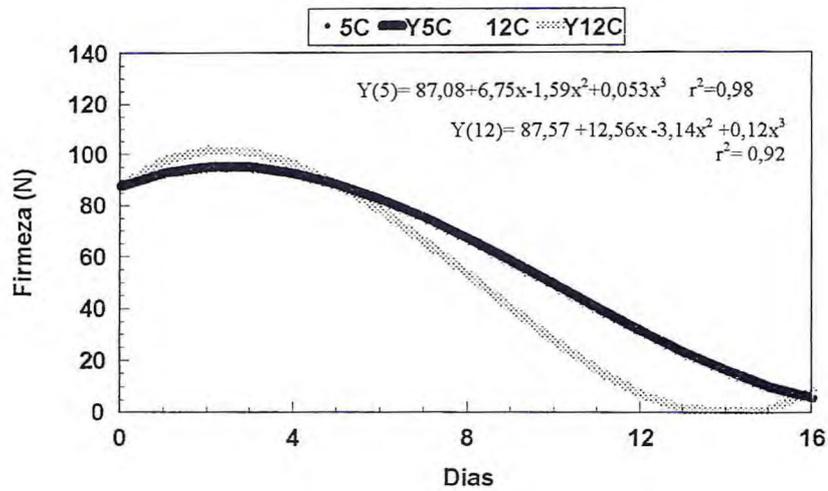
3.2 Firmeza

A firmeza avalia um conjunto de propriedades do alimento, composto por características físicas perceptíveis pelo tato e que se relacionam com a deformação, desintegração e fluxo de alimento sob aplicação de uma força (Chitarra e Chitarra, 1990).

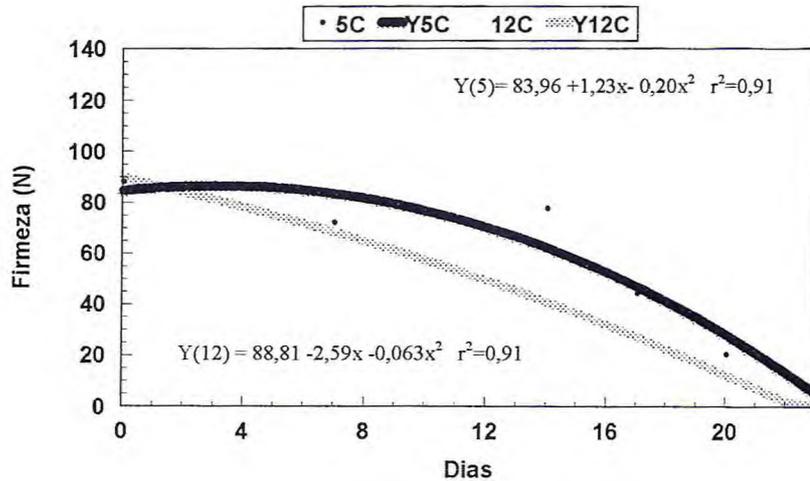
Alterações na firmeza, estão entre as características mais comuns do amadurecimento dos frutos. As diferenças em firmeza do sapoti armazenado sob atmosfera modificada puderam ser observadas pela redução de 87,3N até próximo de zero N, ao final do experimento. A firmeza se mostrou negativamente relacionada com o tempo e temperatura de armazenamento ($r^2 \geq 0,91$) (Figura 2 A a C). Os frutos após armazenados em refrigeração por 7 dias perderam pouco em firmeza (Figura 2A), tendo a alteração ocorrido após a transferência para condições ambientes, quando então os frutos armazenados a 12°C apresentaram uma perda mais rápida atingindo 5,6N ao sexto dia. Dentre os frutos refrigerados por 14 dias (Figura 2B), aqueles que estavam a 12°C apresentaram a maior redução em firmeza, atingindo 5,5N ao sexto dia em condição ambiente. Os frutos armazenados por 7 e 14 dias em refrigeração estavam maduros para consumo entre o terceiro e o sexto dias em condição ambiente.

Ao fim de 21 dias sob refrigeração (Figura 2C) os sapotis haviam perdido firmeza atingindo 18,5 e 18,8N nas temperaturas de 5 e 12°C, respectivamente. Os efeitos das duas temperaturas sobre o amaciamento do sapoti após esse período de armazenamento não foram muitos diferentes ou não apresentaram diferenças significativas. Os frutos armazenados nessas condições não estavam mais adequados para serem comercializados ou mesmo consumidos após esse período. No caso dos resultados observados neste trabalho, os frutos mantidos a 5°C apresentavam amaciamento irregular com algumas porções firmes e outras completamente macias, o que pode ser causado por injúria pelo frio.

(A)



(B)



(C)

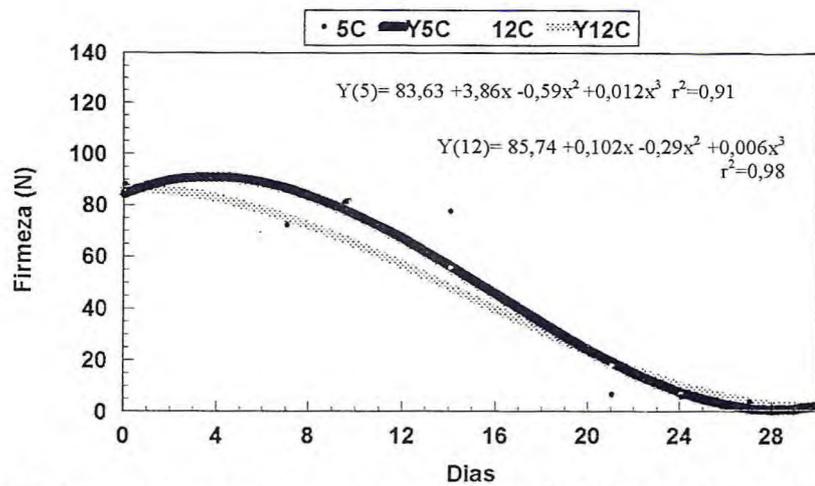


Figura 2. A firmeza dos sapotis armazenados por 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R.). Fortaleza, 2001.

Aqueles frutos armazenados a 12°C, se mostravam enrugados e exalando um forte aroma alcoólico indicando uma excessiva perda de água e fermentação, respectivamente, sinais claros de senescência.

Os frutos estavam em boas condições para consumo até 20 dias após a colheita. Os sapotis armazenados por 14 dias em ambas temperaturas, 5 e 12°C, amadureciam até 6 dias após transferidos para a temperatura ambiente. Esses resultados mostram um prolongamento significativo na vida pós-colheita do sapoti que é atualmente comercializado em supermercados, feiras e por ambulantes, principalmente nas praias da cidade de Fortaleza, CE. Na grande maioria das vezes, quase nenhum cuidado é empregado na conservação pós-colheita desses frutos, que ficam sujeitos a exposição direta ao sol e a altas temperaturas, sem mencionar danos mecânicos, implicando assim em uma redução de sua vida útil.

A firmeza dos frutos geralmente está associada com a integridade da parede celular e da lamela média, podendo ser afetada pela solubilização de protopectina insolúvel ou por hidrólise por glicosidases das conexões entre os diferentes componentes da parede, resultando em um afrouxamento desta (Batisse *et al.*, 1994). A desestruturação da parede celular e da lamela média assim como uma desorganização geral do tecido que ocorre durante a maturação do sapoti pode ser observada na Figura 11 e 12 do CAPÍTULO II deste trabalho.

Outro fator envolvido com a firmeza é a turgidez que depende do potencial hídrico, que por sua vez depende do potencial osmótico das células (Figuras 11 e 12 do CAPÍTULO II). A perda de peso devido à desidratação e à respiração, muito comum durante o armazenamento em condições de baixa umidade e/ou altas temperaturas, diminui a turgidez afetando a firmeza dos frutos. Comparando-se as Figuras 1 e 2 (A a C), observa-se que a maior perda em peso do sapoti corresponde geralmente à maior perda em firmeza, estando mais aparente nos frutos armazenados por 14 dias (Figuras 1B e 2B).

As baixas temperaturas e a modificação da atmosfera de armazenamento são as responsáveis pela manutenção da firmeza dos sapotis por mais tempo. O armazenamento em baixas temperaturas, dentro da faixa de segurança, e por um período de tempo adequado é capaz de retardar o amadurecimento e portanto a senescência sem maiores problemas. Durante o amadurecimento, geralmente, ocorre

a desintegração da estrutura da parede celular, quando as moléculas insolúveis de protopectinas são hidrolizadas pela enzima poligalacturonase (PG) em pectina solúvel, a qual é acrescentada ao “pool” de sólidos solúveis e usada como substrato na respiração. Quanto maior a temperatura de armazenamento maior é a taxa respiratória e portanto menor é a quantidade de pectina insolúvel (Biale Young, 1981).

Algumas anormalidades observadas no comportamento do sapoti foram aqui explicadas como sintomas de desordens fisiológicas causadas pelo frio. Essas desordens são comuns quando se armazena frutos tropicais em temperaturas abaixo de 10°C e os principais sintomas são lesões de superfície, rápida senescência, escurecimento e desintegração dos tecidos da polpa, incompetência para amadurecer, dentre outros (Morris, 1982). Muitos são os métodos empregados com o intuito de reduzir ou aliviar essas desordens como o armazenamento refrigerado com aquecimento intermitente e o uso de atmosferas modificadas. O uso de embalagens que permitem uma modificação na composição da atmosfera, reduz injúrias pelo frio por manter uma maior umidade relativa e alta concentração de CO₂ durante o armazenamento. A alta umidade relativa favorece a manutenção do status hídrico das células do fruto tornando-o menos susceptível aos danos por baixas temperaturas, enquanto a atmosfera rica em CO₂ reduz a taxa metabólica reduzindo, conseqüentemente o desenvolvimento das injúrias pelo frio (Wang, 1982).

Além de aliviar sintomas de injúrias pelo frio, o uso de atmosfera modificada exerce influência diretamente sobre a firmeza através da diminuição do metabolismo por baixas concentrações de O₂, inibição da síntese de etileno por altas concentrações de CO₂ e da manutenção do turgor celular. Altas concentrações de CO₂ também resultam em maior estabilidade da parede celular, porque reduzem um pouco o pH intracelular. A redução é suficiente para permitir um acúmulo de íons cálcio aumentando sua movimentação perto da região da parede e assim facilitando sua ligação com as substâncias pécticas formando pectato de cálcio, que é insolúvel. A redução do pH citosólico também permite que mais pontes de H⁺ sejam formadas entre as moléculas de pectinas, resultando em uma maior estabilização da parede e portanto manutenção da firmeza (Siriphanich, 1998).

