

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**AVALIAÇÃO DA FIBRA DE COCO VERDE COMO  
MATERIAL DE ACOLCHOAMENTO EM SISTEMAS DE  
EMBALAGENS PARA MAMÃO E MANGA**

Clívia Danúbia Pinho da Costa Castro

Orientador: Prof. Dr. José de Assis Fonseca Faria

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos, da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos.

Campinas, SP

2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

C279a Castro, Clívia Danúbia Pinho da Costa  
Avaliação da fibra de coco verde como material de acolchoamento em sistemas de embalagens para mamão e manga / Clívia Danúbia Pinho da Costa Castro. -- Campinas, SP: [s.n], 2011.

Orientador: José de Assis Fonseca Faria  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Fibra de coco. 2. Materiais de acolchoamento. 3. Frutas tropicais. I. Faria, José de Assis Fonseca. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

cars/bibfea

Título em inglês: Título em inglês: Evaluation of green coconut fiber as cushioning material in packaging systems for papaya and mango

Palavras-chave em inglês (Keywords): Coconut fiber, Cushioning materials, Tropical fruits

Titulação: Doutor em Tecnologia de Alimentos

Banca examinadora: José de Assis Fonseca Faria

Benedito Carlos Benedetti

Carlos Umberto da Silva Lima

Flávio Luis Schmidt

Valéria Delgado de Almeida Anjos

Data da defesa: 02/03/2011

Programa de Pós Graduação: Programa em Tecnologia de Alimentos

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por Clívia Danúbia Pinho da Costa Castro aprovado pela comissão julgadora em 02/03/2011.

---

Prof. Dr. José de Assis Fonseca Faria  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Antonio Carlos Dantas Cabral  
(Membro)

---

Prof. Dr. Benedito Carlos Benedetti  
(Membro)

---

Prof. Dr. Carlos Umberto da Silva Lima  
(Membro)

---

Prof. Dra. Carmen Gilda Barroso Tavares Dias  
(Membro)

---

Prof. Dr. Flávio Luis Schmidt  
(Membro)

---

Prof. Dra. Marisa Padula  
(Membro)

---

Dra. Valéria Delgado de Almeida Anjos  
(Membro)



“Ser resiliente é manter-se conectado à sua essência e àquilo que realmente importa para você na vida.”

Rita Alonso



Dedico este trabalho ao meu marido,  
Elizalber Castro.



## AGRADECIMENTOS

A Deus, meu refúgio e minha fortaleza.

Aos meus pais Eremio e Goretti, pelo apoio imprescindível durante toda minha vida acadêmica.

Às minhas irmãs Débora e Cynthia, pelo incentivo às minhas realizações profissionais.

Ao Prof. Dr. Assis Faria, minha gratidão pela orientação, ensinamentos e oportunidade.

Aos professores e pesquisadores membros da banca examinadora, pelas valiosas sugestões e correções da tese.

Aos Professores Doutores Marise Pollonio, Helena Bolini, Gláucia Pastore, Maria Isabel, Carlos Anjos, Pedro Felício e Inácio Dal Fabro, pelos conhecimentos transmitidos durante o curso de doutorado.

Ao pesquisador Tiago Dantas, pelas sugestões e apoio na realização dos ensaios mecânicos.

Às colegas e amigas da pós-graduação Eliene Pereira e Emanuele Cerqueira, pelo incentivo e companheirismo. Em especial, à Eliene pela presença fundamental e constante em todos os experimentos e no trabalho como um todo.

Ao apoio técnico, convivência e amizade de Kimie Alice e Renata Celegni.

À Dra Anita Gutierrez e Cláudio Fanale, pela disponibilidade e informações transmitidas durante visita à Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP).

À Eliziane Souza, Ana Maria Magalhães e Prof. Dr. Marcos David por permitir a utilização de equipamentos para testes experimentais.

Ao colega Eduardo Walter, pela colaboração na ilustração deste trabalho e demais colegas: Cláudio Cardoso, Wellington Castro, Adriano Gomes e Simone Silva pela troca de conhecimentos e convivência no laboratório de embalagens.

Aos alunos de iniciação científica Zheng Jinfeng e Henrique, pelos auxílios nos experimentos preliminares.

As empresas Braslatex Indústria e Comércio de Borrachas Ltda. e HPG Indústria Química Ltda., pelo fornecimento de material para testes com a fibra.

Ao Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA) do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), pelo apoio no desenvolvimento experimental.

À Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), à Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), ao Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA), pela oportunidade da realização do curso de doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xxi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Produção e Consumo de Coco .....	5
2.2 Fibra de Coco.....	9
2.2.1 Características Físicas, Químicas e Mecânicas .....	9
2.2.2 Processos de Obtenção .....	12
2.2.3 Aplicações .....	15
2.3 Sistemas de Embalagem de Acolchoamento.....	19
2.3.1 Tipos de Materiais de Acolchoamento.....	21
2.3.2 Proteção contra Choques e Vibrações .....	24
2.3.3 Construção de Curvas de Acolchoamento .....	28
2.3.4 Avaliação da Vibração .....	31
2.4 Efeitos do Choque e da Vibração em Sistemas de Embalagem de Transporte para Frutas .....	34
2.4.1 Injúrias Mecânicas.....	41
2.4.2 Mamão.....	43
2.4.3 Manga.....	46
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>49</b>
3.1 Material .....	50

3.2	Métodos .....	51
3.2.1	Obtenção Mecânica da Fibra de Coco .....	51
3.2.2	Desenvolvimento de Mantas de Fibra de Coco .....	52
3.2.3	Avaliação Físico-mecânica .....	54
3.2.4	Aplicação da Fibra de Coco em Sistemas de Embalagem para Frutas .....	58
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>65</b>
4.1	Avaliação da Fibra de Coco .....	65
4.2	Desenvolvimento de Mantas de Fibra de Coco.....	72
4.3	Avaliação da Fibra de Coco na Forma de Mantas .....	74
4.4	Avaliação do Desempenho da Fibra de Coco em Sistemas de Embalagens para Frutas.....	78
4.4.1	Mamão.....	78
4.4.2	Manga.....	88
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>97</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES .....</b>	<b>99</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE 1.....</b>	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>119</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de coco dos principais países de 2004 a 2008. ....	5
Figura 2 - Seção longitudinal e partes principais do coco verde, do exterior para o interior: epicarpo, mesocarpo, endocarpo, película castanho-avermelhada, endosperma e água de coco. ....	7
Figura 3 - Produção mundial das principais fibras vegetais de 2005 a 2009. ....	8
Figura 4 - Limite de danos para maçãs 'Gala', onde 'u' refere-se à porcentagem de injúrias. ....	26
Figura 5 - Curvas de acolchoamento para vários tipos de materiais proporcionando diferentes níveis de proteção, para altura de queda de trinta polegadas e temperatura ambiente de 21°C. ....	29
Figura 6 - Probabilidades de altura de queda em função do peso do produto. ....	30
Figura 7 - PSD para os modais rodoviário, ferroviário e aéreo. ....	33
Figura 8 - Exemplos de sistemas de acolchoamento para comercialização de frutas, na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo - CEAGESP. ....	36
Figura 9 - Transporte de abacaxi a granel, utilizando capim. ....	37
Figura 10 - Evolução das embalagens de frutas de 2004 a 2007, na CEAGESP. ....	39
Figura 11 - Variedades de mamão comercializadas na CEAGESP. ....	45
Figura 12 - Variedades de mangas comercializadas na CEAGESP. ....	47
Figura 13 - Etapas do desenvolvimento experimental. ....	50
Figura 14 - Processo de secagem das mantas de fibra de coco. ....	54
Figura 15 - Dispositivo utilizado para o ensaio de choque. ....	56
Figura 16 - Disposição das embalagens na mesa de vibração: ....	59
Figura 17 - Fibra de coco verde obtida após lavagem e secagem. ....	65
Figura 18 - Comprimento da fibra de coco verde obtida por processo mecânico. ....	66

Figura 19 - Curva de adsorção da fibra de coco a $26 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .....	67
Figura 20 - Desempenho da fibra de coco sob choque para uma média de três impactos múltiplos, altura de queda de 0,3 m entre 0,11 a 0,94 kPa. ....	68
Figura 21 - Desempenho da fibra de coco sob choque e correlação quanto à resistência de produtos, para uma média de queda de três impactos múltiplos a uma altura de queda de 0,3 m entre 0,47 a 0,75 kPa. ....	69
Figura 22 - Desempenho da fibra de coco quanto à proteção de produtos de resistência variada, para uma média de queda de três impactos múltiplos a uma altura de queda de 0,75 m, na faixa de 0,47 a 0,75 kPa. ....	71
Figura 23 - Média da perda de espessura da fibra de coco solta após queda de três impactos múltiplos a uma altura de queda de 0,75 m, na faixa de 0,47 a 0,75 kPa. ....	71
Figura 24 - Comparação do desempenho da fibra de coco e da palha, considerando 0,025 a 0,100 kg de peso, após impactos múltiplos sob queda livre a altura de 0,3 m. ....	72
Figura 25 - Chapas de fibra de coco: a) fibra de coco e colofônia; b) fibra de coco e fécula de mandioca; c) fibra de coco e polpa de papel reciclado. ....	73
Figura 26 - Resistência à tração na ruptura de chapas de fibra de coco com polpa de papel reciclado, fécula de mandioca e colofônia, em função do teor de fibra. .	74
Figura 27 - Mantas de fibra de coco sem aglutinantes.....	75
Figura 28 - Mantas de fibra de coco com fécula e látex. ....	75
Figura 29 - Comparativo do ensaio de choque para mantas de 0,025 m de espessura de material fibroso e para uma altura de queda de 0,3 m.....	76
Figura 30 - Comparativo do ensaio de choque para mantas de 0,025 m de espessura de material fibroso e para uma altura de queda de 0,3 m.....	77
Figura 31 - Incidência e classificação de injúrias mecânicas na casca do mamão: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) com palha de madeira, ao longo do período de armazenamento. ....	79
Figura 32 - Epiderme do mamão proveniente do sistema: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) palha de madeira. ....	80

Figura 33 - Mamão com defeito grave, proveniente do sistema sem acolchoamento.....	81
Figura 34 - Corte longitudinal do mamão com injúrias internas, proveniente do sistema com palha de madeira.....	82
Figura 35 - Perda de peso do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem. ....	83
Figura 36 - Luminosidade da epiderme do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem.....	84
Figura 37 - Alterações no ângulo de tonalidade do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem.....	85
Figura 38 - Cromaticidade do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem. ....	85
Figura 39 - Variação da cor visual do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem. ....	86
Figura 40 - Mamões do sistema: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) com palha de madeira, aos seis dias de estocagem.....	87
Figura 41 - Comparativo da produção de gás carbônico do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem.....	88
Figura 42 - Incidência e classificação de injúrias mecânicas na manga: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) com palha de madeira, ao longo do período de estocagem.....	89
Figura 43 - Corte longitudinal de manga com defeito grave na polpa, proveniente de sistema sem acolchoamento.....	90
Figura 44 - Alterações na luminosidade de cor da manga submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem.....	92

Figura 45 - Ângulo de cor da casca de mangas submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem.....	92
Figura 46 – Cromaticidade de mangas submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem. ....	93
Figura 47 - Variação da cor visual da manga submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem. ....	93
Figura 48 - Comparativo da produção de gás carbônico da manga submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (◻) com fibra de coco e (◊) com palha de madeira, durante o período de estocagem.	94
Figura 49 - Manga do sistema: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) com palha de madeira, aos oito dias de estocagem. ....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da fibra do coco verde e maduro, em relação às outras fibras vegetais. ....	11
Tabela 2 - Classificação de materiais de acolchoamento, conforme sua estrutura. ....	22
Tabela 3 - Valores do fator G aceitáveis para alguns produtos.....	25
Tabela 4 - Vibrações e forças de aceleração em transporte de produtos embalados.....	27
Tabela 5 - Altura de queda comumente ocasionada em função do peso da carga e do meio de distribuição. ....	30
Tabela 6 - Categorias de risco fitossanitário para produtos vegetais e não-vegetais, segundo a instrução normativa nº23 do Governo Federal, de 02 de agosto de 2004.....	38
Tabela 7 - Caracterização das variedades de mamão, segundo a CEAGESP. ....	45
Tabela 8 - Porcentagem de fibra de coco de acordo com o tipo de compósito.....	52
Tabela 9 - Planejamento dos ensaios de choque com a fibra de coco e palha de madeira a granel, conforme pressão estática e massa do corpo de prova. ....	57
Tabela 10 - Planejamento dos ensaios de choque com a fibra de coco moldada, conforme pressão estática e espessura do corpo de prova. ....	57
Tabela 11 - Tratamentos utilizados no ensaio de simulação com os respectivos sistemas de embalagem para manga e mamão.....	58
Tabela 12 - Parâmetro utilizado para classificar a cor visual da epiderme do mamão e da manga. ....	62
Tabela 13 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de perda de peso (%) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.....	115
Tabela 14 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de luminosidade (L*) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão	

com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.....	115
Tabela 15 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias do ângulo de tonalidade (h) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.....	116
Tabela 16 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de cromaticidade (C*) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.....	116
Tabela 17 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias da cor visual para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem. ....	117
Tabela 18 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias da respiração (mg/kg.h) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.....	117
Tabela 19 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de perda de peso (%) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.....	119
Tabela 20 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de luminosidade (L*) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.....	119
Tabela 21 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias do ângulo de tonalidade (h) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.....	120
Tabela 22 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de cromaticidade (C*) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.....	120

Tabela 23 - Valores médios, desvio padrão e comparação de cor visual para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem..... 121

Tabela 24 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias da respiração (mg/kg.h) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem..... 121



## RESUMO

Dentre as fibras vegetais, a fibra de coco (*Cocos nucifera* L.) é uma das mais utilizadas no desenvolvimento de produtos ecológicos. Apesar da grande disponibilidade, devido ao consumo de água de coco, a fibra do coco verde apresenta menor aplicação do que a proveniente do coco maduro. Em embalagens secundárias e de transporte, as fontes celulósicas provenientes de árvores coníferas, apresentam intensa utilização, contudo, ainda não se constatou a utilização de fibras lignocelulósicas no setor de produtos hortícolas. Neste trabalho, buscou-se investigar o desempenho da fibra de coco verde como material de acolchoamento em sistemas de embalagens para duas frutas tropicais: mamão (*Carica papaya* L.) e manga (*Mangifera Indica* L.). A parte experimental consistiu na obtenção da fibra de coco, desenvolvimento de mantas de fibra, avaliação do desempenho mecânico como material de acolchoamento e avaliação quanto à vibração em teste de simulação de transporte. Em todos os experimentos, utilizou-se como comparativo, a palha de madeira proveniente de coníferas (*Pinus eliottii*). Para o mamão, a fibra de coco foi tão eficiente quanto à palha na prevenção de injúrias na polpa, mas não evitou abrasões na superfície. Observou-se também redução na taxa de respiração, sem interferência na perda de massa e na variação da cor da epiderme. Por outro lado, o sistema de embalagem com a fibra de coco foi mais eficiente para a manga do que para o mamão, pois a fibra protegeu o fruto contra injúrias internas. Tal comportamento contribuiu para os bons resultados de cor e de produção de gás carbônico. Assim, como material de acolchoamento, a fibra de coco verde apresentou desempenho mecânico comparável à classe de materiais celulósicos. Quanto à aplicabilidade, é possível proteger frutos tropicais, utilizando a fibra de coco verde no seu estado natural, sendo que a viabilidade poderá tornar-se mais expressiva com o desenvolvimento de bandejas ou mantas de fibra com aglutinantes naturais, tais como o gel de fécula e o látex de seringueira utilizados neste trabalho.

**Palavras-chave:** fibra de coco, acolchoamento, frutas tropicais.



## ABSTRACT

*Among the vegetable fibers, the coir (Cocos nucifera L.) is one of the most used in the development of environmentally friendly products. Despite the large amounts, due to the consumption of coconut water, green coconut fiber has less application than that of the mature coconut. The cellulosic sources from coniferous trees have extensive use in secondary packaging and transportation; however, one has still not found its use of lignocellulosic fibers in the vegetable sector. In this study, it was sought to investigate the performance of green coconut fiber as a cushioning material in packaging systems from two tropical fruits: papaya (Carica papaya L.) and mango (Mangifera Indica L.). The experimental part consisted of obtaining the coconut fiber, development of webs of fiber and evaluating mechanical of the cushioning material on the vibration test to simulate transport. In all experiments, was used for comparison, the straw of wood from conifers (Pinus eliottii). For papaya, coconut fiber was as efficient as the straw in the prevention of damage in the pulp, but did not prevent abrasions on the surface. It was observed reductions in respiration rate, without interference in the weight loss and the variation in skin color. Moreover, the packaging system with coconut fiber was more efficient than the sleeve for papaya, as the fruit fiber protected against internal injuries. Such behavior has contributed to get good results of color and carbon dioxide production. Thus, as a cushioning material, the green coconut fiber had mechanical performance comparable to the class of cellulosic materials. In relation to applicability, it is possible to protect tropical fruits, using green coconut fiber in their natural state, and its viability may become more significant with the development of fiber mats or trays with natural binders such as starch gel and latex rubber used in this work.*

**Key words:** *coconut, cushioning, tropical fruits.*



---

## 1 INTRODUÇÃO

As questões econômicas e ambientais vêm intensificando a valorização dos recursos naturais, através de práticas como o aproveitamento de resíduos, o desenvolvimento de materiais alternativos, e em alguns casos, a substituição de materiais fósseis pelos renováveis.

Dentre as fibras vegetais, a fibra de coco é uma das mais utilizadas no desenvolvimento de produtos ecológicos, provavelmente pela característica de resíduo. Neste segmento, destaca-se a fabricação tradicional de cordas, escovas e tapetes e, mais recentemente, na manufatura de componentes automobilísticos e produtos de jardinagem, todos, geralmente utilizando a fibra do coco maduro.

Por outro lado, a fibra proveniente do coco verde ainda não se estabeleceu no mercado brasileiro, apesar da grande disponibilidade devido ao consumo de água de coco. Rosa et al. (2001a) atribuíram esta diferença à alta umidade da casca que desfavorece algumas aplicações usualmente empregadas com a casca do coco maduro. Corradini et al. (2009) acreditam que o desconhecimento das propriedades da fibra de coco verde é o responsável pelo menor reaproveitamento. De modo geral, a fibra de coco apresenta boas propriedades como reforço de componentes automobilísticos, isolante acústico e térmico (FOULADI; AYUB; MOHD NOR, 2011; SATYANARAYANA; GUIMARÃES; WYPYCH, 2007; SILVA et al., 2000). Além disso, descobriram-se outras aplicações tais como material sorvente para o setor de petróleo e de metais pesados (ANNUNCIADO; SYDENSTRICKER; AMINCO, 2005; IGWE; ABIA; IBEH, 2008).

Alguns trabalhos citam a possibilidade de utilização da fibra de coco como materiais de proteção em sistemas de embalagem (GRIMWOOD, 1975; OSBORN, 1967), mas ainda não se constataram pesquisas sobre suas propriedades de acolchoamento e, tão pouco, aplicações neste setor.

Em sistemas de acolchoamento, o uso de materiais celulósicos já ocorre há algum tempo, entretanto, os materiais plásticos são os mais utilizados, em geral,

pela melhor aparência, possibilidade de automatização da produção, leveza, flexibilidade e elasticidade. Os materiais sintéticos ou plásticos são comumente encontrados em sistemas de embalagem de transporte, principalmente, como peças moldadas, tais como poliestireno expandido, espuma de poliuretano e espuma de polietileno (MCKINLAY, 2004; RAMSLAND, 1989). Contudo, a disponibilidade de material renovável e passível de reutilizações proporciona redução de custos e vantagens na utilização dos tradicionais materiais celulósicos.

No segmento alimentício, os produtos hortícolas merecem atenção especial quanto ao aprimoramento dos sistemas de embalagem de transporte, visto que, em geral, a embalagem primária consiste na epiderme dos frutos muito susceptível às injúrias mecânicas. Estas lesões induzem as perdas pós-colheita, pois influenciam a maturidade, a qualidade física e nutricional das frutas, além de interferir na classificação e na decisão de compra do consumidor. Dentre as frutas tropicais, o mamão e a manga apresentam produção e comercialização expressiva no Brasil e no mundo (*FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO*, 2010). Tais frutas também são susceptíveis às perdas por injúrias mecânicas, visto que, o mamão caracteriza-se por uma estrutura frágil e apresenta danos facilmente visíveis na camada externa o que exige acessórios de proteção mais eficientes do que o papel de seda que é comumente utilizado; enquanto a manga, de epiderme mais espessa, desenvolve danos internos, menos visíveis, propiciando a comercialização sem sistemas de proteção adicionais além de caixas de transporte.

Diante deste contexto, este trabalho investigou o desempenho da fibra de coco verde como material de acolchoamento para frutas, em sistemas de embalagem de transporte. Para atingir os objetivos propostos a seguir, este trabalho enfatizou: (1) as principais características da fibra de coco, incluindo os processos de obtenção e aplicações; (2) os sistemas de acolchoamento e os requisitos de proteção e avaliação; (3) os efeitos do choque e da vibração em sistemas de embalagem de transporte de duas frutas tropicais: mamão e manga.

Os objetivos deste trabalho foram:

1. Investigar os níveis de proteção da fibra de coco contra choques;
2. Comparar, através de curvas de acolchoamento, a eficiência da fibra de coco em relação à palha de madeira;
3. Avaliar a aplicabilidade da fibra de coco em sistemas de embalagem para frutas;
4. Comparar o desempenho da fibra de coco e da palha de madeira como material de proteção para mamão e manga;
5. Avaliar o grau de injúrias mecânicas provocadas pela fibra de coco e palha de madeira em mamão e manga;
6. Desenvolver mantas de fibra de coco, visando o desenvolvimento de produtos com potencial para aplicação no setor de embalagens.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Produção e Consumo de Coco

A produção de coco (*Cocos nucifera* L.) é amplamente distribuída em regiões quentes, sendo mais abundantes na Ásia representada pela Indonésia, Filipinas, Índia, Sri Lanka e Vietnã; e na América, destaca-se o Brasil e o México (Figura 1). Em 2008, a produção mundial foi estimada em sessenta e um milhões de toneladas. Deste total, a Indonésia participou com 32%, seguido pelas Filipinas, 25%, Índia, 18% e Brasil, 4% (FAO, 2009). O Nordeste brasileiro é a maior região produtora e a Bahia é o Estado que lidera a produção (ARAGÃO; SANTOS; ARAGÃO, 2005; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2007).

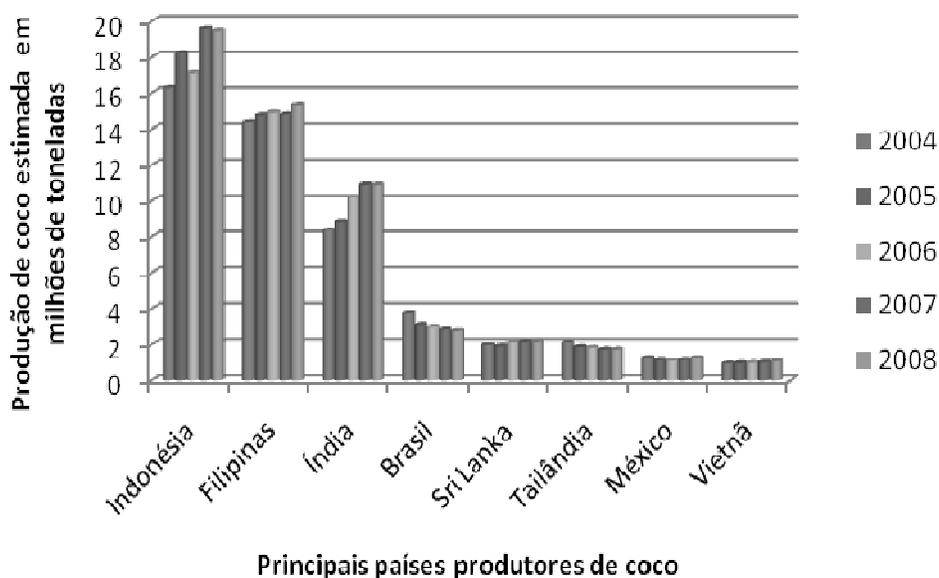


Figura 1 - Produção de coco dos principais países de 2004 a 2008.

Fonte: Baseado em FAO, 2010.

Estima-se que 35% da produção de coco seja absorvida pelas agroindústrias de alimentos e 65% distribuídos entre o consumo da água de coco e o uso culinário (ARAGÃO, 2002).

Diversos produtos podem ser obtidos do fruto do coqueiro, dos quais alguns desempenham um importante papel na economia mundial, destacando-se aqueles utilizados para a alimentação: copra, óleo, ácido láurico, farinha, leite e água de coco (ARAGÃO; SANTOS; ARAGÃO, 2005).

O consumo do coco é definido conforme sua maturação e variedade do coqueiro. Em geral, os cocos verdes são mais utilizados para a extração da água de coco e os cocos maduros, para a obtenção da polpa. As fases da maturação do fruto são caracterizadas por um forte crescimento em espessura e altura. De modo geral, aos seis meses atinge o tamanho completo e o albúmen começa a se formar. Aos doze, o coco é considerado maduro, pois o endocarpo endurece completamente. Dentre as variedades, a mais empregada comercialmente para produção de polpa é a gigante. A variedade anã é a mais utilizada para a produção de água de coco, por apresentar normalmente baixa produção de polpa (MEDINA et al., 1980; ARAGÃO, 2002).

A estrutura do coco pode ser sintetizada conforme a Figura 2: (1) epicarpo, epiderme lisa e cerosa; (2) mesocarpo, tecido fibroso formado por feixes de fibra; (3) endocarpo, envoltório lenhoso, duro e escuro que está ligado intimamente ao mesocarpo; (4) película castanho-avermelhada, fortemente aderida ao endocarpo e ao tecido nutritivo; (5) endosperma, albúmen branco e brilhante que fornece o óleo de coco quando maduro; (6) água de coco, líquido opalescente localizado na grande cavidade central (MEDINA et al., 1980).

O volume e o peso da casca variam com a região de plantio, a adubação, a variedade cultivada entre outros (NUNES; SANTOS; SANTOS, 2007). A porcentagem de cada componente também é variável, mas estima-se que o coco quando maduro possui 35% de mesocarpo, 12% endocarpo, 28% de endosperma e 25% de água (GRIMWOOD, 1975). No coco verde, as cascas (epicarpo,

mesocarpo, endocarpo, película castanho-avermelhada e endosperma) correspondem a 80% do peso bruto do fruto (ROSA et al., 2001b).