Mohamed *et al.* (1996) observaram que em sapoti, a firmeza e o conteúdo de pectina insolúvel estavam correlacionados positivamente. Trabalhos anteriores realizados na Embrapa Agroindústria Tropical mostraram que sapotis, com a mesma origem dos utilizados nesse trabalho, apresentavam um decréscimo no conteúdo péctico total e um aumento das formas solúveis durante o amadurecimento, quando armazenados sob atmosfera modificada em temperatura ambiente, e que as enzimas PG e pectinametilesterase (PME) possuíam atividade durante o período de amaciamento da polpa (Miranda *et al.*, 2001). Resultados que mostram um aumento na atividade da enzima β galactosidase, coincidente com o período de maior redução em firmeza, serão discutidos adiante neste capítulo (Figura 9 A e B). Publicações anteriores mostraram que sapotis da variedade *Jantung* armazenados por 5 semanas sob atmosfera modificada a 5°C não foram capazes de amadurecer, como resultado de injúria pelo frio (Mohamed *et al.*, 1996). Esses autores justificaram a incapacidade desses frutos através da inibição da atividade da enzima PG.

A sapota (*Pouteria sapota*) apresenta várias semelhanças com o sapoti. O tempo necessário para que um fruto “de vez” amadureça é função da temperatura de armazenamento, de modo que frutos mantidos a 27 e 20°C após a colheita demoraram respectivamente, 4 e 6 dias para amadurecer. Quando armazenados por 14 dias a 10 e 15°C também apresentaram como sintomas de injúria pelo frio o amaciamento irregular, onde porções de um mesmo fruto apresentavam firmeza de quase 100 N e outras de 20 N (Diaz-Perez *et al.*, 2000).

3.3 Acidez total titulável

Após o armazenamento do sapoti houve uma redução da acidez total titulável expressa em porcentagem de ácido málico (Figura 3 A a C). Os frutos mantidos sob atmosfera modificada e refrigeração por 7 dias (Figura 3A) apresentaram alteração da ATT em função do tempo ($r^2=0,96$), mas não da temperatura de armazenamento. Esses frutos apresentaram inicialmente 0,13% de acidez a qual foi reduzida até o final do armazenamento para 0,09%.

Os frutos mantidos sob refrigeração e atmosfera modificada por 14 dias apresentaram declínio em acidez (Figura 3B) em função do tempo e da temperatura.

Naqueles mantidos a 12°C, a ATT foi reduzida linearmente ($r^2=0,92$), provavelmente devido à maior taxa metabólica permitida por essa temperatura.

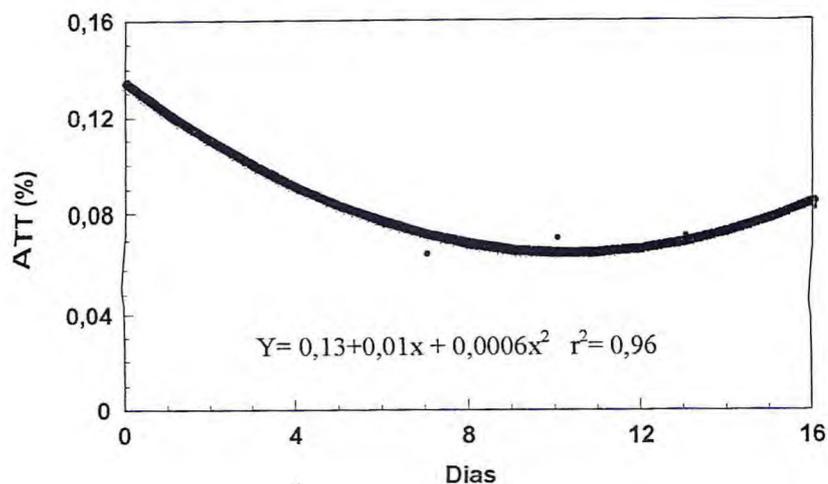
O armazenamento dos sapotis por 21 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (Figura 3C) também resultou em redução da acidez em função do tempo e da temperatura ($r^2=0,76$). Os frutos que estavam a 5°C decresceram em acidez total, logo no início mantendo-a constante até o final do armazenamento em ambiente. Já os frutos a 12°C decresceram em acidez durante todo o armazenamento.

Na maturação de frutos observa-se a redução no conteúdo desses compostos devido a sua utilização na respiração ou conversão em açúcares (Wills *et al.*, 1998). O uso dos ácidos orgânicos como substratos na respiração explica a sua redução durante o armazenamento do sapoti. A temperatura foi provavelmente a principal influência sobre o metabolismo desses ácidos, principalmente os primeiros 14 dias de armazenamento refrigerado, porque experimentos realizados com sapotis da mesma origem dos estudados aqui, mostraram que a redução de ATT não foi influenciada pela condição de atmosfera (com ou sem filme de PVC), após 12 dias em temperatura ambiente (Miranda *et al.*, 2000).

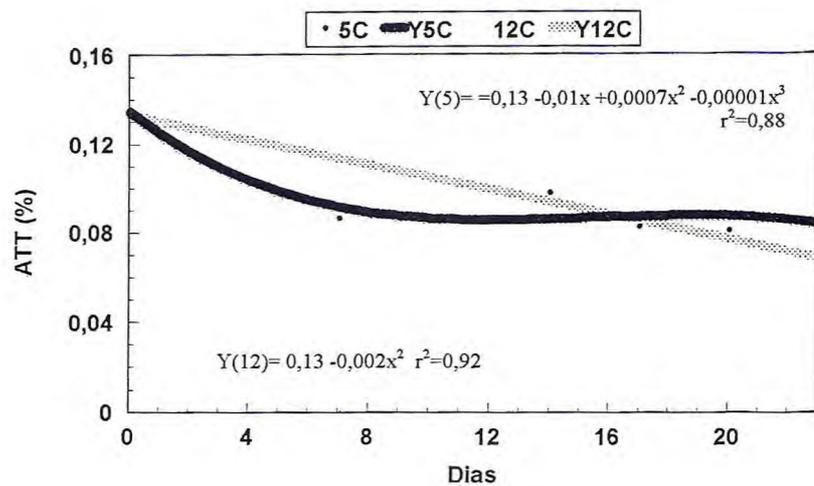
Baez *et al.* (1997) observaram, semelhantemente, uma tendência dos ácidos orgânicos em diminuir nos sapotis mantidos em ambiente após a colheita. Estudos mostraram que a acidez titulável de sapotis armazenados por 21 dias sob refrigeração com aquecimento intermitente (4° C e a cada 6 dias por 24 hs a 23° C) aumentava no início desse período para logo depois declinar durante o amadurecimento (Huertas *et al.*, 1999).

Os ácidos orgânicos não contribuem somente para acidez mas também para o aroma característico dos frutos, já que alguns são voláteis (Chitarra e Chitarra, 1990).

(A)



(B)



(C)

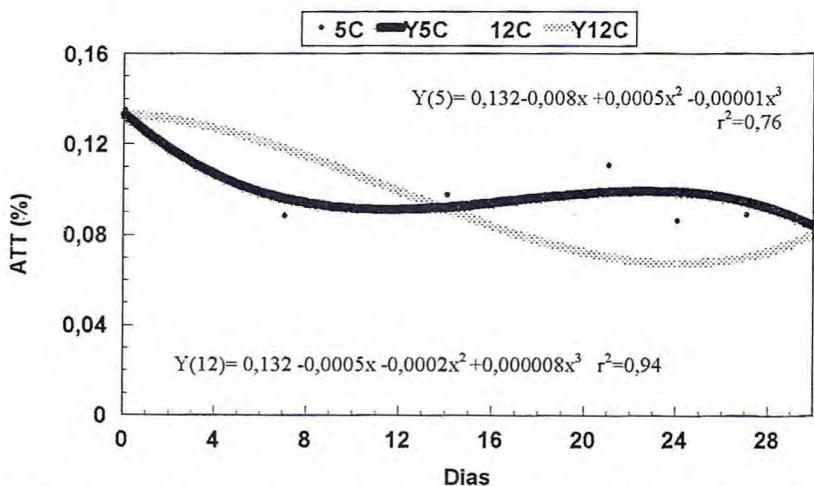


Figura 3. Acidez total titulável (ATT) dos sapotís armazenados por 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

3.4 Sólidos solúveis totais

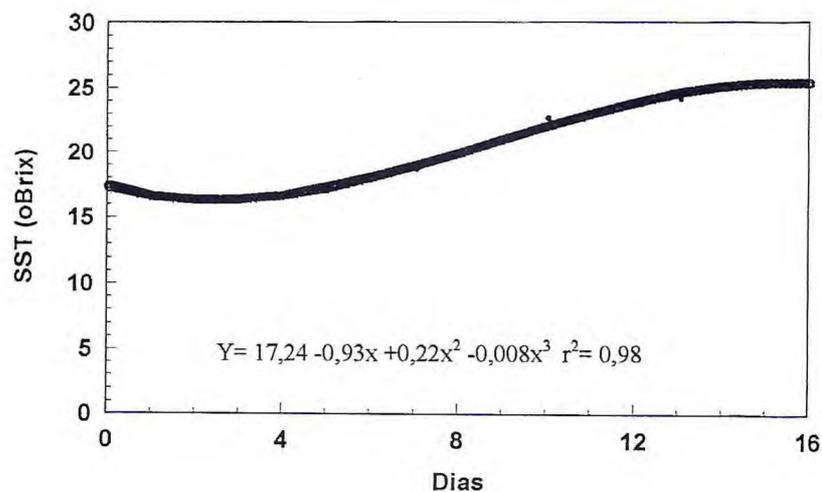
O teor de SST aumentou durante o armazenamento pós-colheita do sapoti (Figura 4 A a C). Nos dois períodos iniciais de armazenamento o conteúdo de SST aumentou conforme o tempo ($r^2 \geq 0,96$) (Figuras 4 A e B). Após 7 dias de armazenamento refrigerado (Figura 4A) ocorreu um aumento no teor de SST de 18,5 para 25,3 °Brix, quando os frutos foram postos em condições ambientes. Os frutos armazenados sob refrigeração e atmosfera modificada por 14 dias apresentaram um aumento linear ($r^2=0,96$) em SST durante todo o período (Figura 4B). O período de 21 dias sob atmosfera modificada e refrigeração resultou em comportamentos diferentes quanto ao acúmulo de SST com relação à temperatura e ao tempo de armazenamento (Figura 4C). Os frutos mantidos a 12°C apresentaram um aumento até 24,6 °Brix logo após serem transferidos para temperatura ambiente, enquanto aqueles a 5°C aumentaram durante o armazenamento se mantendo praticamente constante até o fim do experimento, com 23,8 °Brix.