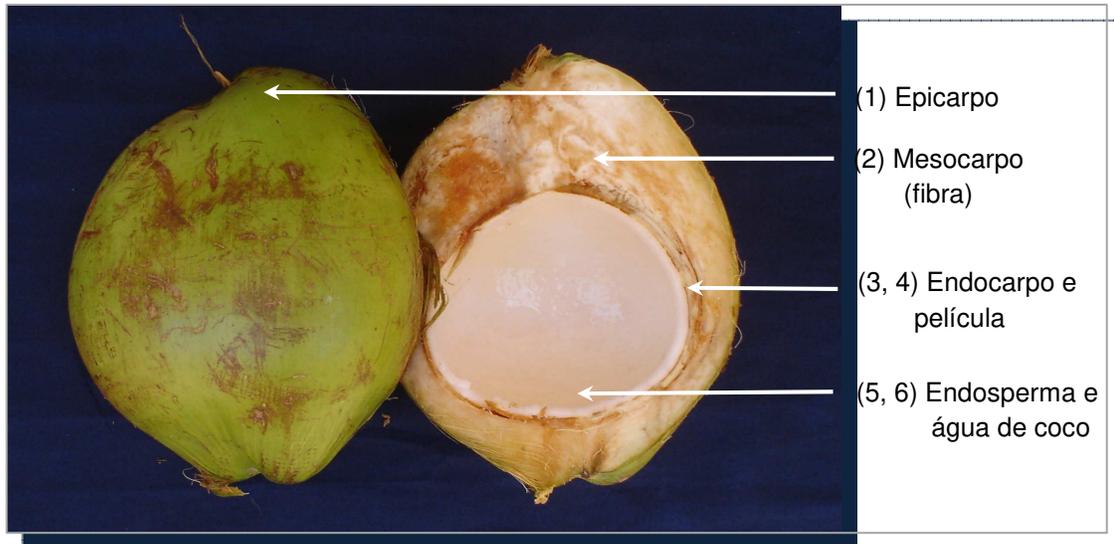


Figura 2 - Seção longitudinal e partes principais do coco verde, do exterior para o interior: epicarpo, mesocarpo, endocarpo, película castanho-avermelhada, endosperma e água de coco.

Fonte: Baseado em VAN DAM, 2002.

A obtenção de produtos do coco pelas agroindústrias e pelo consumo *in natura* resulta em grande quantidade de cascas. No Brasil, por exemplo, em 2008, foram gerados aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de cascas (FAO, 2010).

A preocupação em descartar os resíduos do coco corretamente aumenta, devido ao volume substancial das cascas do fruto (ROSA et al., 2002) e à difícil decomposição da casca *in natura*. A casca do coco, quando verde, necessita de no mínimo oito anos para se decompor (CARRIJO et al., 2006).

A maioria das cascas produzidas no Brasil é incinerada ou descartada como lixo nos locais onde se faz o descascamento dos frutos (NUNES, 2002; NUNES; SANTOS; SANTOS, 2007). Entretanto, esta prática ocasiona a emissão

de gases nocivos ao meio ambiente, além de provocar riscos de doenças provenientes de insetos e roedores e poluição visual (AMIM, 2006).

A disposição destes resíduos em aterros sanitários adequados evitaria muitos problemas ambientais, entretanto, além de diminuir a vida útil desses depósitos, constitui uma prática anti-social e não sustentável (PASSOS, 2005).

Quando estes resíduos são dispostos inadequadamente, observa-se grande desperdício, pois já se comprovou em muitos estudos a viabilidade no aproveitamento de seus componentes. A casca de coco pode ser utilizada como combustível ou fertilizante (SALUNKHE; KADAM, 1995). O endocarpo vem sendo utilizado na produção comercial de carvão e na fabricação de artesanatos (VAN DAM, 2002; NUNES; SANTOS; SANTOS, 2007). O pó da casca de coco verde é considerado como um dos melhores meios de cultivo para a produção de vegetais (ROSA et al., 2001a). A fibra de coco apresenta várias aplicações com mercado consolidado e competitivo com relação à produção das principais fibras vegetais, conforme dados da Figura 3.

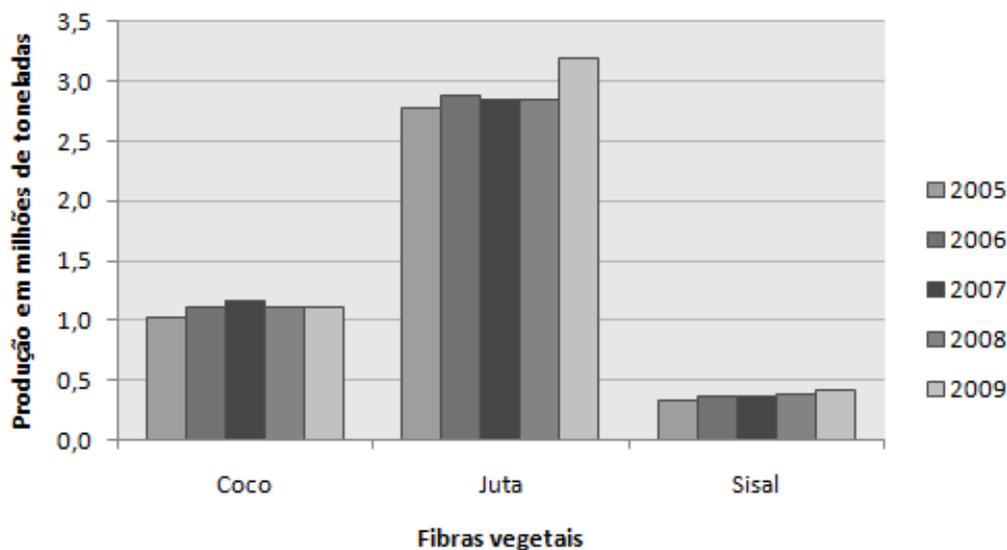


Figura 3 - Produção mundial das principais fibras vegetais de 2005 a 2009.

Fonte: Baseado em FAO, 2010.

Contudo, do total de cocos colhidos mundialmente, somente 15% das fibras da casca de coco são aproveitadas (WEI; GU, 2009). Dentre os maiores países produtores de coco a Índia tem a produção de fibra mais expressiva com 533 mil toneladas produzidas, em 2009.

## **2.2 Fibra de Coco**

A aplicação das fibras vegetais depende das características das fibras após sua obtenção, das plantas originárias e dos processos de beneficiamento que são submetidas (FARIA, 1993).

### **2.2.1 Características Físicas, Químicas e Mecânicas**

Do ponto de vista histológico, o termo fibra tem sido usado para designar uma variedade de tipos de células que se caracterizam pela forma alongada, podendo ser classificadas de acordo com a origem anatômica como fibras de sementes, fibras de talo, fibras de folha, fibras de fruto e fibras de raiz (MEDINA, 1959). As fibras da casca do coco formam uma camada protetora de frutos como as fibras de algodão (SALUNKHE; KADAM, 1995).

Considerando que a maioria das fibras vegetais duras é extraída da folha de plantas cultivadas, as fibras de coco podem ser consideradas como verdadeiros subprodutos do processamento do coco para a obtenção da copra e do coco ralado (GRIMWOOD, 1975).

As fibras do coco também podem ser classificadas de acordo com a maturação da casca e o comprimento da fibra em: (1) fibra branca longa, extraída da casca do coco verde com cerca de oito a dez meses, é mais fina, longa e macia do que a fibra marrom; (2) fibra marrom longa, extraída de cocos maduros, com aproximadamente doze meses, dos quais se obtêm um terço de fibras longas; (3) fibra marrom curta, extraída de cocos maduros, com aproximadamente

doze meses, dos quais dois terços são de fibras curtas (GHAVAMI; TOLEDO FILHO; BARBOSA, 1999; NUNES, 2002).

A fibra de coco é relativamente curta, se comparada com outras fibras vegetais duras. O comprimento da fibra de coco varia de 0,15 a 0,35 m; a fibra de sisal 1,4 m e a de abacá 2,4 m (GRIMWOOD, 1975).

Assim como a maioria das fibras vegetais, a de coco é formada basicamente por celulose, hemicelulose e lignina além de pectina, ceras e substâncias solúveis em água, em menor proporção. A celulose determina as propriedades mecânicas (BLEDZKI; GASSAN, 1999). A lignina e a hemicelulose formam o material cimentante entre as células, aumentando em proporção direta à idade do coco, exceto a pectina que diminui em proporção indireta (ARAGÃO; SANTOS; ARAGÃO, 2005). Em estudo realizado com vários cultivares de coco verde, as fibras apresentaram 37 a 44% de lignina e 37 a 32% de celulose. Segundo os autores, comparativamente aos valores observados na literatura, os teores de lignina são próximos para a fibra do coco maduro e apresentam valores um pouco inferiores de celulose (CORRADINI et al. 2009). Em geral, as diferenças nas características físicas, químicas e mecânicas observadas entre a fibra do coco verde e coco maduro são pequenas (VAN DAM et al., 2006).

Entre as fibras vegetais, a fibra de coco apresenta composição química diferenciada, pois contém menor percentual de hemicelulose e grande quantidade de lignina (BLEDZKI; GASSAN, 1999). A pequena quantidade de hemicelulose, que é a fração prontamente atacada por micro-organismos, aliada ao alto teor de lignina, confere à fibra de fibra de coco uma grande durabilidade (SANTIAGO; SELVAM, 2007).

Em geral, o desempenho da fibra de coco como reforço em materiais compósitos é inferior, quando comparado a outras fibras vegetais. Este comportamento pode ser atribuído ao menor teor de celulose e fácil absorção de umidade, visto que o teor de umidade das fibras vegetais depende do conteúdo de estruturas amorfas tais como a lignina e alta porcentagem volumétrica de vazios

permeáveis, característico das fibras vegetais (BLEDZGI; GASSAN, 1999; GEETHAMMA et al., 1997).

Conforme os dados da Tabela 1, a deformação na ruptura da fibra de coco é superior aos valores da fibra de sisal e fibra de juta. A resistência à tração é relativamente menor comparada à fibra de juta e sisal, mas a fibra de coco tem a vantagem de estender seu limite de elasticidade sem rompimento e tem a capacidade de se submeter ao estiramento permanente.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da fibra do coco verde e maduro, em relação às outras fibras vegetais.

Fibra	Propriedades mecânicas			Referência
	Tensão na ruptura (MPa)	Deformação na ruptura (%)	Módulo elástico (GPa)	
Coco verde	82 - 129	25 - 32	8 - 16	Corradini et al. (2009)
Coco maduro	140 - 225	25 - 40	3 - 5	Brahmakumar; Pavithran; Pillai (2005)
Sisal	337 - 413	2,0 - 2,5	8,3 - 9,9	Munawar; Umemura; Kawai (2007)
Juta	400 - 800	1,5 - 1,8	10 - 30	Mohanty; Misra; Hinrichsen (2000)

Além disso, destaca-se a resistência à degradação bacteriana e à água salgada (GRIMWOOD, 1975). Em estudo desenvolvido por Annunciado, Sydenstricker e Aminco (2005), a fibra de coco apresentou boa capacidade de absorção de petróleo em ambientes marinhos.

Quanto às propriedades térmicas, a casca do coco verde começa a se decompor em temperaturas mais baixas (180°C) do que a casca do coco maduro (230°C), provavelmente devido ao maior teor de água (VAN DAM et al., 2004).

Em estudo desenvolvido por Salazar e Leão (2006), a fibra de coco verde, com e sem látex, apresentou biodegradação mais lenta, comparado à fibra de

sisal, nas mesmas condições. Constatou-se que a degradação mais rápida da fibra de sisal é devido ao baixo teor de lignina em relação ao alto teor de lignina da fibra de coco.

### **2.2.2 Processos de Obtenção**

As fibras de coco podem ser obtidas através de processo mecânico, químico ou biológico conhecido como maceração. Tais processos podem ser desenvolvidos de maneira puramente artesanal (tradicional), ou através da utilização de tecnologias apropriadas nos processos industriais. A escolha do processo ocorrerá em função das características da fibra vegetal a ser obtida (FARI; CUNHA, 1996). As fibras de coco obtidas pelo processo da maceração, por exemplo, são úteis para a fiação, enquanto aquelas produzidas por processo mecânico são utilizadas para a fabricação de cerdas e colchões (SALUNKHE; KADAM, 1995).

Os diferentes processos de extração da fibra de coco resultam em rendimentos diferenciados, como também, variação na qualidade. De modo geral, são obtidos, 56 a 65% de fibras longas de 0,15 a 0,35 m de comprimento e 5 a 8% de fibras curtas, com comprimento inferior a 0,05 m.

Quanto ao rendimento médio de fibra por casca, esta avaliação depende da área geográfica e da variedade do coqueiro. No Sul da Índia e no Sri Lanka, onde é produzida a melhor qualidade da fibra, é obtida uma média de 0,08 a 0,09 kg de fibra por coco. Já no Caribe, onde as fibras são relativamente grossas, obtém-se aproximadamente 0,15 kg de fibra por coco (VAN DAM, 2002).

O processo de maceração consiste na separação dos fascículos fibrosos, através da fermentação aeróbica ou por substância química. Assim, distinguem-se os dois tipos de maceração: química e biológica (SCHNEIDER, 1972).

A maceração é um termo técnico que designa o processo de decomposição de tecidos não fibrosos ao redor das fibras vegetais. Algumas gomas, substâncias

pécticas e fenólicas que têm a função de manter os feixes de fibras unidos são dissolvidas durante o processo e então separadas livremente a partir de cada feixe. O teor de tanino também é reduzido, tornando as fibras mais claras. O processo é essencialmente biológico envolvendo determinados grupos de bactérias como agentes ativos. Em princípio, o processo de maceração é baseado nas diferenças relativas que existem na susceptibilidade de diferentes constituintes à destruição microbiológica da casca de coco. O processo é freqüentemente anaeróbico, mas pode ser também realizado sob condições aeróbicas. A fibra de coco processada por este método é geralmente colorida, devido à natureza oxidativa dos constituintes fenólicos presentes na casca de coco (SALUNKHE; KADAM, 1995; SATYANARAYANA et al., 1989).

Na maceração, as cascas são submersas em água parada ou em água corrente de fluxo lento que assegure a renovação da água, durante um período de seis a dez meses. Na primeira etapa de saturação, a casca absorve a água, o tecido incha e as substâncias tais como carboidratos, glicoses e taninos são eliminados por lixiviação. Na segunda etapa, os micro-organismos desenvolvidos nos nutrientes lixiviados decompõem o material que liga os tecidos (SALUNKHE; KADAM, 1995). Após o amolecimento, as cascas são retiradas do tanque, lavadas e comprimidas para remover a lama e o mau cheiro. Tradicionalmente, após a remoção do epicarpo, as fibras remanescentes são batidas com uma haste de madeira. Após este processo de amaciamento, elas são agitadas, lavadas, comprimidas manualmente e secas. As fibras secas são então batidas novamente e colocadas em uma peneira rotatória para remoção do pó. Quando a secagem é finalizada, as fibras são comprimidas em fardos, os quais são classificados de acordo com a cor, comprimento, resiliência e, em geral, limpeza e a quantidade de pó ainda presente (GRIMWOOD, 1975).

O tempo de maceração pode ser reduzido através das seguintes ações: (1) prévio tritramento das cascas, podendo reduzir o tempo de dois meses para três a cinco dias (coco maduro) e de dez meses para três meses (coco verde), sem influenciar a qualidade da fibra; (2) completa submersão das cascas, pois tendem

a facilitar a penetração da água através do epicarpo; (3) utilização de água parada, como em tanques e lagoas, neste caso, a fibra obtida tem qualidade inferior (GRIMWOOD, 1975; SALUNKHE; KADAM, 1995).

Geralmente, a fibra de coco obtida pelo processo de imersão por quatro meses, perde de 35 a 40% de sua resistência (GRIMWOOD, 1975). Em geral, o processo de maceração resulta em fibras de coco com superfície lisa e com menor resiliência comparada à fibra não macerada (RAJAN et al., 2005). Além disso, todo o processo de maceração é considerado trabalhoso, demorado e altamente poluente devido aos efluentes e ao acúmulo de pó (VAN DAM, 2002).

Há interesse na utilização de métodos menos agressivos ao meio ambiente, que possam ser utilizados em pequena escala e com produção de fibras de melhor qualidade, como por exemplo, a biotecnologia (RAJAN et al., 2005; VAN DAM, 2002).

Nos países asiáticos, o processo de maceração é comumente utilizado antes do processo mecânico a fim de facilitar a extração da fibra. Após esta etapa, as cascas de coco são desintegradas e as fibras longas e grossas são separadas das fibras curtas e do pó através de uma peneira rotatória (GRIMWOOD, 1975; VAN DAM, 2002).

No Brasil, a desintegração mecânica das cascas de coco verde ocorre através da coleta das cascas, armazenamento em galpões para secagem, fragmentação para facilitar o sistema de alimentação no triturador ou desintegrador, onde os fragmentos da casca de coco são desfibrados, obtendo-se as fibras e o pó. Após esta etapa, as fibras são secas ao sol até atingirem 15 a 20% de umidade (CARRIJO et al., 2006).

A Embrapa Agroindústria Tropical de Fortaleza-CE desenvolveu um processo mecânico de obtenção do pó e da fibra da casca de coco verde com a utilização de um conjunto de equipamentos. Neste sistema, a produção da fibra e do pó a partir da casca de coco verde é constituída basicamente de três etapas: (1) trituração, a casca de coco é cortada e triturada por um rolo de facas fixas a fim de possibilitar a realização das etapas seguintes; (2) prensagem, a

compressão mecânica possibilita a extração conjunta da elevada umidade da casca do coco verde e da alta concentração de sais solúveis em níveis tóxicos, quando utilizado para o cultivo de espécies vegetais; (3) seleção, após a prensagem, as fibras são separadas do pó na máquina selecionadora que é equipada com um rolo de facas fixas e uma chapa perfurada. O material é turbilhonado ao longo do eixo da máquina, fazendo com que o pó ultrapasse uma chapa perfurada e a fibra seja obtida (ROSA, 2005).

A fibra extraída da casca do coco verde é mais susceptível ao tingimento e branqueamento do que a do coco maduro. Geralmente, as fibras são branqueadas para proporcionar melhor aparência ou clarear a fibra e favorecer o tingimento, tornando o produto mais atrativo.

O tratamento com peróxido de hidrogênio é o método preferido para branqueamento a frio ou a quente da fibra de coco. A eficiência deste método é melhorada e o custo reduzido com a adição de 5% de cloro.

A lignina é o principal componente químico da fibra responsável pela determinação da cor característica. O excepcional teor de lignina comparada às outras fibras demonstra que as técnicas de tingimento e de branqueamento disponíveis para as fibras têxteis não podem ser simplesmente transferidas para as fibras de coco (VAN DAM, 2002).

### **2.2.3 Aplicações**

Os processos de extração da fibra de coco resultam em três principais tipos de fibras que definem algumas aplicações tradicionais. A fibra longa e fina é adequada para transformar fios de fibra de coco em cordas e tapetes. A fibra mais grossa é destinada à fabricação de escovas. Enquanto a fibra curta é utilizada em colchões e estofados (GRIMWOOD, 1975).

Frequentemente, as fibras, obtidas do coco maduro, apresentam aplicações tradicionais na fabricação de cordas, sacarias, tapetes, vestuário, escovas, pincéis

e na preparação de acolchoados de fibra de coco vulcanizada para uso em automóveis. Comparativamente, as fibras do coco verde apresentam menor aproveitamento pelas indústrias, mas vêm ganhando importância na agricultura intensiva. A fibra branca é usualmente tecida para fabricação de tapetes ou trançada, obtendo-se barbante e cordas (CARRIJO et al., 2006; SENHORAS, 2003; WEI; GU, 2009).

Uma iniciativa bem sucedida de utilização de resíduos tanto do coco verde quanto maduro é o Programa Pobreza e Meio Ambiente na Amazônia (POEMA). Este programa permite a fabricação e comercialização de mantas destinadas à contenção de encostas, assoreamento e germinação, estofamentos de carros e produtos de jardinagem. A destinação mais recente está na exportação das mantas para a fabricação de palmilhas para sapatos europeus. Todos os produtos são confeccionados a partir da fibra de coco aglomeradas com látex natural, resultando em objetos recicláveis, biodegradáveis e de boa resistência (BOLSA, 2007; SENHORAS, 2003).

Dentre as áreas que mais utilizam a fibra de coco, destacando-se pelo número de pesquisas e utilizações, inclui a construção civil, a indústria de automóvel, a agricultura e os vários experimentos em materiais compósitos.

#### **a) Construção Civil**

Há tempos a construção civil vem demonstrando grande interesse na utilização de fibras vegetais na produção de elementos de cobertura e revestimento, painel divisório, componentes habitacionais e outros elementos estruturais, visando estabelecer infra-estrutura em locais onde é inadequada e insuficiente para atender às necessidades da população (TOLEDO FILHO; ENGLAND; GHAVAMI, 1997). Em geral, a função das fibras na construção civil é aumentar a ductilidade das matrizes cimentícias, que são frágeis (SAVASTANO JÚNIOR; AGOPYAN; OLIVEIRA, 1997).

Quando tratadas quimicamente, Toledo Filho et al. (2000) observaram que as fibras de coco apresentaram pouca flexibilidade em matrizes cimentícias, além de maior fragilidade quando curtas.

Blocos e chapas de construção constituídos de cimento e fibras de coco apresentam baixa condutividade térmica e leveza (ASASUTJARIT et al., 2007), entretanto não são indicados para suportar altas tensões como em aplicações de pisos e telhados, devido à baixa resistência à compressão (KHEDARI; WATSANASA; HIRUNLABH, 2005). Por outro lado, a utilização de materiais betuminosos como agente estabilizante e impermeabilizante das fibras melhora a durabilidade e resistência à compressão de blocos de construção carregados com fibra de coco, apesar de não aumentar a adesão entre os componentes do compósito (GHAVAMI; TOLEDO FILHO; BARBOSA, 1999).

Passos (2005) obteve bons resultados no desenvolvimento e aplicação de telhas ecológicas a partir da incorporação de fibras de coco verde em matriz de papel reciclado e cimento asfáltico como material impermeabilizante. Em concreto, Reis (2006) observou excelente desempenho da fibra de coco como reforço, pois aumentou a resistência à fratura e à flexão.

## **b) Indústria Automobilística**

O interesse de empresas automobilísticas em utilizar a fibra em acolchoamento de bancos e substituir peças reforçadas com fibras sintéticas por fibras naturais decorre da facilidade de descarte e reciclagem, da leveza que proporciona ao veículo além da capacidade de suportar tensões elevadas (COSTA, 2004).

Em acolchoamento de bancos automobilísticos, o compósito de fibra de coco com látex apresenta várias vantagens com relação à espuma de poliuretano, tais como: conforto ao motorista, aeração, biodegradabilidade, reciclabilidade, custo equivalente ao da espuma, maior geração de empregos, origem renovável e combustão sem gases. Contudo, quanto à vida útil, independente da condição de

umidade, a manta de fibra de coco com látex sofre maior deformação volumétrica do que a espuma de poliuretano (SALAZAR; LEÃO, 2000).

Salazar, Caraschi e Leão (2005) prosseguiram os estudos comparativos entre os assentos automobilísticos feitos de manta de fibra de coco com látex e os de espuma de poliuretano, avaliando a possibilidade de substituição. Verificaram que a fumaça formada pelos compostos resultantes da pirólise da espuma de poliuretano é mais tóxica do que aquela produzida pela manta de fibra de coco com látex. Além disso, verificaram que em relação à estabilidade térmica, a manta de fibra de coco apresentou-se mais estável do que a espuma de poliuretano.

### **c) Agricultura**

Fibras, provenientes do coco verde ou do maduro, são bastante utilizadas para a fabricação de vasos os quais vieram substituir os antigos e tradicionais vasos de xaxim feitos da planta samambaia-açu, atualmente em extinção. Em geral, no processo de produção desses vasos, as fibras são transformadas em mantas através da pulverização com látex de seringueira. Após a secagem, essas podem ser moldadas ou recortadas, a fim de se obter diversos produtos (LEAL, 2006).

Além disso, mantas e telas de fibras de coco têm sido utilizadas para a recuperação de áreas degradadas e controle de erosão. Na Europa, vem sendo produzida e utilizada com grande sucesso, pois têm lenta decomposição, protegem o solo, diminuem a evaporação, aumentam a retenção de umidade e a atividade microbiana do solo criando assim, condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal (NUNES, 2002).

Na produção de substratos, a fibra de coco verde se destaca por elevada estabilidade e capacidade de retenção de água, boa aeração, não reage com os nutrientes na adubação, possui longa durabilidade sem alterar suas características físicas, possibilidade de esterilização, abundância de matéria-prima e baixo custo (CARRIJO et al., 2006; SENHORAS, 2003).

#### **d) Materiais Compósitos**

O crescente interesse, no estudo e na utilização de fibras vegetais em compósitos poliméricos, em comparação às fibras sintéticas, pode ser atribuído principalmente à capacidade renovável, à biodegradabilidade e ao custo relativamente baixo por unidade de volume (COSTA, 2004).

O tratamento físico-químico da fibra influencia bastante o desempenho mecânico de compósitos. Em matrizes de polietileno de alta densidade, Amim (2006) observou que a mercerização da fibra de coco aumentou o módulo elástico, a resistência ao impacto e a tensão na ruptura, enquanto que a extração da lignina reduziu a resistência ao impacto e o alongamento na ruptura em compósitos.

Além de termoplásticos, o desempenho da fibra de coco é investigado em matrizes termofixas (KHALIL, et al., 2000). Contudo, para reduzir os custos do compósito rígido, resinas naturais, como o líquido da castanha de caju, têm sido utilizadas como matéria-prima básica na produção de resinas fenólicas, as quais podem ser processadas com resíduos da casca de coco, obtendo-se compósitos de boa resistência mecânica, boa resistência ao ataque de água e roedores, bom índice de isolamento térmico e acústico além de maleabilidade (CANAL, 2006).

A variedade de polímeros biodegradáveis que vem sendo sintetizados e a possibilidade de obter um material totalmente de base renovável, estimulam as pesquisas com a utilização destas fibras vegetais. Infelizmente, a alta sensibilidade à água e baixas propriedades mecânicas são algumas dificuldades encontradas (OLIVEIRA; LIMA, 2006; ROUT et al., 2001).

### **2.3 Sistemas de Embalagem de Acolchoamento**

O acolchoamento é definido como um material ou sistema utilizado para proteger um produto de danos provocados por choques e/ou vibrações, durante o transporte e distribuição, através da redução destas forças externas aplicadas ao produto embalado (MCKINLAY, 2004; RAMSLAND, 1989).

Conforme o tipo de força aplicada, podem-se classificar os acolchoamentos como: acolchoamentos de suspensão, quando submetidos à tração e acolchoamentos de apoio, quando submetidos à compressão. Há também acolchoamentos que agem por flexão ou por cisalhamento, entretanto o acolchoamento mais comum é o de apoio em que o objeto é apoiado por uma ou mais faces ou partes mais resistentes a uma ou mais peças de material elástico fixadas à embalagem. Neste caso, o acolchoamento pode ter também a função de distribuir esforços sobre as paredes ou arestas da embalagem (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 1975).