Os frutos armazenados por 21 dias a 12 °C apresentavam sintomas de avançada maturação muito embora seus teores de SST não apresentassem diminuição ao contrário do que acreditava Huertas *et al* (1999), quando explicou que a diminuição no teor de SST é um indicativo de que estes estão sendo mais usados na respiração do que produzidos, sendo então um sinal de senescência.

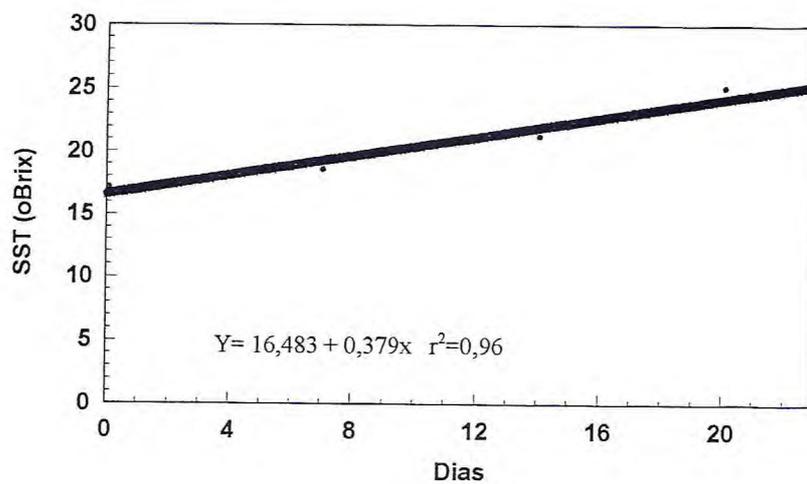
O aumento em açúcares solúveis totais (AST)(Figura 7 A e B) pode explicar o aumento no teor de SST observado no sapoti. Possivelmente, o armazenamento refrigerado afetou o metabolismo de carboidratos durante o amadurecimento do sapoti aqui estudado, de modo que as baixas temperaturas retardaram seu consumo e mantendo altos os níveis de SST e AST.

Trabalhos anteriores mostraram que sapotis, com a mesma origem dos utilizados nesse trabalho, apresentavam uma ligeira redução no teor de SST e AST, embora apresentassem concomitantemente um decréscimo no conteúdo péctico total e um aumento das formas solúveis, quando mantidos em temperatura ambiente por 12 dias independentemente da atmosfera de armazenamento (Miranda *et al.*, 2001; Miranda *et al.*, 2000).

(A)



(B)



(C)

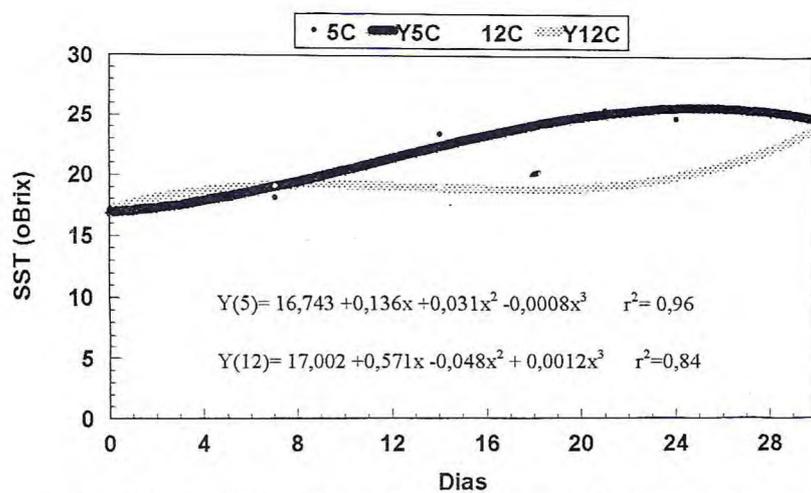


Figura 4. Teor de sólidos solúveis totais (SST) dos sapotis armazenados por 7 (A), 14 (B) e 21 (C) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

Durante o amadurecimento é comum um aumento no conteúdo de sólidos solúveis resultado da hidrólise dos polímeros da parede celular assim como de polissacarídeos de reserva, como o amido (Diaz-Perez *et al.*, 2000). Aumentos no teor SST durante o amadurecimento também foram observados em sapotis colhidos no estágio “de vez” e mantidos por 3 dias a 20 °C de 13,2 para 26 °Brix assim como em frutos armazenados a 2, 4, 8, 12 e 25 °C (Kirpal-Singh e Marthur, 1953; Baez *et al.*, 1997).

A relação entre o teor de SST e ATT é um indicador bastante útil de palatabilidade. Os açúcares correspondem geralmente de 65 a 85% dos sólidos solúveis totais e por meio da relação SST/ATT tem-se uma noção da influência da acidez sobre o dulçor no paladar. Os sapotis maduros após 7 e 14 dias de armazenamento refrigerado apresentaram relação SST/ATT em média de 275,02, sugerindo um sabor extremamente doce desses frutos. O teor de sólidos solúveis totais e a acidez total titulável são utilizados como importantes parâmetros de qualidade dos sapotis maduros, com valores médios de SST de 13 a 26% e acidez de 0,2 a 0,3% (Kader, 2001).

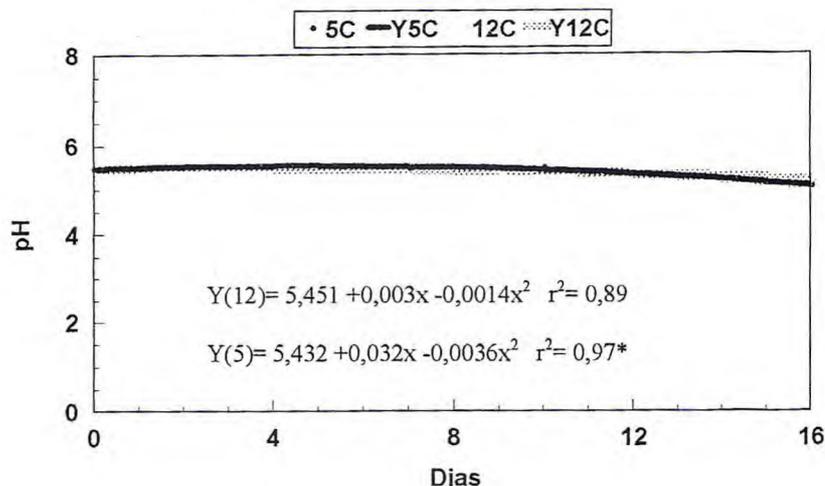
3.5 pH

O pH é muito usado como índice físico-químico de qualidade dos frutos e no sapoti variou muito pouco quando o fruto foi armazenado sob atmosfera modificada e refrigeração a 5 e 12°C (Figura 5 A e B). A variação de pH foi de 5,4 para $5 \pm 0,1$ unidade conforme o tempo e a temperatura ($r^2 \geq 0,89$).

A variação de pH no armazenamento do sapoti não foi tão evidente quanto a de ATT (Figura 3 A e B). A variação de ATT não está diretamente relacionada ao pH, porque este último depende tanto da concentração de íons H^+ livres como da capacidade tamponante do suco ou polpa.

O sapoti aparentemente não sofreu, quanto ao pH, influências significativas da modificação da atmosfera por filme de PVC. O uso de atmosferas modificadas podem causar um ligeiro decréscimo de pH devido ao aumento de CO_2 e podem até estimular a fermentação quando os níveis de O_2 são muito baixos (Siriphanich, 1998).

(A)



(B)

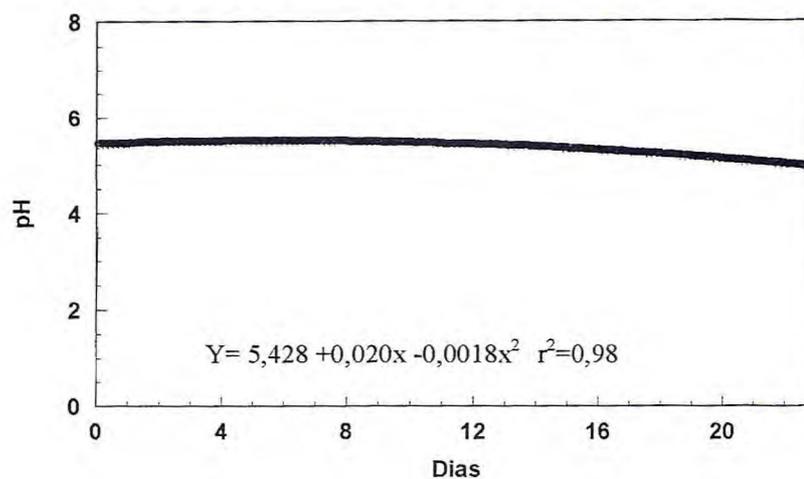


Figura 5. pH dos sapotis armazenados por 7 (A) e 14 (B) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

O pH decresce em geral após o amadurecimento devido a fermentação de açúcares que ocorre na senescência, resultando no sabor azedo e nos odores alcóolicos característicos da senescência. Frutos da cultivar *Jantung* aumentaram em pH durante o armazenamento refrigerado sob atmosfera modificada até o amadurecimento e depois declinaram, estando correlacionado com a temperatura de armazenamento (Mohamed *et al*, 1996). Os experimentos realizados por Flores e Rivas (1975) mostraram um decréscimo do pH do suco de sapoti ao longo de 25 dias de armazenamento.