As propriedades mais desejáveis em sistemas de acolchoamento e seus respectivos desempenhos como embalagens protetoras, são as seguintes (MCKINLAY, 2004):

- a) resiliência, capacidade de deformar sob impacto e retornar à dimensão próxima da original;
- b) absorção de choque, capacidade de reduzir significativamente a quantidade de choque transmitida para o conteúdo da embalagem;
- c) atenuação da vibração, capacidade de reduzir a amplitude da vibração;
- d) fluência de compressividade mínima, perda mínima de espessura, em função do tempo, devido ao peso estático do produto;
- e) resistência às temperaturas extremas, mudança mínima nas propriedades de temperaturas altas (54°C) ou baixas (-29°C);
- f) resistência à alta umidade, mudança mínima nas propriedades de alta umidade relativa (90%).

Ainda, segundo o autor, são consideradas algumas propriedades secundárias dos materiais de acolchoamento:

- a) capacidade de absorção de líquidos, pode ser vantajosa em casos de necessidade de conter vazamentos acidentais de produtos líquidos. Em geral, a retenção de umidade por parte do acolchoamento é prejudicial,

- pois pode enfraquecer o próprio material, propiciar o aparecimento de fungos ou corrosão do produto embalado;
- b) fragmentação, certos materiais fragmentam-se em finas partículas, quando atritados, com formação de poeira, que pode ser prejudicial ao produto tais como as palhas muito utilizadas em produtos hortigranjeiros.
  - c) combustibilidade, geralmente a alta porosidade de certos materiais de acolchoamento facilita a combustão destes materiais. Portanto, quando o risco de fogo é previsível, deve-se escolher um material de acolchoamento incombustível ou auto-extinguível.
  - d) abrasão, alguns materiais de acolchoamento podem riscar a superfície do produto embalado, devendo-se, portanto, evitar um contato direto entre os mesmos.

### **2.3.1 Tipos de Materiais de Acolchoamento**

A maioria dos materiais utilizados em sistemas de embalagens de acolchoamento foi desenvolvida, originalmente, para outras funções e só depois adaptada para acolchoamento (OSBORN, 1967).

Os mais antigos materiais considerados como acolchoamentos são: maravalha, palha, apara de papel amassado ou rasgado, estofa de celulose e fibra em borracha vulcanizada. Apesar de continuarem a ser utilizados em grande quantidade, estes materiais têm sido largamente substituídos por materiais poliméricos por apresentarem melhor desempenho na proteção de produtos (HANLON; KELSEY; FORCINIO, 2000).

Os materiais de acolchoamento podem ser agrupados de acordo com sua estrutura em cinco categorias, conforme a Tabela 2, entretanto, são comumente classificados em materiais plásticos e não-plásticos.

A preferência do material plástico no segmento de acolchoamento está relacionada ao nível de proteção do produto por quantidade de material. Em estudo comparativo, Singh; Charnnarong; Burgess (1993) concluíram que os materiais plásticos proporcionam melhor proteção para uma menor quantidade de material, em relação aos materiais não-plásticos. Além disso, não são afetados pela umidade, sendo resistentes à decomposição e ao crescimento de fungos.

Tabela 2 - Classificação de materiais de acolchoamento, conforme sua estrutura.

Estrutura do Material	Exemplos
Fibras entrelaçadas	Polpa de papel, papel macerado, palhas, algodão, aniagem, lã e fibras vegetais.
Estrutura celular	Cortiça e espumas plásticas em forma de flocos, grânulos, peças moldadas, ou expandidas.
Estrutura ondulada	Papelão corrugado, com dobras e recortes, formando encaixes flexíveis para o produto embalado.
Estrutura granular	Elastômeros fragmentados e serragem.
Peças elásticas maciças	Elastômeros sintéticos.
Estrutura pneumática	Filmes de polietileno contendo bolhas de ar.
Dispositivos de acolchoamento	Suspensão por molas ou cintas de borracha, blocos de borracha sob cisalhamento, dispositivos amortecedores por fricção.

Fonte: IPT, 1975 (Adaptado).

Contudo, os materiais plásticos utilizados como acolchoamento apresentam desvantagens quanto à disposição final, devido ao grande volume e pouca degradabilidade (SINGH; CHARNNARONG; BURGESS, 1993). Alguns destes materiais tais como as espumas flexíveis, podem ser fragmentadas e aglomeradas, a fim de constituírem um acolchoamento a granel, entretanto, essas transformações são viáveis apenas nas indústrias que dispõem de grandes quantidades do material. Para a reciclagem pós-consumo, os materiais plásticos utilizados como acolchoamento podem ser separados do lixo com relativa facilidade, considerando o volume e a densidade, porém a dificuldade consiste em

reuní-los em quantidades econômicas para a reciclagem química ou mecânica (GONZALEZ; ZEPKA, 2008).

As excelentes propriedades dos plásticos como materiais de acolchoamento fazem com que o uso contínuo aliado à crescente preocupação ambiental estimule o número de ações para evitar a disposição inadequada de resíduos e aumento de volume nos aterros sanitários, através da melhora na execução de programas de reciclagem pós-consumo. Paralelamente, há contínuo interesse no desenvolvimento de materiais alternativos que derivem de recursos renováveis e sejam degradáveis, pois é lenta a degradação dos plásticos e, ainda, é pequena a parcela de reciclados pós-consumo. No Brasil, estima-se que em 2008 foram reciclados 21,2% dentre os materiais plásticos produzidos (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM - CEMPRE, 2008).

Portanto, além do interesse econômico, as exigências ecológicas têm estimulado a redução na quantidade de material plástico utilizado na fabricação de embalagens (GONZALEZ; ZEPKA, 2008) bem como o estudo e desenvolvimento de materiais e tecnologias alternativas. Sob esse contexto, é possível citar o aprimoramento de sistemas de acolchoamento que utilizam bolsas de ar (SASAKI; SAITO; ABE, 1999) e o da tecnologia de fabricação de extrudados biodegradáveis à base de gomas, na tentativa de substituir as espumas de poliestireno expandido (LUI; PENG, 2004). Um bom exemplo de aplicação de embalagens mais ecológicas foi recentemente adotado pela fabricante de computadores da marca Dell® utilizando berços de polpa moldada de bambu, como sistema de acolchoamento para seus produtos (A TAQUARA, 2010).

O aumento na taxa de retornabilidade paga em função do tipo e da quantidade de material de embalagem, sobretudo na Europa, é outro fator que impulsiona a utilização dos tradicionais materiais celulósicos em lugar dos plásticos. Os materiais celulósicos oferecem reciclabilidade, biodegradabilidade, menor problema eletrostático, baixa taxa de retornabilidade, não gera problemas de desperdício após o descarte, são renováveis, reutilizáveis e obedecem às diretivas da comunidade européia, evitando problemas no caso de produtos

exportados (BORDIN; GARCIA, 1992; DANTAS, 2002). Por outro lado, em ambientes com alta umidade relativa, os materiais à base de celulose absorvem vapor de água, diminuindo sua resistência física e mecânica, principalmente a resistência à compressão e perdendo facilmente suas características de acolchoamento, quando se deforma (ARDITO, 1992; CENTRO DE COMÉRCIO INTERNACIONAL, 1997; SINGH; CHARNNARONG; BURGESS, 1993).

Pesquisas comprovam que a resistência à compressão de embalagens celulósicas, tais como papéis para embalagem e caixas de papelão, são seriamente afetadas pelo aumento da umidade relativa. Contudo, para materiais de acolchoamento a influência do aumento no teor de umidade sob o desempenho do material de acolchoamento depende da energia de impacto e da área de contato do produto com o sistema de embalagem (RHIM; LEE, 2009; MARCONDES, 1992).

Neste sentido, a construção de isotermas é fundamental para proposição adequada de sistemas de embalagens à base de celulósicos, principalmente quando se trata de produtos hortifrutícolas, visto que a umidade está presente tanto no produto quanto no meio ambiente por meio da transpiração do fruto fresco (EAGLETON; MARCONDES, 1994).

### **2.3.2 Proteção contra Choques e Vibrações**

Durante o transporte e a distribuição, as embalagens ficam sujeitas às intensas acelerações, as quais podem superar o limite de dano suportável pelo produto embalado. Quando um objeto sofre uma aceleração age sobre ele uma força igual ao produto desta aceleração pela massa do objeto. A máxima aceleração que o objeto pode suportar sem que os esforços o danifiquem, é igual a determinado número de vezes a aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Este número, chamado de fator G, varia na ordem inversa à fragilidade do produto. No Tabela 3, encontra-se o fator G típico para alguns produtos (IPT, 1975).

Tabela 3 - Valores do fator G aceitáveis para alguns produtos.

Grau de fragilidade	Objeto	G
Extremamente frágil	Instrumentos de precisão, válvulas eletrônicas, tubos de raios catódicos, lâmpadas especiais etc.	15 - 25
Muito frágil	Aparelhos eletrônicos	25 - 40
Frágil	Caixas registradoras, aparelhos eletrônicos etc.	40 - 60
Moderadamente frágil	Alguns acessórios de avião, certos instrumentos etc.	60 - 80
Moderadamente resistente	Refrigeradores, máquinas de lavar etc.	80 - 115
Resistente	Máquinas, peças fundidas.	115 - 150
Muito resistente	Tubos de aço, cabos, peças fundidas.	> 150

Fonte: IPT, 1975.

A fragilidade do produto é um parâmetro importante no planejamento de sistemas de acolchoamento. Durante as tensões dinâmicas, em geral, os danos não ocorrem no primeiro momento em que a carga é aplicada, mas é o resultado do efeito cumulativo de sucessivas cargas individuais (fadiga) as quais dão início à fratura (XIANG; ESCHKE, 2004).

Particularmente, as rupturas que ocorrem nas frutas sempre resultam de injúrias localizadas decorrentes do transporte e distribuição, comportamento característico de produtos viscoelásticos. Estas abrasões e deformações localizadas não inutilizam completamente o fruto, como na maioria dos produtos duráveis, pois apesar de sua qualidade ser reduzida, ainda pode ser comercializado. Conseqüentemente, não há um único valor de aceleração e velocidade críticas que delimitem a fragilidade de frutas, mas sim uma série de valores que provocam injúrias em diferentes níveis. Apesar das limitações em

aplicar os testes convencionais para estabelecer a fragilidade de frutas, a porcentagem de injúrias mecânicas pode ser estabelecida para diferentes níveis de velocidade e aceleração, conforme ilustrado na Figura 4, que revela o limite de injúrias para maçãs (LU; WANG, 2007).

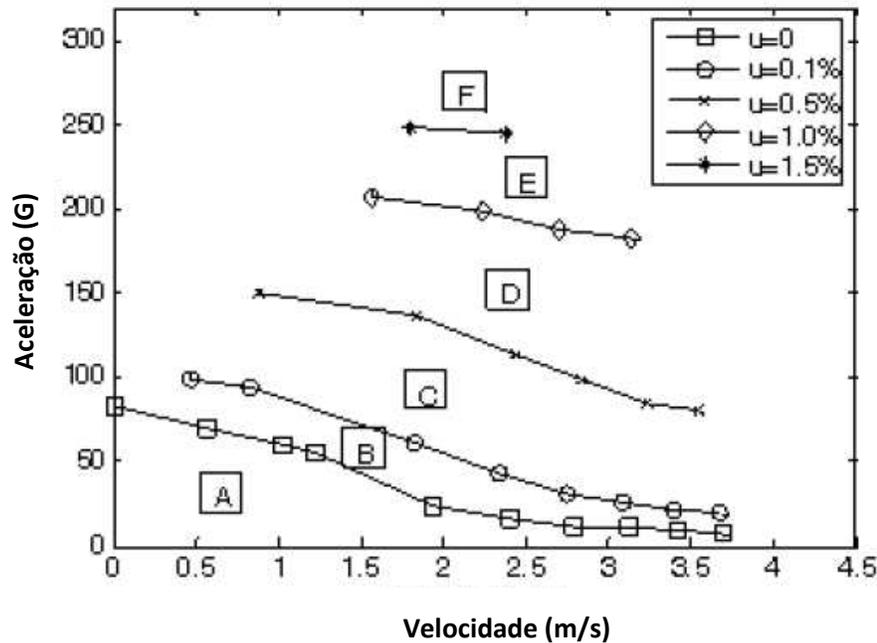


Figura 4 - Limite de danos para maçãs 'Gala', onde 'u' refere-se à porcentagem de injúrias.  
Fonte: LU; WANG, 2007.

Neste contexto, o acolchoamento tem a função de evitar que as acelerações da embalagem se transmitam totalmente ao produto, através da prevenção dos movimentos do produto dentro da embalagem ou pela absorção da energia de movimento produzida pelo choque e/ou vibração, de maneira mais ou menos gradual, conforme seja maior ou menor sua capacidade de deformação. A deformação deve ser, tanto quanto possível, elástica, para que possa ter efeito repetitivo. Entretanto, uma deformação permanente quase sempre ocorre, dependendo do material, quando o esforço é muito intenso ou muito prolongado (IPT, 1975; RAMSLAND, 1989).

A proteção proporcionada pelo acolchoamento pode ser prejudicada pela perda de espessura ao longo do tempo sob carregamento na embalagem. Além de o produto tornar-se solto no acolchoamento, este pode ser insuficiente para protegê-lo de choques. Como regra geral, o limite aceitável de perda da espessura é no máximo 10% (MARCONDES et al., 2003; MCKINLAY, 2004).

As vibrações e acelerações sofridas pelo produto dependem de muitas variáveis, entre elas, os equipamentos e técnicas de manuseio de carga e o tipo de transporte (BORDIN, 1994; DANTAS, 2002; MCKINLAY, 2004). No transporte rodoviário, por exemplo, estas variáveis dependem das condições da estrada; no ferroviário, dos choques de manobras de engate das composições; no transporte marítimo, dos sistemas de propulsão de navios e no transporte aéreo, das acelerações verticais ocasionadas pela decolagem, aterrissagem e turbulências (IPT, 1975). As vibrações e impactos provenientes dos veículos de transporte podem alcançar valores danosos aos produtos transportados (Tabela 4).

Tabela 4 - Vibrações e forças de aceleração em transporte de produtos embalados.

Veículo em movimento	Frequência (Hz)	Força de aceleração (G)
Vagão de trem	0,9 - 1100	0,1 – 2
Caminhão	0,08 - 500	0,03 – 2
Navio	1,0 - 1100	0,05 - 0,3

Fonte: HANLON; KELSEY; FORCINIO, 2000.

No segmento alimentício, praticamente todos os produtos comercializados no Brasil são transportados através do modal rodoviário. Em 2009, a pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte revelou que dos trechos rodoviários brasileiros avaliados, 69,1% foram considerados regular e ruim, o que reflete no aumento da probabilidade de danos aos produtos transportados (Confederação Nacional do Transporte - CNT, 2009).

Independente do tipo de transporte, os choques mais severos estão associados, em geral, às operações de manuseio da embalagem, as quais, normalmente, resultam em quedas sob o chão ou plataforma (GARCIA; FARIA,

1991a). Portanto, as características dinâmicas do produto determinarão a necessidade ou não do uso de materiais para acolchoamento, isto é, se a variação de velocidade crítica do produto for menor que a encontrada em sua distribuição, então há necessidade de acolchoamento. Assim, os efeitos do choque e vibração devem ser considerados simultaneamente, devendo-se especificar um acolchoamento que confira proteção adequada para ambos. Para tal, deve-se dispor de dados relativos aos materiais de acolchoamento, através da análise simultânea de curvas de acolchoamento e de transmissão de vibração, visando à seleção do material apropriado e mais econômico (GARCIA; FARIA, 1991b).

### **2.3.3 Construção de Curvas de Acolchoamento**

O nível de proteção que a embalagem oferece ao produto pode ser medido por instrumentos de impacto que revelam a quantidade de choque medida em aceleração. Para materiais de acolchoamento, o nível de proteção ao choque é transmitido em forma de curvas de acolchoamento, tais como a Figura 5. Estas curvas mostram no eixo horizontal, o choque transmitido por determinada espessura do material, durante o impacto de uma carga estática sobre o acolchoamento estudado (peso do produto dividido pela sua área ocupada no acolchoamento) e no eixo vertical, a desaceleração (DAUM; BATT, 2009; NAGANATHAN; HE; KIRKPATRICK, 1999).

Através destas curvas, pode-se selecionar, por exemplo, o material mais adequado à proteção do produto e a espessura do acolchoamento necessária para suportar um dado valor de compressão estática, a fim de que o choque resultante de uma determinada altura não ultrapasse o limite de dano suportável pelo produto. Além disso, em função da espessura do material de acolchoamento, é possível determinar a área de apoio necessária para que o choque, com queda conhecida, não tenha aceleração superior à crítica (IPT, 1975).

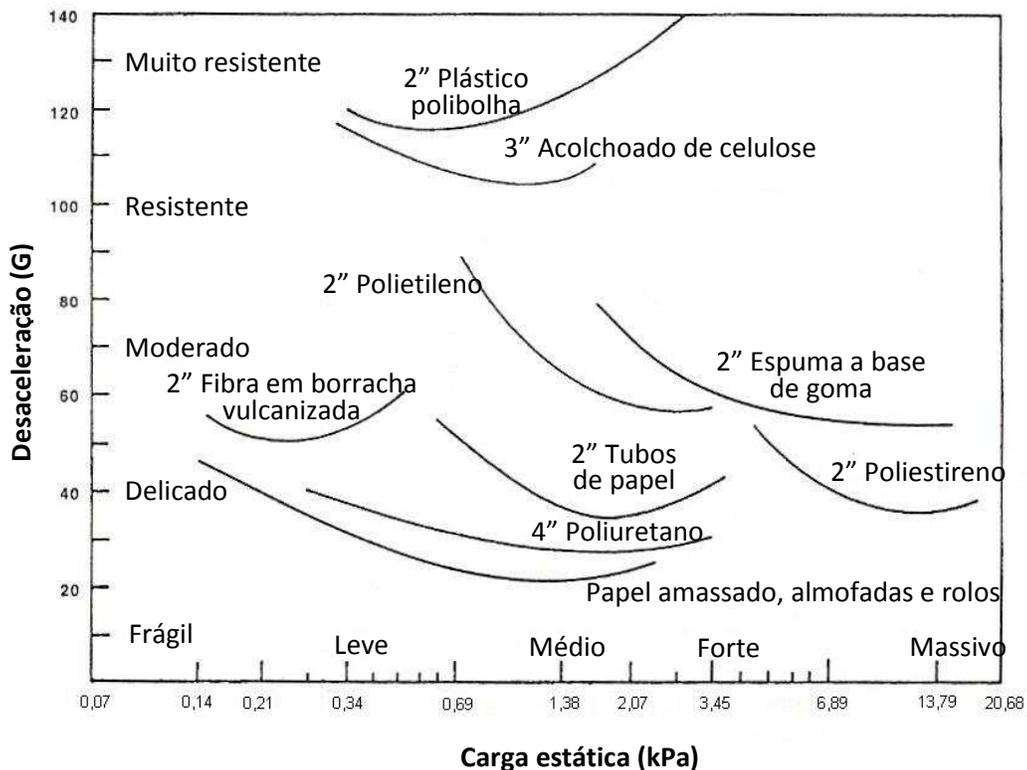


Figura 5 - Curvas de acolchoamento para vários tipos de materiais proporcionando diferentes níveis de proteção, para altura de queda de trinta polegadas e temperatura ambiente de 21°C.

Fonte: HANLON; KELSEY; FORCÍNIO, 1998 (Adaptado).

As curvas de acolchoamento são geralmente construídas com base nas normas da ASTM D1596 e ASTM D4128, em geral para uma altura de queda de setenta e seis centímetros (FIEDLER, 1988; MCKINLAY, 2004; SINGH; CHARNNARONG; BURGESS, 1993). Contudo, na prática, a provável altura de queda de um produto depende do seu peso e do modo de distribuição. A Tabela 5 resume as prováveis alturas de queda em função do ambiente de distribuição (PELEG, 1985).

A frequência de ocorrência das alturas de queda em determinado ambiente de distribuição de produtos também já foi avaliada (PELEG, 1985). Em termos de probabilidades, a altura de queda é inversamente proporcional ao peso do produto, conforme a Figura 6.

Tabela 5 - Altura de queda comumente ocasionada em função do peso da carga e do meio de distribuição.

Peso da carga (kg)	Tipo de distribuição	Provável altura de queda (m)
0 – 10	Arremesso por um operador	1,10
10 – 25	Carregamento por um operador	0,80
25 – 70	Carregamento por dois operadores	0,70
70 – 250	Equipamento manual para distribuição de carga leve	0,60
250 – 500	Equipamento motorizado para distribuição de carga leve	0,45
500 – 2000	Equipamento para distribuição de carga média	0,30
≥ 2000	Equipamento para distribuição de carga pesada	0,20

Fonte: PELEG, 1985 (Adaptado).

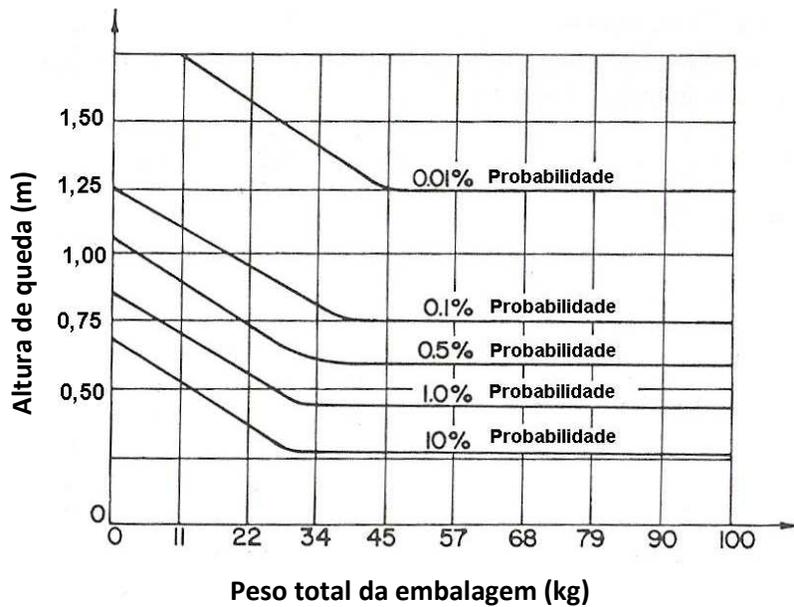


Figura 6 - Probabilidades de altura de queda em função do peso do produto.

Fonte: SHIOWITZ, 1974 (Adaptado).

### 2.3.4 Avaliação da Vibração

Além do choque, as vibrações durante a distribuição podem trazer conseqüências ao produto a ponto de provocar danos mecânicos ou desperdícios, tais como, separação de fase em produtos emulsificados, danos físicos e mecânicos em frutas e vegetais e danos em rótulos devido à fricção (MACKSON; SINGH, 1991; SINGH; BURGESS; XU, 1992).

Em geral, os danos causados pelas vibrações ocorrem quando o produto ou parte do produto é excitado na sua freqüência de ressonância. Contudo, há casos em que uma determinada região é afetada, não pela sua própria vibração, mas pela vibração em ressonância de alguma parte próxima (BORDIN, 1994). Por outro lado, o efeito da fadiga da vibração causará certo grau de danos ao produto, mesmo quando o nível de vibração não está dentro da área de ressonância. Este comportamento pode ser freqüentemente visto em embalagens para frutas, onde a casca da fruta, muito sensível, é injuriada devido à vibração (GE, 2000).

As vibrações são frequentes durante o transporte e distribuição devido ao movimento da carga. Em caminhões, por exemplo, sua suspensão e estrutura transmitem as vibrações mecânicas produzidas ao longo do percurso para o assoalho do veículo e, conseqüentemente, as embalagens localizadas nesta superfície, recebem as vibrações produzidas (MARCONDES, 1997). Estudos afirmam que são comuns vibrações de níveis mais elevados ocorrerem no eixo traseiro e na direção vertical de caminhões, ocasionando danos aos produtos que são colocados nestes locais (SINGH, ANTLE, BURGESS, 1992). Tais diferenças também foram observadas em unidades paletizáveis, onde o topo de caixas para pêra apresentou maior nível de aceleração pela vibração do que as caixas em contato com a mesa de vibração (SLAUGHTER; HINSCH; THOMPSON, 1993). Para medir estas vibrações, a maioria das aplicações em embalagens utiliza acelerômetros (BARCHI et al., 2002; BERARDINELLI et al., 2005; JARIMOPAS; SINGH; SAENGNIL, 2005) os quais produzem um sinal de produção elétrico

proporcional à aceleração. Em geral, esses sensores são montados na superfície do assoalho do caminhão ou da embalagem e conectados em dispositivos de gravação (MARCONDES, 1997).

Em laboratório, os ensaios de vibração são comumente realizados pelos modos: senoidal e randômico. O ensaio senoidal é utilizado para identificar a frequência de ressonância de um produto, um material de embalagem ou uma embalagem completa. Os ensaios de vibração randômica são utilizados para avaliar o desempenho de protótipo de embalagens e sistemas de embalagens, mas podem ser também utilizados para testar a transmissibilidade de vibração de materiais de acolchoamento. Ambos os ensaios podem ser realizados, utilizando um equipamento de vibração eletrohidráulico montado sob uma massa sísmica (MARCONDES, 1997). O objetivo dos ensaios de vibração randômica é simular em laboratório os danos que a embalagem poderá ser submetida no ambiente de distribuição. Estes testes determinam de modo efetivo, como o sistema de embalagem pode oferecer proteção ao produto (SINGH; BURGESS; XU, 1992).

Segundo Bordin e Garcia (1993), a dificuldade encontrada para medir o desempenho do acolchoamento em transportes é a inexistência de normas ou padrões nacionais que conduzam a uma uniformização dos diferentes resultados. A utilização das normas americanas ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e ISTA (*International Safe Transit Association*) podem ser aplicadas, considerando as diferenças das condições de tráfego e técnicas de manuseio de cargas. Portanto, o melhor critério é o conhecimento dos níveis de aceleração presentes, as frequências vibratórias encontradas e os tipos de choque que podem ocorrer, para então, baseada em análises sobre dados reais, possa ser realizada uma simulação representativa.

A ASTM D4728 recomenda análise de vibração específica através de PSDs (*Power Spectrum Density*) específicos para cada meio de transporte. O PSD descreve a intensidade de vibração de cada frequência tal como o gráfico da Figura 7, que representa o PSD para caminhão, trem e aeronave. Quanto ao tempo de ensaio, recomenda-se três horas, entretanto, o ideal é que a duração do

ensaio seja suficiente para provocar na embalagem os mesmos danos que o teste de simulação deva reproduzir (MARCONDES, 1997).

Existem alguns métodos de teste de vibração acelerada, baseados na teoria da fadiga, os quais são desenvolvidos particularmente para embalagens de transporte para frutas (KAWANO, 1987).