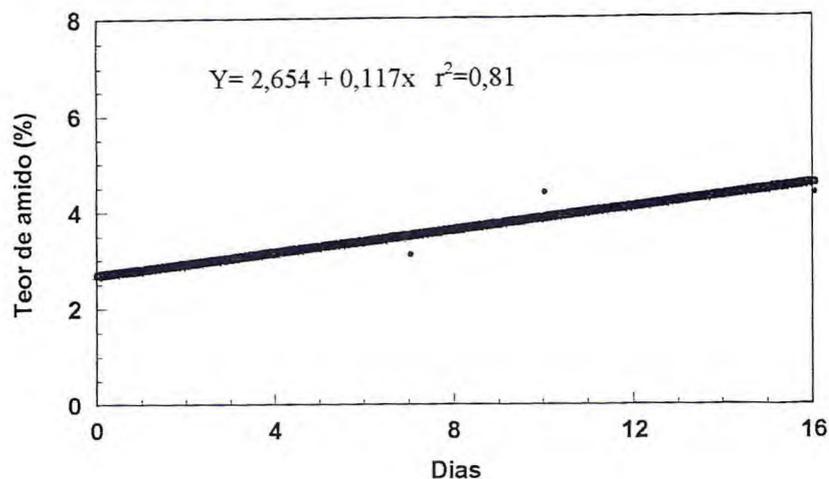
3.6 Amido

O sapoti apresenta um comportamento pouco usual com relação ao conteúdo de amido, durante sua maturação. O conteúdo de amido está correlacionado positivamente de forma linear ($r^2 \geq 0,81$) com o tempo para os dois experimentos (Figura 6 A e B). Após uma semana sob atmosfera modificada e refrigeração e nove dias em condição ambiente os frutos aumentaram para pouco mais de 4% em conteúdo de amido (Figura 6A). Já os frutos que ficaram refrigerados por duas semanas apresentaram um acúmulo final de amido pouco maior que 3,5% (Figura 6B).

O sapoti aqui estudado, mostra um aumento no conteúdo de açúcares solúveis (Figura 7 A e B) que ocorre independente da hidrólise do amido. No entanto esse não é o comportamento usual do frutos, nos quais o amido acumulado ao longo do desenvolvimento é hidrolisado em açúcares simples, durante o amadurecimento dos frutos após o desligamento da planta. Esses açúcares são utilizados como substratos na respiração, fornecendo ATP e permitindo a continuidade do metabolismo celular (Chitarra e Chitarra, 1990; Wills *et al.*, 1998). No caso do sapoti, outras podem ser as fontes desses açúcares como látex ou polímeros da parede celular. Lakshminarayana (1980) acreditava que no sapoti, os açúcares solúveis eram também provenientes dos polímeros da parede hidrolisados durante o amadurecimento.

O aumento no conteúdo de amido observado durante o armazenamento não deve ser resultado de nenhuma desordem fisiológica já que esses resultados concordam com aqueles apresentados no CAPÍTULO II (Figura 7), onde os sapotis decresciam em conteúdo de amido até o sexto mês de desenvolvimento, quando eram colhidos e depois apresentavam um pequeno aumento durante o amadurecimento, quando mantidos em condição ambiente. Uma das explicações para esse aumento seria a perda de peso em água, que favoreceria um aumento relativo em teor de amido. O sapoti perde 15% de peso após o armazenamento por 16 dias, dos quais 7 sob refrigeração e atmosfera modificada e 22%, após 23 dias, dos quais 14 sob refrigeração e atmosfera modificada (Figura 1 A e B).

(A)



(B)

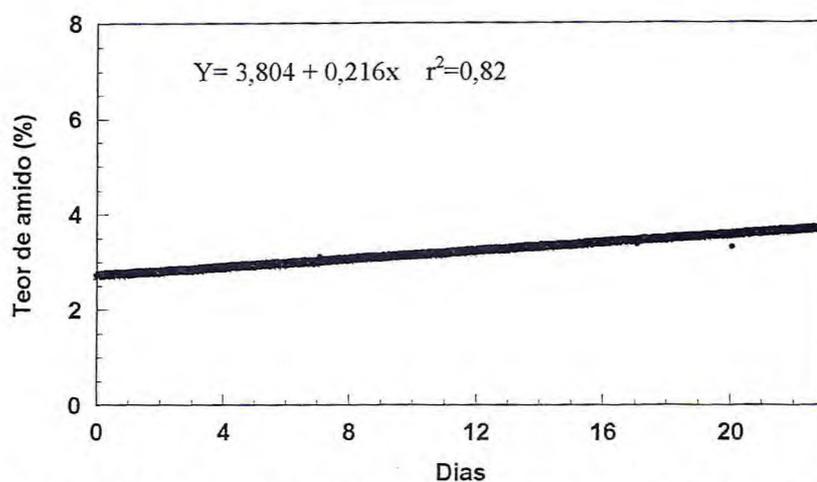


Figura 6. Teor de amido dos sapotis armazenados por 7 (A) e 14 (B) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

Estudos anteriores com frutos da mesma origem dos utilizados aqui, mostraram que após 12 dias em temperatura ambiente, os sapotis não variavam no conteúdo de amido quando haviam perdido apenas 2% de peso (Miranda *et al.*, 2000).

Estudos com frutos da cultivar *Subang* mostraram que o comportamento do sapoti com relação ao conteúdo de amido diferia conforme o estágio de colheita. Os frutos colhidos aos 6,5 meses de desenvolvimento decresciam em teor de amido ao longo do amadurecimento, enquanto aqueles colhidos após 7,5 meses permaneciam constantes ou aumentavam (Ali e Lin, 1996). Os mesmos autores afirmaram que os

frutos colhidos a partir dos 7,5 até os 8,5 meses apresentavam as melhores características de qualidade.

Altos teores de amido foram encontrados em sapotis maduros, variando entre 2,9 e 6,4% (Alves *et al.*, 2000; Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979).

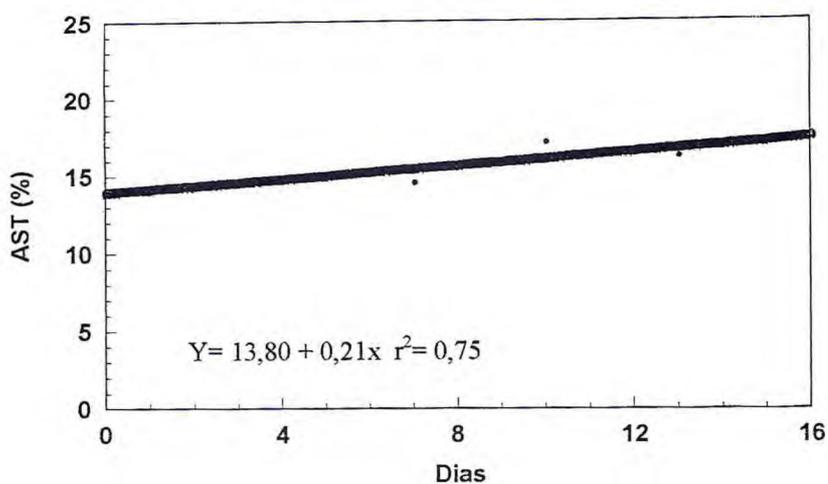
3.7 Açúcares solúveis totais

O grau de doçura dos frutos é proporcional ao seu teor de açúcares solúveis. O conteúdo de açúcares solúveis totais (AST) do sapoti aumentou durante todo o período do experimento ($r^2=0,75$) (Figura 7 A e B). Os frutos armazenados por 7 dias sob refrigeração e atmosfera modificada e depois expostos ao ambiente por 9 dias aumentaram linearmente em função do tempo, atingindo quase 18% de AST (Figura 7A). Já os frutos refrigerados por 14 dias não apresentaram variações significativas durante o armazenamento, mas somente quando foram expostos a condição ambiente acumularam açúcares solúveis, atingindo 18,5% (Figura 7B).

Esse acúmulo de AST durante o armazenamento não concorda com os resultados observados no CAPÍTULO II (Figura 8) onde os frutos colhidos ao sexto mês e armazenados em condição ambiente (28°C e 60 % U.R) declinavam no conteúdo de AST após a colheita. Nem com os resultados apresentados por Miranda *et al.* (2000) com frutos de mesma origem, onde o armazenamento, com ou sem modificação de atmosfera por filme de PVC, em temperatura ambiente por 12 dias resultava em um decréscimo no conteúdo de AST. Isso indica que o metabolismo de carboidratos foi afetado pelas baixas temperaturas de armazenamento.

Alguns dos sintomas de desordem pelo frio são a incapacidade dos frutos em amadurecer seguindo um padrão predeterminado após serem postos em condição favorável ao amadurecimento e as alterações atípicas que ocorrem em sua composição (Morris, 1982). O aumento nos conteúdos de açúcares solúveis e redutores como resposta à injúria pelo frio, já foi documentado (Wang, 1982). A manutenção de um alto conteúdo de AST em frutos expostos a baixas temperaturas pode ser um mecanismo de alívio das injúrias pelo frio.

(A)



(B)

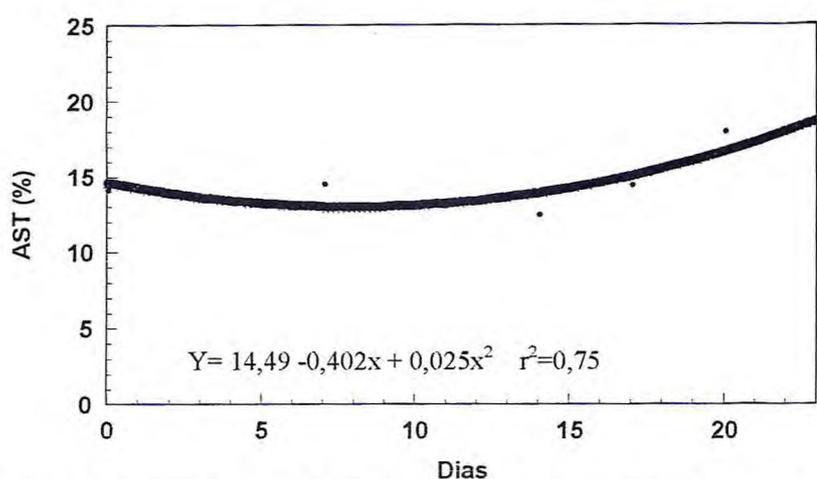


Figura 7. Teor de açúcares solúveis totais dos sapotis armazenados por 7 (A) e 14 (B) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

Os carboidratos contribuem para o potencial osmótico, aumentando o potencial hídrico das células e diminuindo a perda de água dos tecidos além de estabilizar membranas celulares e enzimas e por último, mas não menos importante, os carboidratos servem como fonte de energia (Purvis, 1990).