A vibração que ocorre durante o transporte é de natureza complexa e aleatória. O método básico de ensaio para desenvolvimento de embalagens de distribuição não consiste apenas em simular as vibrações do ambiente/sistema, mas, preferencialmente, simular sua capacidade em produzir danos (GARCIA; FARIA, 1991a).

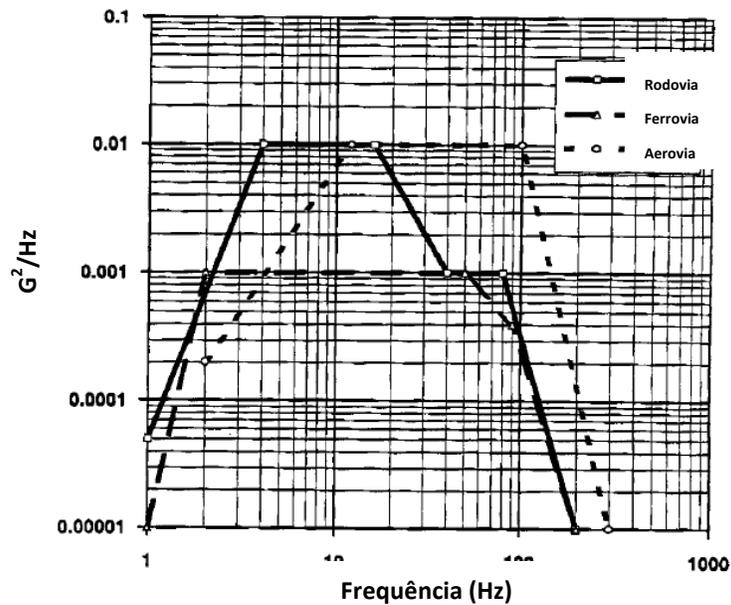


Figura 7 - PSD para os modais rodoviário, ferroviário e aéreo.

Fonte: ASTM D4728, 2006 (Adaptado).

## 2.4 Efeitos do Choque e da Vibração em Sistemas de Embalagem de Transporte para Frutas

As frutas são produtos vivos, com elevado teor de água e diversificados comportamentos quanto à morfologia, composição e fisiologia. As principais causas de deterioração são alterações metabólicas, injúrias mecânicas e ataques por pragas e doenças (POÇAS; OLIVEIRA, 2001).

As injúrias mecânicas podem ocorrer ao longo de toda a cadeia de produção, beneficiamento e comercialização (PELEG, 1985). Essas injúrias além de afetarem a aparência externa, que é fundamental no fator de compra (BISCEGLI et al., 2003), constituem-se na principal via de penetração de agentes patogênicos, que levam à deterioração e perda do alimento (LUENGO et al., 2001).

No Brasil, as perdas pós-colheita de frutas e hortaliças, desde o campo até a mesa do consumidor, são estimadas em torno de 30%. Contudo, estes dados apresentam restrições, pois em geral, revelam uma situação específica, tais como: um período de tempo, um segmento da cadeia de distribuição e pós-colheita, um determinado local ou apenas algumas frutas ou hortaliças (HENZ, 2009). Dentre as causas de perdas pós-colheita de frutas e hortaliças no país, as mais importantes são o manuseio e o uso de embalagens inadequadas e as conseqüentes injúrias mecânicas causadas ao produto (LUENGO; CALBO, 2006).

O transporte das frutas do campo até os centros distribuidores quase sempre provoca injúrias às frutas, principalmente em rodovias com péssimo estado de conservação. Durante a exposição e comercialização, as frutas continuam sendo danificadas devido ao manuseio inadequado das embalagens nas etapas de carga e descarga (SANCHES et al., 2003). Mas, segundo Lichtemberg (1999), é no momento do acondicionamento que a fruta sofre os maiores danos, devido à utilização de embalagens inadequadas e ao excesso de carga nelas acondicionada. Sanches et al. (2003) observaram que em uma caixa

“torito”, por exemplo, com capacidade para 18 a 20 kg de banana, recebe em média 25 kg, que além de ser prensada, ultrapassa a altura da embalagem.

Em geral, a possibilidade de queda durante o manuseamento de embalagens ocorre entre 0,5 a 0,6 m de altura, podendo atingir 0,8 a 1 m. Assim, é fundamental desenvolver embalagens com resistência adequada à probabilidade de quedas e treinar o profissional responsável pelo manuseio da embalagem, devido ao agravante da distribuição manual pouco cuidadosa.

Além da influência na resistência ao empilhamento, a vibração durante o transporte pode causar injúrias aos frutos por abrasão. Para evitar tais danos, o espaço livre da embalagem deve ser minimizado e os produtos devem ser adequadamente acolchoados, devido à sensibilidade da casca (POÇAS; OLIVEIRA, 2001).

As embalagens de distribuição para alimentos são normalmente acondicionadas em embalagem de papelão ondulado. Nestes casos, em geral, o uso de materiais de acolchoamento não é tão necessário, pois a embalagem de papelão ondulado confere certa proteção, absorvendo parte da energia resultante de choques e vibrações inerentes ao sistema de transporte e distribuição (GARCIA; FARIA, 1991b). E quando a estrutura ondulada é multicamada há maior capacidade de resistir aos choques e a energia absorvida é significativamente maior do que a monocamada (DONGMEI, 2009).

Papéis de seda, palha de madeira, bandejas de polpa moldada e redes de polietileno expandido são componentes comumente encontrados nas embalagens de comercialização de frutas e hortaliças (Figura 8).

Goyal e Ilyas (2003) avaliaram a grama, a palha e o papel como materiais de acolchoamento para o transporte de tomates em diferentes tipos de embalagens secundárias e concluíram que todos os sistemas de embalagem contendo materiais de acolchoamento inibiram as injúrias mecânicas, com melhores resultados para caixas de papelão ondulado e palha. Apesar disso, tal sistema demanda alto custo por ser utilizado apenas uma vez.



Figura 8 - Exemplos de sistemas de acolchoamento para comercialização de frutas, na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo - CEAGESP.

Contudo, muitos produtos hortifrutigranjeiros ainda são transportados a granel. É o caso da melancia, abacaxi e mamão, em que a embalagem é a carroceria do caminhão e o uso de palha seca ou capim (Figura 9) que contribui com a redução das injúrias mecânicas na carga, mas existe a possibilidade de abrigar animais peçonhentos (LUENGO; CALBO, 2006).



Figura 9 - Transporte de abacaxi a granel, utilizando capim.

Santos et al. (2008) avaliaram o comportamento pós-colheita de mamão Formosa híbrido, submetidos às diferentes formas de acondicionamento e concluíram que o transporte a granel promoveu alterações na qualidade pós-colheita do fruto, com aumento no índice de cor da casca, redução na firmeza da polpa, elevada perda de massa fresca, aumento da taxa respiratória e maior grau de injúrias. Observaram, ainda, que o transporte dos frutos em caixas de papelão revestido com plástico-bolha proporcionou menor perda da qualidade pós-colheita.

De acordo com a Tabela 6, os produtos de origem vegetal que não receberem nenhum tipo de processamento industrial para o ingresso de produtos vegetais deverão ser enquadrados nas categorias de risco fitossanitário. As fibras vegetais processadas são classificadas na categoria 0, enquanto que as fibras semi-processadas assim como palhas e cascas pertencem à categoria 2. Contudo, o produto vegetal pode ser classificado como material que não represente risco, para isso é necessário que receba tratamento tecnológico solicitado na norma, dentre eles citam-se: a cocção, a pasteurização e a esterilização (BRASIL, 2004).

Tabela 6 - Categorias de risco fitossanitário para produtos vegetais e não-vegetais, segundo a instrução normativa nº23 do Governo Federal, de 02 de agosto de 2004.

Categoria	Descrição
Categoria 0	Produtos que mesmo sendo de origem vegetal, pelo seu grau de processamento, não requerem nenhum tipo de controle fitossanitário e, portanto, não requerem intervenção da Organização Nacional de Proteção Fitossanitária (ONPF) e que não são capazes de veicular pragas em material de embalagem ou de transporte.
Categoria 1	Produtos de origem vegetal industrializados, que foram submetidos a qualquer processo tecnológico de desnaturalização que os transforma em produtos incapazes de serem afetados diretamente por pragas de cultivos, mas que podem veicular pragas de armazenamento e em material de embalagem e meios de transporte, destinados ao consumo, uso direto ou transformação.
Categoria 2	Produtos vegetais semiprocessados (submetidos à secagem, limpeza, separação, descascamento, etc.) que podem abrigar pragas e destinados ao consumo, uso direto ou transformação.
Categoria 3	Produtos vegetais <i>in natura</i> destinados a consumo, uso direto ou transformação.
Categoria 4	Sementes, plantas ou outros materiais de origem vegetal destinados à propagação e/ou reprodução.
Categoria 5	Qualquer outro produto de origem vegetal ou não vegetal, não considerados nas categorias anteriores e que implicam um risco fitossanitário, podendo ser comprovado de acordo com a correspondente ARP.

Fonte: BRASIL, 2004.

Os diferentes tipos de embalagens utilizadas durante a cadeia de comercialização de produtos hortícolas interferem diretamente sobre sua qualidade. Em geral, a tradicional caixa de madeira é considerada como a que proporciona maiores índices de injúrias mecânicas e contaminação microbiológica, comparada às de plástico e de papelão (LUENGO; CALBO, 2006; SMITH et al., 2003).

Segundo uma pesquisa realizada pela CEAGESP (Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo), nos últimos anos houve diminuição no uso de embalagens de madeira e crescimento na utilização de embalagens de papelão ondulado e plásticas para a comercialização de produtos

hortícolas. Na Figura 10 verifica-se a evolução das embalagens de frutas comercializadas na CEAGESP de 2004 a 2007 (GUTIERREZ; FANALE; WATANABE, 2009).

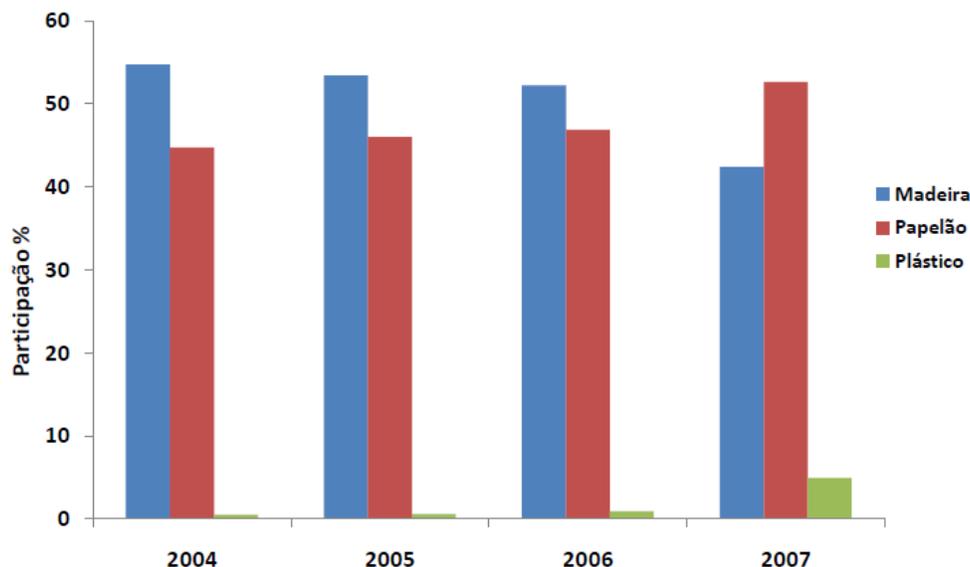


Figura 10 - Evolução das embalagens de frutas de 2004 a 2007, na CEAGESP.

Fonte: O ENTREPOSTO, 2010.

As embalagens de madeira são tradicionalmente usadas para acondicionamento e transporte de frutas e hortaliças ao mercado intermediário, atacadista e varejista, devido à proteção mecânica e facilidade no empilhamento. Os principais tipos de embalagens de madeira utilizadas para o acondicionamento e o transporte de frutas são: a caixa K, a caixa M, a caixa torito e o engradado. Contudo, a maioria destas embalagens é áspera, reutilizada sem higienização, possui medidas externas não paletizáveis e às vezes, utiliza capim para proteção do produto. Em geral, as conseqüências para os produtos acondicionados são: injúrias mecânicas por abrasão, possibilidade de contaminação microbiana e inadequação para carga ou descarga mecanizada (LUENGO; CALBO, 2006; SMITH et al., 2003).

Com a expansão dos plásticos, a madeira vem sendo substituída gradualmente por caixas de poliestireno, polipropileno e polietileno (SMITH et al., 2003). Podem ser reutilizadas, lavadas e higienizadas, permitindo eliminar a contaminação e a propagação de problemas fitossanitários entre os produtos agrícolas. Além destas vantagens, essas embalagens são leves, resistentes, reduzem os custos do transporte, aperfeiçoam o espaço para armazenagem, possibilitam a ventilação dos produtos, reduzem o custo operacional devido à sua boa vida útil, preservam os produtos de danos físicos e aumentam a segurança da carga, devido à possibilidade de vários formatos sem cantos vivos e auto-ajustáveis (LUENGO; CALBO, 2006).

Apesar de não transmitirem doenças, as caixas de papelão ondulado apresentam resistência mecânica bastante dependente da umidade e são utilizadas em menor escala do que as de madeira, por apresentar recomendação de uso único, o que pode onerar seu uso, dependendo do valor da carga ou da distância do local de produção ao local de consumo (POÇAS; OLIVEIRA, 2001; LUENGO; CALBO, 2006). Em geral, as caixas de papelão são as que proporcionam um melhor acondicionamento ao produto, com menores danos físicos, quando comparadas às tradicionais caixas de madeira. Maia et al. (2008) identificaram os tipos e a intensidade de dano mecânico em diversas etapas do processo entre a colheita e a comercialização no mercado varejista da banana 'Prata-Anã' e observaram que o uso da caixa de papelão reduziu a incidência e a intensidade de dano mecânico no fruto, em relação às embalagens de madeira e plástico. Entretanto, em estudo desenvolvido por Sanches et al. (2003), a embalagem de papelão não se mostrou adequada para bananas, por resultar em aumento significativo dos defeitos graves.