Os mecanismos de acúmulo de AST podem ser a conversão de ácidos orgânicos em açúcares ou hidrólise dos polímeros da parede celular (Tucker, 1993). O conteúdo de hemicelulose e pectina insolúvel decrescem com o amadurecimento do sapoti, devido a sua hidrólise em oligossacarídeos que são utilizados no metabolismo de carboidratos, no sapoti. Com o avanço da maturação a sacarose é

convertida em glicose e frutose (Lakshminarayana, 1980). No sapoti, os açúcares solúveis mais abundantes durante todo o desenvolvimento são sacarose, glicose e frutose, no entanto nos frutos maduros encontram-se também maltose, lactose e galactose (Pathak e Bhat, 1952).

Os frutos da cultivar *Jantung* armazenados a 5°C aumentavam em conteúdo de AST durante o armazenamento com ou sem modificação de atmosfera, diferentemente daqueles armazenados em temperaturas mais altas, onde o conteúdo de AST declinava ou se mantinha constante. O teor de SST, também, estava correlacionado com conteúdo de AST nesses frutos. (Mohamed *et al.*, 1996).

3.8 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são responsáveis pela adstringência sentida nos sapotis imaturos. Com o amadurecimento, de modo geral, observa-se uma mudança no conteúdo e no grau de polimerização desses compostos (Lakshminarayana e Subramanyam, 1966).

As alterações no conteúdo de compostos fenólicos nos sapotis armazenados sob refrigeração a 5 e 12°C e atmosfera modificada por 7 e 14 dias podem ser observadas na Figura 8 (A e B). Os compostos fenólicos foram estudados conforme sua solubilidade; em água, em metanol 50% e em metanol puro.

Os frutos armazenados por 7 dias (Figura 8A) apresentaram um rápido decréscimo no conteúdo de todas as três frações de fenólicos, atingindo níveis perto de zero ao 3º dia em condição ambiente ($r^2 \geq 0,94$). A concentração da fração solúvel em metanol 50 % foi a mais alta durante o experimento. Nos frutos armazenados por 14 dias observou-se um decréscimo bem mais lento no teor de fenólicos (Figura 8B). Dentre os quais, a fração solúvel em água apresentou um decréscimo linear ($r^2 \geq 0,81$) em função do tempo.

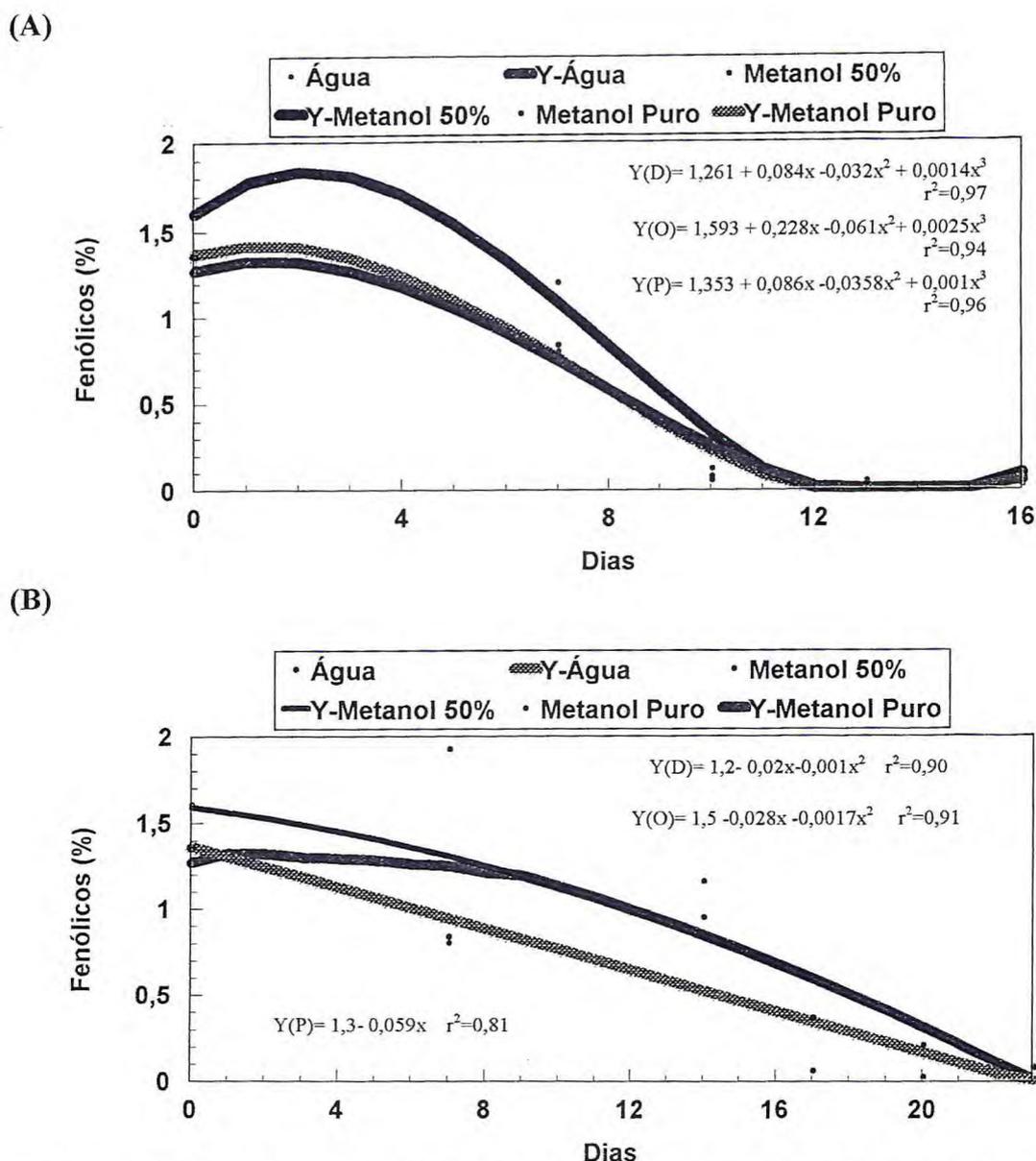


Figura 8. Conteúdo de compostos fenólicos dos sapotitis armazenados por 7 (A) e 14 (B) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

Esses resultados diferem daqueles apresentados no CAPÍTULO II (Figura 10) deste trabalho, em que os compostos fenólicos não variaram tanto em concentração mas principalmente em solubilidade, indicando uma predominância de formas poliméricas, após o amadurecimento dos frutos. Essa diferença pode ser consequência do armazenamento refrigerado sob atmosfera modificada que teria afetado o metabolismo dos fenólicos.

Alguns compostos fenólicos tem capacidade, conhecida como tanante, de se ligar com proteínas. Esses compostos também se ligam a moléculas solúveis de pectina reduzindo assim seu conteúdo e adstringência (Taira *et al*, 1997). Essa capacidade isolada não explica a redução no teor de fenólicos observada aqui, por que a solubilização de pectina também ocorreu com os frutos amadurecidos em condição ambiente (28°C e 60% U.R.) estudados no CAPÍTULO II e os resultados não mostraram uma redução no conteúdo de fenólicos naqueles frutos.

No caso dos sapotis armazenados sob refrigeração e atmosfera modificada, pode ter ocorrido, também, a produção de acetaldeído resultado da atmosfera rica em CO₂, por bloqueio da glicólise, ou de injúria pelo frio. Sabe-se que o acetaldeído, mesmo em quantidades muito pequenas, é capaz de induzir a polimerização de fenólicos (Wang, 1982; Kays, 1991; Taira *et al*, 1997). De modo que a indução à polimerização pelo acetaldeído formado durante o armazenamento seguido pela complexação com os componentes solúveis da parede celular resultariam no decréscimo dos compostos fenólicos.

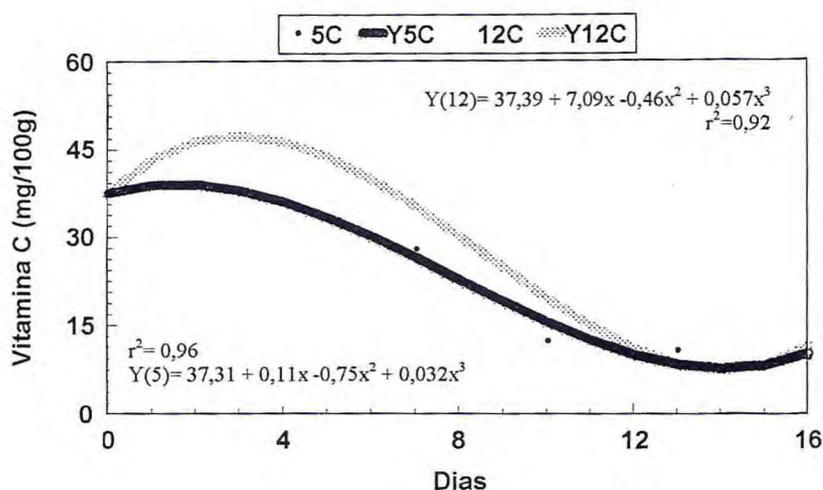
Mohamed *et al.* (1996) observaram que o conteúdo total de taninos da cultivar *Jantung* diminuía em função da temperatura e da atmosfera de armazenamento.

3.9 Ácido ascórbico

O ácido ascórbico ou vitamina C é um importante fator nutricional e que durante o armazenamento de sapoti sob refrigeração e atmosfera modificada diminuiu em função do tempo e da temperatura (Figura 9 A e B). O teor inicial de vitamina C foi 37,19 mg/100g.

Após armazenados por 7 dias e transferidos para condição ambiente, os frutos amadureceram entre o 3º e 6º dia quando o teor de vitamina C caiu para 10,45 e 12,33 mg/100g quando mantidos a 5 e 12°C, respectivamente. Os frutos armazenados por 14 dias retiveram os teores de vitamina C por relativamente mais tempo após transferidos para condição ambiente. Esses frutos amadureceram entre o 3º e 6º dia o que representou o 17º e 20º dia após a colheita, com teores de vitamina C de 11,31 e 12,53 mg/100g nas temperaturas de 5 e 12°C, respectivamente.

(A)



(B)

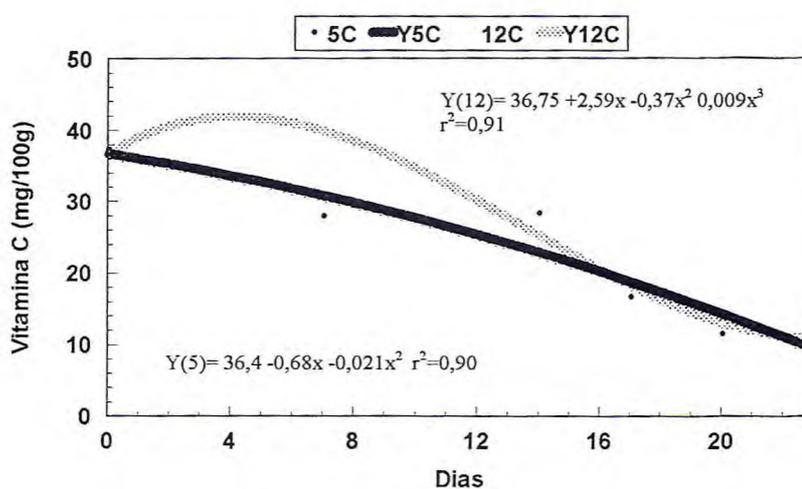


Figura 9. Teor de vitamina C dos sapotis armazenados por 7 (A) e 14 (B) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 09 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

O ácido ascórbico é uma vitamina hidrossolúvel importante na dieta de humanos e sua deficiência dá origem a uma doença caracterizada por hemorragias subcutâneas, o escorbuto. Essa vitamina é um cofator na reação de hidroxilação do aminoácido prolina em hidroxiprolina e além disso o ácido ascórbico é um bom agente redutor.

As frutas e hortaliças são excelentes fontes de vitamina C, principalmente quando consumidos frescos. Durante a cocção de alimentos a vitamina pode ser perdida por lixiviação em água ou por oxidação e de forma geral o conteúdo de

vitamina C decresce com o amadurecimento dos frutos devido a ação da enzima ácido ascórbico oxidase, estando positivamente correlacionado com a temperatura e o tempo de armazenamento (Butt, 1980; Conn e Stumpf, 1986; Kays, 1991).

Os sapotis em geral são reconhecidamente pobres em vitamina C, muito embora haja uma grande variação entre os frutos. Estudos com frutos maduros de 11 *cultivares mexicanas revelaram* que os teores de vitamina C variavam entre 8,9 e 41,4 mg/100g (Lakshminarayana e Moreno-Rivera, 1979). Com os frutos das cultivares *Cricket ball* e *Oblong*, o teor de vitamina C decresce de 10 e 5 mg/100g na colheita para 8 e 4 mg/100g quando maduros, respectivamente (Selvaraj e Pal, 1984). O armazenamento refrigerado desacelera o metabolismo e portanto reduz a degradação da vitamina C, de modo que frutos *Jantung* armazenados a 5, 10 e 15°C por até 5 semanas decresceram em vitamina de forma linear em função da temperatura e do tempo ($r^2 \geq 0,95$) (Mohamed *et al*, 1996). O tratamento de frutos da variedade *Subang* com etileno exógeno fizeram com que os frutos amadurecessem com valores mais altos de vitamina C, de 17,43 mg/100g quando colhidos aos 8 meses para 18,38 mg/100g (Ali e Lin, 1996).

3.10 Atividade da β -Galactosidase

A β -galactosidase é uma das enzimas envolvidas na quebra das ligações entre os componentes da parede celular. Sua atividade aumentou conforme avançava o amadurecimento do sapoti (Figura 10 A e B). Os frutos armazenados por 7 dias sob refrigeração e atmosfera modificada apresentaram um aumento na atividade dessa enzima somente em função do tempo após serem postos em condição ambiente ($r^2=0,87$) (Figura 10A). Já os frutos armazenados por 14 dias nas mesmas condições apresentaram aumento em atividade dependente tanto do tempo como da temperatura de armazenamento (Figura 10B). Nos frutos armazenados por 14 dias a 12°C a atividade de β -galactosidase aumenta ainda durante a refrigeração, atingindo 233,34 UA/g/min ao 6º dia após transferência para temperatura ambiente. Nos frutos mantidos a 5°C a atividade de β -galactosidase aumentou após o armazenamento, atingindo 180,15 UA/g/min ao 9º dia de exposição em condição ambiente.

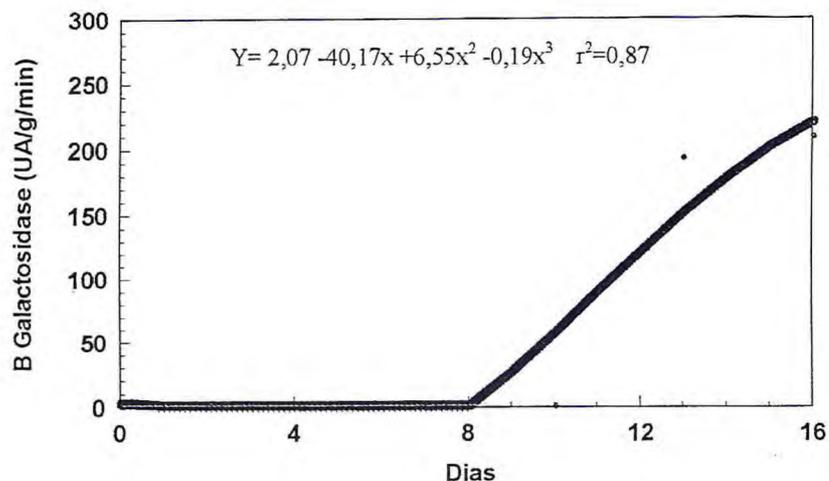
Esses resultados associados aos observados sobre a firmeza dos sapotis (Figura 2 A a C) levam a crer que a β -galactosidase é uma das enzimas envolvidas com a perda da integridade estrutural celular no amadurecimento do sapoti. A hidrólise da parede celular e da lamela média estão fortemente associados a redução em firmeza tão característica do amadurecimento.

A parede celular tem duas fases, uma microfibrilar composta por celulose e por proteínas e a outra, uma matriz composta por polissacarídeos não celulósicos (pectinas e hemicelulose) que envolve a primeira. As moléculas de hemicelulose se ligam por pontes de H^+ às fibras de celulose. Os polissacarídeos pécticos preenchem a matriz como um gel, onde se ligam covalentemente às extremidades redutoras das cadeias de hemicelulose e à glicoproteína rica em hidroxiprolina. As ligações dos polissacarídeos pécticos com a proteína ocorrem através de seus resíduos arabinogalactosil com os carboidratos da proteína e com as moléculas de hemicelulose, através de suas cadeias laterais de galactanas (Keegstra *et al.*, 1973).

As principais enzimas envolvidas no processo degradativo da parede celular e da lamela média são PME, PG, β -galactosidase, hemicelulase e a celulase, e elas agem hidrolisando as ligações intra e intermoleculares. A solubilização dos polissacarídeos pécticos ocorre durante o amadurecimento *in vivo* e está associada ao amaciamento da polpa de muitos frutos. A enzima pectinametilsterase (PME) catalisa a desmetilação da cadeias de substâncias pécticas, para que posteriormente, a poligalacturonase (PG), possa hidrolisar as ligações $\alpha(1-4)$ entre os monômeros de ácido galacturônico (John e Dey, 1986).

Sapotis da mesma origem dos usados neste trabalho, quando armazenados por 12 dias sob atmosfera modificada e em ambiente apresentavam concentrações de PG e PME que não variavam segundo um padrão específico de atividade (Miranda *et al.*, 2001). Essas informações podem ser avaliadas em conjunto com as modificações morfo-anatômicas durante o amadurecimento do sapoti apresentadas no CAPÍTULO II (Figuras 12 e 13 A e B). Onde observa-se tanto a dissolução das substâncias pécticas, evidenciada pelo uso do corante vermelho de rutênio que é específico para pectina, como um afrouxamento da parede celular, onde deve estar envolvida a β -galactosidase.

(A)



(B)

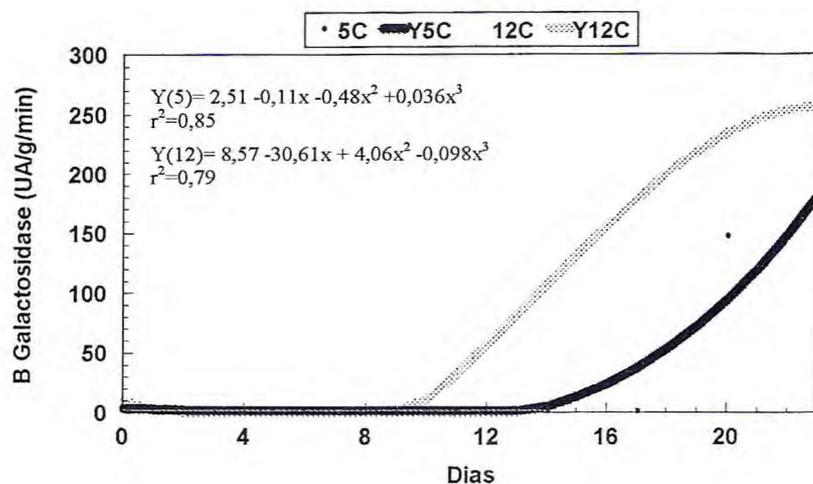


Figura 10. Atividade da β -galactosidase dos sapotis armazenados por 7 (A) e 14 (B) dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12 °C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

A β -galactosidase é uma hidrolase que age em conjunto com as enzimas pectolíticas (PG e PME) para afrouxar a estrutura da parede celular (Konno, 1986). Sua ação consiste na quebra de ligações cruzadas do tipo 1,4 β -galactosídicas entre os polímeros pécnicos e as moléculas de hemicelulose e precede a ação da enzimas pectolíticas. Isso foi comprovado pela perda de resíduos de galactose da parede ocorrer antes do acúmulo de poliuronídeos solúveis e pelo fato que os poliuronídeos solúveis não possuíam resíduos galactosil em sua estrutura, diferentemente de quando se encontravam na parede (Bartley, 1974). Uma redução no conteúdo de

galactose da parede celular durante o amadurecimento foi observado em melão, concomitante a um aumento na atividade da β -galactosidase ao mesmo tempo em que não se observou atividade de PG (McCollum *et al.*, 1989).

O açúcar galactose é encontrado na forma solúvel apenas no amadurecimento do sapoti (Pathak e Bhat, 1952). Esse é outro indicativo que a β -galactosidase tem papel na desestruturação da parede celular. A ação da β -galactosidase resultaria na conversão de grandes polímeros em moléculas menores acarretando em uma redução da estabilidade da parede celular e, portanto da firmeza.

4. Conclusões

Os estudos sobre a conservação pós-colheita do sapoti levaram as seguintes conclusões:

1. O armazenamento dos saptis por até 14 dias sob atmosfera modificada tanto a 5 como a 12°C resultou em frutos que amadurecem regularmente entre o 3 e 6º dia em condição ambiente, com boa qualidade.
2. O armazenamento de saptis por 21 dias a 5°C resultou em danos pelo frio, já aqueles mantidos a 12° C apresentaram sintomas de senescência. Sob as duas temperaturas os frutos não estavam em condições adequadas para consumo após esse período de armazenamento.
3. O principal sintoma de dano pelo frio apresentado pelo sapoti foi o amaciamento irregular de porções dos frutos.
4. Os estudos ultra-estruturais apresentados no CAPÍTULO II deste trabalho apoiam o envolvimento da enzima β -galactosidase com a desestruturação da parede celular no amaciamento da polpa do sapoti. O afrouxamento das camadas da parede celular no fruto após o climatério pode estar associado com o aumento da atividade da enzima β -galactosidase.
5. Os saptis colhidos aos seis meses de desenvolvimento fisiológico, com peso médio de 127,7 g, formato mais esférico, casca pouco granulosa, firmeza de 87,3 N, SST igual a 17 °Brix e 0,13% de ATT conservam-se com boa qualidade por até 20 dias, sendo 14 dias sob atmosfera modificada e temperatura de 5 ou 12°C e 6 dias em condição ambiente.

5. Referências Bibliográficas

ALI, S.H; LIN, T.S. Fruit development and maturation os sapodilla cv. Subang. **Proceedings International Conference on Tropical Fruits**. Kuala Lumpur, Malásia, v.1, p.397-402, 1996.

ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; MOURA, C.F.H. Sapoti. In: **Caracterização de frutas nativas da América Latina**. Série Frutas Nativas. Jaboticabal. FUNEP, 2000, p.55-58.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 11.ed. Washington: AOAC, 1992. 1115p.

BAEZ, M.A; SILLER, J.H.; HEREDIA, J.B.; PORTILLO, T.; ARAIZA, E.; GARCIA, R.S.; MUY, M.D. Fisiologia poscosecha de frutos de chicozapote (*Achras zapota* L.) durante condiciones de mercadeo. **Proceedings Interamerican Society Tropical Horticulture**, v.41, p.209-214, 1997

BANZATTO, D.A; KRONKA, S.N. **Experimentação Agrícola**, FUNEP, Jaboticabal, 1992, 247p.

BARTLEY, I.M. β Galactosidase in ripening apples. **Phytochemistry**, v.13, p.2107-2111, 1974

BATISSE, C.; FILS-LYCAON, B.; BURET, M. Pectin changes in ripening cherry fruit. **Journal Food Science**, v.59, n.2, p.389-393, 1994.

BURDON, J.N. Postharvest handling of tropical and subtropical fruits for export. In: MITRA, 1997, p.1-19.

BUTT, V.S. Direct oxidases and related enzymes. In: STUMPF, e CONN, 1980. p.23-25.

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

CONN, E.E.; STUMPF, P.K. **Introdução a bioquímica**. Ed Edgard Blucher, São Paulo, 1986, 525p.

DEY, P.M.; PRIDFHAM, J.B. Purification and properties of galactosidases from *Vicia faba* suds. **Biochemistry Journal**, v.113, p.49-55, 1969.

DIAZ-PEREZ, J.C.; BAUTISTA,S.E.; VILLANUEVA,A.R. Quality changes in sapote mamey fruit during ripening and storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.18, p.67-73, 2000.

FLORES, A.G.; RÍVAS, D. Estudios de maduración y almacenamiento refrigerado de nispero (*Achras sapota*). **Fitotecnia Latinoamericana**, v.11, n.1, p.43-51, 1975.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba, Nobel, 1987, 467p.

HUERTAS, G.G.C.; MORENO, N.G.N.; SAURI, D.E. Conservación refrigerada de chicozapote con calentamiento intermitente. **Horticultura Mexicana**, v.7, n.1, p.258, 1999.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3ed. São Paulo: IAL, 1985, v.1, p.533.

JOHN, M.A.; DEY, P.M. Postharvest changes in fruit cell wall. **Advances in Food Research**, v.30, p.139-181, 1986.

KADER, A.A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruits and vegetables. **Food Technology**, v.40, n.5, p.99-104, 1986.

KADER, A.A., **Sapotes (Sapodilla e Mamey Sapote) Recommendations for maintaining postharvest quality**. Disponível em <[http:// postharvest.ucdavis.edu/Produce/Producefacts/ Fruit/Sapotes.html](http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/Producefacts/Fruit/Sapotes.html)> acessado em 08/02/2001.

KAYS, J. **Postharvest physiology of perishables**. Ed. CRC Press, Florida, 1991. 532p.

KEEGSTRA, K.; TALMADGE, K.E.; BAUER, W.D.; ALBERSHEIM, P. The structure of plant cell walls. **Plant physiology**, v.51, p.188-196, 1973

KIRPAL-SINGH, K.; MATHUR, P.B. Note on the cold storage of sapota (*Achras sapotas*). **The Indian Journal Agricultural Science**, v.24, p.149-150, 1953.

KITAGAMA, Y.; KANAYAMA, Y.; YAMAKI, S. Isolation of galactosidase fractions from japanese pear, with activity against native wall polysaccharides. **Physiologia Plantarum**, v.93, p.545-550, 1995.

KONNO, H; YAMASAKI, Y.; KATOH, K. Characteristics of β galactosidase purified from cell suspension cultures of carrots. **Physiologia plantarum**, v.68, p.46-52, 1986.

LAKSHMINARAYANA, S. Sapodilla and prickly pear. In: NAGY e SHAW, 1980, p. 415-441.

LAKSHMINARAYANA, S; MORENO-RIVERA, M.A. Proximate characteristics and composition of sapodilla fruits grown in Mexico. **Proceedings Florida State Horticulture Society**, v.92, p.303-305, 1979.

LAKSHMINARAYANA, S; SUBRAMANYAM, H. Physical, chemical and physiological changes in sapota fruit {*Achras sapota* (Sapotaceae)} during development and ripening. **Journal Food Science Technology**, v.3, p.151-153, 1966.

MCCOLLUM, T.G.; HUBER, D.J.; CANTLIFFE, D. Modification of polyuronides and hemicelulose during muskmelon fruit softening. **Physiologia Plantarum**, v.76, p.303-308, 1989.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**, Washington, v.31, p.426-428, 1959.

MIRANDA, M.R.A.; SILVA, F.S.; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; ARAUJO, N.C.C. Enzyme activity and pectin breakdown during storage of two types of sapodilla under modified atmosphere. **Horticultura Mexicana**, v.8, n.3, p.136, 2001.

MIRANDA, M.R.A.; SILVA, F.S.; ALVES, R.E.; FILGUEIRAS, H.A.C.; ARAUJO, N.C.C. Armazenamento de dois tipos de sapoti sob condição de ambiente. **Revista Brasileira de Fruticultura.**, 2000, no prelo.

MITRA, S.K. **Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits**. CAB International, New York, 1997, 500p.

MOHAMED, S; TAUFIK, B.; KARIM, M.N.A. Effects of modified atmosphere packaging on the physico-chemical characteristics of ciku (*Achras sapota*) at various storage temperatures. **Journal Science Food Agriculture**, v.70, p.231-240, 1996.

MORRIS, L.L., Chilling injury of horticultural crops: an overview. **HortScience**, v.17, n.2, p.161-164, 1982.

NAGY, S.; SHAW, P.E. **Tropical and subtropical fruits composition, properties and use**. Avi Publishing company, Westport-CT, 1980, 500p.

PATHAK, S.; BHAT, J.V. Studies on the carbohydrate metabolism of *Achras zapota* L. fruit, **Journal University of Bombay**, p.11-20, 1952.

PURVIS, A.C. Relation to chilling injury on carbohydrate composition. In: WANG, 1990, p.211-222.

REICHER, F., SIERAKOWSKI, M.R., CORREA, J.B.C. Determinação espectrofotométrica de taninos pelo reativo fosfotúngstico-fosfomolibdico. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v.24, n.4, p.407-411, 1981.

SELVARAJ, Y.; PAL, D.K. Changes in the chemical composition and enzyme activity of two sapodilla (*Achras zapota*) cultivars during development and ripening. **Journal Horticultural Science**, v.59, n.2, p.275-281, 1984.

SEYMOUR, G.; TAYLOR, J.; TUCKER, G. **Biochemistry of fruit ripening**. Ed. Chapman-Hall, London, 1993, 453p.

SIRIPHANICH, J. High CO₂ enhances fruit firmness during storage. **Journal Japanese Society Horticultural Science**, v.67, n.6, p.1167-1170, 1998.

STROHECKER, R., HENNING, H.M. Analisis de vitaminas: métodos comprobados. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428p.

TAIRA, S.; ONO, M.; MATSUMOTO, N. Reduction of persimmon astringency by complex formation between pectin and tannins. **Postharvest Biology Technology**, v.12, p.265-271, 1997.

TUCKER, G. Introduction. In: SEYMOUR *et al*, 1993. p. 1-51

YEMN, E.W., WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone, **The Biochemical Journal**, v.57, p.508-514, 1954.

VARGAS, L.; CENTURION, A.; TAMAYO, J; SAURI, E. Efecto de las bajas temperaturas sobre las principales características de calidad en frutos de chicozapote (*Achras sapota*). **Horticultura Mexicana**, v.7, n.1, p.260, 1999.

WANG,C.Y. **Chilling injury of horticultural crops**. Ed. CRC Press, Florida, 1990, 300p.

WILLS, R.; MCGLASSON, B.; GRAHEM, D.; JOYCE, B. **Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals**. CAB International, New York, 1998, 174p.

ANEXOS

Tabela A1. Resumo das análises de variância do teor de açúcares solúveis totais (AST), de açúcares redutores (AR), de amido e de compostos fenólicos poliméricos (FPOL), oligoméricos (FOLIG) e dímeros (FDIM). Fortaleza, 2000.

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios					
		AST	AR	Amido	FPOL	FOLIG	FDIM
Tempo							
Regressão Linear	1	767,365**	85,946**	1,101 ^{ns}	0,194**	0,675*	0,966**
Regressão Quadrática	1	24,358**	0,000 ^{ns}	15,474**	0,402**	1,734**	0,318 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	79,487**	0,161 ^{ns}	21,714**	1,067**	1,882**	0,178 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	240,085**	0,264 ^{ns}	1,246 ^{ns}	0,220**	1,133**	0,208 ^{ns}
Resíduo	15	1,021	0,422	0,824	0,172	0,082	0,108
CV (%)		11,92	16,52	15,51	10,54	21,50	26,93

*/** = F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns = F não significativo

Tabela A2. Resumo das análises de variância de peso fresco (PF) e seco (PS), firmeza (FR), diâmetros transversal (DT) e longitudinal (DL) de sapoti durante o desenvolvimento. Fortaleza, 2000

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios				
		PF	PS	DT	DL	FR
Tempo						
Regressão Linear	1	59649,51**	834,918**	11030,40**	8830,479**	6384,108**
Regressão Quadrática	1	6851,433**	7914,995**	63,403**	89,208**	8245,756**
Regressão Cúbica	1	11,941 ^{ns}	1114,682**	0,472 ^{ns}	9,071 ^{ns}	2669,888**
Desvio de Regressão	3	874,624**	480,665**	22,405**	926,029**	1477,298**
Resíduo	21	105,228	25,628	2,376	5,15	34,869
CV (%)		21,89	15,53	4,24	7,57	7,69

*/** = F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns = F não significativo

Tabela A3. Resumo das análises de variância de produção de CO₂ e etileno em sapotis colhidos ao sexto mês e armazenados em condição ambiente (28°C e 60 ± 5% U.R.). Fortaleza

Causas de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	
		CO ₂	Etileno
Tempo			
Regressão Linear	1	450,536**	0,770**
Regressão Quadrática	1	30,073**	4,599**
Regressão Cúbica	1	110,153**	1,502**
Desvio de Regressão	7	14,665**	0,129**
Resíduo	11	0,495	0,008
CV (%)		6,19	13,21

*/** = F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns = F não significativo

Tabela A4. Resumo das análises de variância do teor de açúcares solúveis totais (AST), de amido e de compostos fenólicos poliméricos (FPOL), oligoméricos (FOLIG) e dímeros (FDIM), de vitamina C (VC) e da atividade da β Galactosidase (GAL) de saptis armazenados por 7 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R.). Fortaleza, 2001.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios						
		AST	Amido	VC	GAL	FPOL	FOLIG	FDIM
Tempo	(04)	13,990**	3,763**	1027,115**	71653,825**	2,176**	3,397**	1,572**
Regressão Linear	1	41,461**	12,093**		18499,944**	7,611**	11,252**	2,872**
Regressão Quadrática	1	0,116 ^{ns}	0,100 ^{ns}		61651,502**	0,220**	0,133 ^{ns}	1,574**
Regressão Cúbica	1	1,176 ^{ns}	1,524 ^{ns}		8601,674*	0,537**	1,494**	1,712**
Desvio de Regressão	1	12,615*	1,294 ^{ns}		34862,180**	0,301**	0,709**	0,131 ^{ns}
Temperatura	(01)	3,82 ^{ns}	0,663 ^{ns}	61,204**	46,376 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,659**
Regressão Linear	1			23,597**	24,833 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,017 ^{ns}	0,419**
Tempo x Temperatura	(08)	2,850 ^{ns}	0,532 ^{ns}					
Tempo (Temperatura 1)				1688,697**				
Regressão Linear	1			16,014*				
Regressão Quadrática	1			112,182**				
Regressão Cúbica	1			56,324**				
Desvio de Regressão	1							
Tempo (Temperatura 2)				1778,938**				
Regressão Linear	1			30,646**				
Regressão Quadrática	1			356,574**				
Regressão Cúbica	1			163,475**				
Desvio de Regressão	1			2,548				
Resíduo	20	2,385	0,532	2,548	1358,625	0,023	0,400	0,448
CV (%)		9,77	19,49	7,69	46,24	3,54	36,36	36,68

*/** = F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns = F não significativo

GL= Graus de Liberdade

Tabela A5. Resumo das análises de variância de firmeza (FR), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) e pH de sapos armazenados por 7 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios			
		FR	ATT	SST	pH
Tempo	(04)	7540,716**	0,043**	76,783**	0,143**
Regressão Linear	1			283,198**	
Regressão Quadrática	1			5,344 ^{ns}	
Regressão Cúbica	1			14,425*	
Desvio de Regressão	1			4,164 ^{ns}	
Temperatura	(01)	740,333**	0,0001 ^{ns}	6,533 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Regressão Linear	1			5,450 ^{ns}	0,017*
Tempo x Temperatura	(08)	328,783**	0,0005**		
Tempo (Temperatura 1)					0,282**
Regressão Linear	1	12898,150**	0,003**		0,152**
Regressão Quadrática	1	911,394**	0,003**		0,006 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	310,394**	0,000 ^{ns}		0,006 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	244,633*	0,0003*		
Tempo (Temperatura 2)					0,155**
Regressão Linear	1	15090,017**	0,009**		0,022*
Regressão Quadrática	1	0,831 ^{ns}	0,0005*		0,015 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	1779,651**	0,001**		0,006 ^{ns}
Desvio de Regressão	1	242,433*	0,000 ^{ns}		
Resíduo	20	50,366	0,00008	3,000	0,004
CV (%)		16,67	9,88	8,06	1,32

*/** = F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns = F não significativo

GL= Graus de Liberdade

Tabela A6. Resumo das análises de variância do teor de açúcares solúveis totais (AST), de amido e de compostos fenólicos poliméricos (FPOL), oligoméricos (FOLIG) e dímeros (FDIM), de vitamina C (VC) e da atividade da β Galactosidase (GAL) de sapotis armazenados por 14 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5 % U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60 ±5% U.R). Fortaleza, 2001.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios						
		AST	Amido	VC	GAL	FPOL	FOLIG	FDIM
Tempo	(05)	33,28**	1,77**	814,38**	59676,02**	1,64*	2,07**	1,75**
Regressão Linear	1	65,95**	8,33**			6,96**	8,24**	7,09**
Regressão Quadrática	1	60,02**	0,01 ^{ns}			0,11 ^{ns}	0,48*	0,065 ^{ns}
Regressão Cúbica	1	8,20 ^{ns}	0,009 ^{ns}			0,098 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,003 ^{ns}
Desvio de Regressão	2	16,13**	0,24 ^{ns}	36,56**	47081,76**	0,51*	0,61**	0,80**
Temperatura	(01)	9,92 ^{ns}	0,52 ^{ns}			0,02 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,072 ^{ns}
Regressão Linear	1			29,92**	14474,16**	0,02 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,006 ^{ns}
Tempo x Temperatura	(10)	6,24 ^{ns}	1,22*					
Tempo (Temperatura 1)				1585,55**	49900,69**			
Regressão Linear	1			28,14**	28655,69**			
Regressão Quadrática	1			3,64 ^{ns}	2274,81**			
Regressão Cúbica	1			76,23**	6899,57**			
Desvio de Regressão	2							
Tempo (Temperatura 2)				1970,61**	184579,02**			
Regressão Linear	1			111,11**	17101,62**			
Regressão Quadrática	1			152,20**	17010,08**			
Regressão Cúbica	1			108,88**	28714,88**			
Desvio de Regressão	2							
Resíduo	24	2,80	0,32	2,40	492,07	0,13	0,098	0,034
CV (%)		11,05	16,32	6,80	25,39	73,24	39,28	35,51

*/** = F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns = F não significativo

GL= Graus de Liberdade

Tabela A7. Resumo das análises de variância de firmeza (FR), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) e pH de saptis armazenados por 14 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C) e 60±5% U.R). Fortaleza, 2001.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios			PH
		FR	ATT	SST	
					0,27**
		6959,64**	0,002**	66,51**	1,02**
Tempo	(05)			319,78**	0,32**
Regressão Linear	1			2,06 ^{ns}	0,005 ^{ns}
Regressão Quadrática	1			6,04 ^{ns}	0,004 ^{ns}
Regressão Cúbica	1			2,33 ^{ns}	0,000 ^{ns}
Desvio de Regressão	2			11,11*	
Temperatura	(01)	1428,84**	0,0003 ^{ns}		0,004 ^{ns}
Regressão Linear	1		0,0005**	5,24 ^{ns}	
Tempo x Temperatura	(10)	249,21*			
Tempo (Temperatura 1)			0,001**		
Regressão Linear	1	12828,54**	0,002**		
Regressão Quadrática	1	1957,05**	0,001 ^{ns}		
Regressão Cúbica	1	148,24 ^{ns}	0,0003*		
Desvio de Regressão	2	604,74**			
Tempo (Temperatura 2)			0,008**		
Regressão Linear	1	18022,74**	0,00006 ^{ns}		
Regressão Quadrática	1	187,93 ^{ns}	0,00003 ^{ns}		
Regressão Cúbica	1	294,84 ^{ns}	0,0003*		
Desvio de Regressão	2	697,74**	0,00009	2,52	0,008
Resíduo	24	72,09	10,19	7,35	1,72
CV (%)		18,99			

*/** = F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns = F não significativo

GL= Graus de Liberdade

Tabela A8. Resumo das análises de variância de firmeza (FR), acidez total titulável (ATT), sólidos solúveis totais (SST) e pH de sapos armazenados por 21 dias sob refrigeração e atmosfera modificada (5 e 12°C e 90±5% U.R.) e 9 dias à temperatura ambiente (28°C e 60±5% U.R). Fortaleza, 2001.

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		FR	ATT	pH
Tempo	(06)	7721,539**	0,002**	0,379**
Regressão Linear	1	43346,214**		
Regressão Quadrática	1	253,750*		
Regressão Cúbica	1	994,384**		
Desvio de Regressão	3	578,296**		
Temperatura	(01)	331,523*	0,001**	0,318**
Regressão Linear	1		0,008**	0,052**
Tempo x Temperatura	(12)	118,301 ^{ns}		
Tempo (Temperatura 1)			0,001*	0,515**
Regressão Linear	1		0,001*	0,133**
Regressão Quadrática	1		0,001*	0,009 ^{ns}
Regressão Cúbica	1		0,0004 ^{ns}	0,006 ^{ns}
Desvio de Regressão	3			
Tempo (Temperatura 2)			0,10**	1,672**
Regressão Linear	1		0,001*	0,068**
Regressão Quadrática	1		0,001*	0,123**
Regressão Cúbica	1		0,0003 ^{ns}	0,016 ^{ns}
Desvio de Regressão	3		0,0001	0,008
Resíduo	28	55,047	14,80	1,76
CV (%)		19,84		

*/** = F significativo aos níveis de 5 e 1%, respectivamente.

ns = F não significativo

GL= Graus de Liberdade