Quanto à regulamentação para o acondicionamento dos produtos hortícolas *in natura* em embalagens próprias para a comercialização, a leis federais estabelecem para as embalagens: (1) devem possuir dimensões externas que permitam empilhamento; (2) devem ser mantidas íntegras e higienizadas; (3) podem ser descartáveis ou retornáveis, sendo que as retornáveis devem ser

resistentes ao manuseio, às operações de higienização e não devem ser veículos de contaminação e (4) devem estar de acordo com as normas de Boas Práticas de Fabricação e às normas higiênico-sanitárias relativas aos alimentos.

Na cidade de São Paulo-SP, a legislação é ainda mais rigorosa. Entre outras providências, a Lei nº 14.264, de 06 de fevereiro de 2007, estabelece que os atacadistas e os varejistas sejam os responsáveis pelo recolhimento e reciclagem das embalagens descartáveis e pela higienização após cada uso das caixas retornáveis. Além disso, proíbe o ingresso em território paulistano de alimentos hortifrutícolas *in natura*, destinados aos estabelecimentos localizados na cidade de São Paulo, armazenados em caixas ou engradados de madeira que não estejam previamente tratadas contra ameaças fitossanitárias, as quais só podem ser reaproveitadas depois de nova esterilização (SÃO PAULO, 2007).

#### **2.4.1 Injúrias Mecânicas**

A ausência de legislação para o transporte de produtos perecíveis tais como as frutas, contribui para que o transporte seja inadequado, elevando o índice de perdas pós-colheita (JACOMINO; BRON; KLUGE, 2003).

Durante o transporte e a distribuição, as injúrias mecânicas são provocadas por forças externas, em geral, forças de impacto, compressão e vibração, as quais podem ocorrer entre frutos adjacentes e entre o fruto e as arestas das embalagens. Tais forças podem causar diferentes lesões físicas, tais como: abrasões, cortes, rupturas e amassamentos, tornando as frutas e hortaliças mais susceptíveis à infecção por muitos patógenos (JARIMOPAS et al., 2007; PELEG, 1985; SOUZA, HENZ, PEIXOTO, 2005). Contudo, estas modificações dependem das características do fruto, pois alguns produtos são mais susceptíveis à compressão do que ao impacto ou à vibração (SILVA; CALBO, 1992).

As injúrias por impacto são geralmente provocadas pelo manuseio inadequado e devido às acelerações e freadas bruscas dos veículos durante o

transporte, resultando na queda dos produtos e das embalagens (POÇAS; OLIVEIRA, 2001). As injúrias causadas por compressão podem ocorrer pela pressão variável do fruto contra qualquer outro objeto e ainda pelo empilhamento incorreto e resistência deficiente da embalagem, o que faz com que o produto suporte parte do peso da carga (LU; WANG, 2007; POÇAS; OLIVEIRA, 2001). Às vezes, as injúrias por vibração ocorrem durante o transporte, devido ao movimento rotacional do fruto solto na embalagem, gerando pequenos impactos múltiplos entre os frutos adjacentes, o que resulta na despigmentação da região afetada ou uma faixa escurecida ao redor do fruto (PELEG, 1985; SLAUGHTER; HINSCH; THOMPSON, 1993). Na maioria das vezes, as injúrias por vibração provocam abrasões superficiais, podendo causar a remoção do tecido. Tais lesões podem ser evitadas com o uso de sistemas de acolchoamento, principalmente em produtos com a epiderme mais sensível (POÇAS; OLIVEIRA, 2001; SOUZA; HENZ; PEIXOTO, 2003).

O mecanismo das injúrias mecânicas de frutos frescos pode ser compreendido através do desenvolvimento de modelos matemáticos que predizem a produção de injúrias, através de parâmetros físicos tais como o diâmetro de contato entre: dois frutos, o fruto e uma superfície plana e rígida ou ainda entre o fruto e uma superfície côncava e esférica, tais como em bandejas (PELEG, 1985).

Contudo, além de provocar deformações plásticas e rupturas superficiais nos tecidos vegetais, as injúrias mecânicas desencadeiam uma série de modificações fisiológicas, químicas e bioquímicas que modificam a cor, o aroma, o sabor e a textura dos vegetais (MOHSENIN, 1986). Dessa forma, as injúrias mecânicas podem ser avaliadas através de métodos indiretos, utilizados principalmente quando as lesões não são diretamente visíveis (PELEG, 1985). Dentre as análises utilizadas podem ser citadas: alterações na cor, perda de peso e taxa de respiração do fruto.

As injúrias em órgãos de plantas em geral, provocam aumento temporário e localizado da respiração, formação de etileno, rápida reciclagem de constituintes celulares e às vezes, acúmulo de metabólitos secundários específicos ou produtos

que parecem ter função protetora. A cicatrização, por exemplo, representa uma resposta dos órgãos vegetais ao estresse. A formação de uma barreira cerosa ou de uma camada lignificada é importante em alguns produtos, já que elas podem prevenir com eficiência a invasão de micro-organismos saprófitos e deterioração subsequente (BRECHT et al., 2010).

Em frutos climatéricos, tais como mamão e manga, os danos físicos aceleram a taxa de respiração, a produção de etileno, a senescência e alterações na cor tais como, a degradação da clorofila e reações de escurecimento enzimático (BRECHT et al., 2010). Fischer et al. (1992) observaram que danos por vibração em uvas provocaram o escurecimento da epiderme, conforme o aumento das injúrias observadas ao longo do armazenamento. O autor atribuiu o escurecimento à oxidação de fenóis liberados através das rupturas de células vegetais, devido às forças de vibração.

De maneira geral, as injúrias mecânicas estressam o vegetal e aceleram a desidratação (SOUZA; HENZ; PEIXOTO, 2003). A perda excessiva de água prejudica a comercialização de frutos e hortaliças, que em geral são constituídos de 85 a 90% de água (CHACE; PANTÁSTICO, 1975). Muitas frutas frescas tornam-se não comercializáveis, pois a água representa a maioria da massa fresca vendável e, além disso, a perda de água reduz a qualidade da aparência, da textura e do valor nutricional (BRECHT et al., 2010).

Portanto, o tecido vegetal lesionado estimula a deterioração, a senescência dos tecidos e promove o amadurecimento de frutas climatéricas, resultando em diferenças na idade fisiológica, entre os tecidos intactos e os injuriados (LUENGO et al., 2003).

#### **2.4.2 Mamão**

O mamão (*Carica papaya* L.) é uma das frutas tropicais mais comercializadas no mundo (CHONHENCHOB; SINGH, 2005). Segundo dados da

FAO, depois da Índia, o Brasil é o segundo maior produtor com cerca de 1.890 toneladas produzidas em 2008 (FAO, 2010). Dentre os Estados Brasileiros, a Bahia se destaca com a maior produção, seguido pelo Espírito Santo, que em 2007, totalizaram cerca de 85% de toda a produção brasileira (AGRAFNP, 2010).

O mamão é considerado uma das frutas, mais sensíveis, delicadas, com maior teor de água e, por isso, é altamente suscetível aos ferimentos (LUENGO; CALBO, 2006; SOUZA; HENZ; PEIXOTO, 2003). A epiderme do mamão é de espessura muito fina o que facilita a invasão de micro-organismos através de rupturas e abrasões causadas por forças mecânicas (TIMM; BROWN, 1991). Dentre as variedades do mamão comercializado na CEAGESP (Figura 11), a 'Sunrise' é a que apresenta menor espessura da epiderme, conforme a Tabela 7.

Em geral, os mamões destinados ao mercado interno são transportados a granel em caminhões convencionais. Tal prática expõe as frutas às condições inadequadas para sua conservação. O transporte a granel dificulta a distribuição do produto e contribui com a ocorrência de injúrias mecânicas. Devido à alta suscetibilidade a estas lesões, os mamões destinados ao transporte rodoviário são geralmente colhidos em estágios verdes, prejudicando a qualidade final do produto (JACOMINO; BRON; KLUGE, 2003).

Na verdade, todos os níveis de amadurecimento do mamão são susceptíveis às injúrias desde abrasões, que podem ser causadas por uma altura mínima de cinco centímetros, até cortes, quando em contato com superfícies pontiagudas. Entretanto, mamões com 60% ou mais de mudança de cor são mais facilmente atingidos por injúrias internas devido ao impacto (PAULL et al., 1997; QUINTANA; PAULL, 1993). Santos et al. (2008) constaram que em mamões 'Formosa híbrida', o aumento no índice de cor da casca geralmente está associado ao grau de injúrias mecânicas, que podem acelerar o metabolismo do fruto, promovendo mudança de coloração da casca.

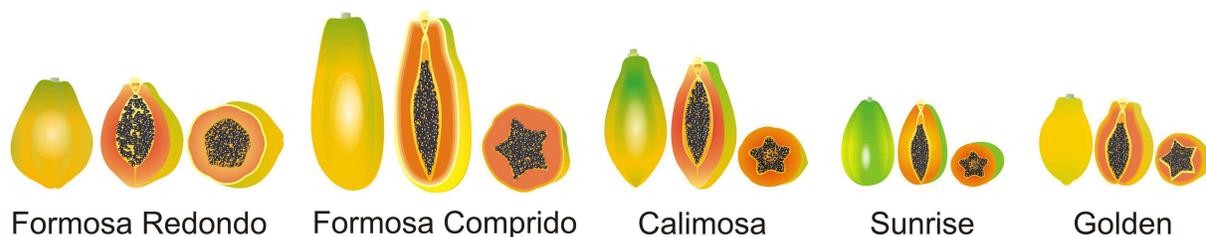


Figura 11 - Variedades de mamão comercializadas na CEAGESP.

Fonte: VARIEDADES, 2010a (Ilustrações de Borges Filho).

Tabela 7 - Caracterização das variedades de mamão, segundo a CEAGESP.

Características	Variedade de mamão				
	Formosa Redondo	Formosa Comprido	Calimosa	Sunrise	Golden
Formato	Globular pontudo	Piriforme alongado ponta arredondada	Piriforme alongado pontudo	Piriforme	Piriforme com pescoço
Formato da cavidade central	Levemente estrelado	Estrelado	Estrelado	Estrelado	Estrelado
Espessura da casca (mm)	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5
Formato da base do pedúnculo	Achatado	Achatado	Achatado	Achatado	Achatado
Tamanho da cicatriz do pedúnculo (cm)	1,7	2,5	1,0	1,0	1,0
Sulcos na superfície do fruto	Intermediário a profundo	Intermediário	Superficial	Superficial	Superficial
Cor da casca	Amarelo alaranjado	Amarelo alaranjado	Amarelo avermelhado	Amarelo alaranjado	Amarelo alaranjado
Cor da polpa	Alaranjada	Alaranjada	Avermelhada	Avermelhada	Avermelhada
Formato da base	Arredondado	Apontado	Arredondado a apontado	Arredondado	Arredondado a apontado

Fonte: VARIEDADES, 2010a.

A condição de fruto delicado exige cuidados tanto na colheita como na escolha do ponto certo de maturação da fruta, em função do tempo em que a fruta chega até o consumidor final. Neste sentido, a fruta pode ser exportada por vias aérea e marítima, com bons resultados para os exportadores (SOUZA, 2007).

A deterioração provocada por fungos está intimamente relacionada às injúrias mecânicas e constitui como uma das principais causas de perdas pós-colheita e têm dificultado as exportações marítimas (JACOMINO, BRON, KLUGE, 2003). Chonhenchod e Singh (2005) comprovaram que o uso de sistemas de embalagem adequadamente acolchoados reduz as injúrias mecânicas, melhora a comercialização e prolonga a vida de prateleira do fruto.

### **2.4.3 Manga**

A manga (*Mangifera Indica* L.) é um dos frutos mais consumidos dentre as frutas tropicais. No Brasil, a Região Nordeste é a maior produtora. Em 2007, esta região alcançou 76% de toda a produção do país, que corresponde a cerca de 971 milhões de toneladas, mas São Paulo foi o Estado com maior produção (193 milhões de toneladas) seguido de Pernambuco (183 milhões de toneladas) (AGRAFNP, 2010).

Segundo a classificação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, os frutos da mangueira podem ser reunidos em dois grupos: (1) o indiano, constituído de frutos de formato ovalado e epiderme de coloração rósea a avermelhada, procedentes de sementes monoembriônicas e pertencentes às cultivares Haden, Irwin, Keitt, Palmer, Parwin, Pavão, Pêssego, Ruby, Sensation, Surpresa, Tommy Atkins, Torbet, Van Dike e Zill 14/51, dentre outras; (2) o Indochinês, constituído de frutos de formato oblongo e epiderme de coloração esverdeada a amarelada, procedentes de sementes poliembriônicas e pertencentes às cultivares Bourbon, Coquinho, Coração de Boi, Rosa e Espada,

dentre outras (BRASIL, 2002). Na Figura 12 encontram-se algumas das variedades da manga comercializada na CEAGESP.

Dentre as variedades, a Palmer foi obtida na Flórida em 1925. O fruto caracteriza-se por tamanho grande, forma alongada e a cor amarelo-alaranjada. A polpa é firme, de sabor excelente, com pouca fibra.

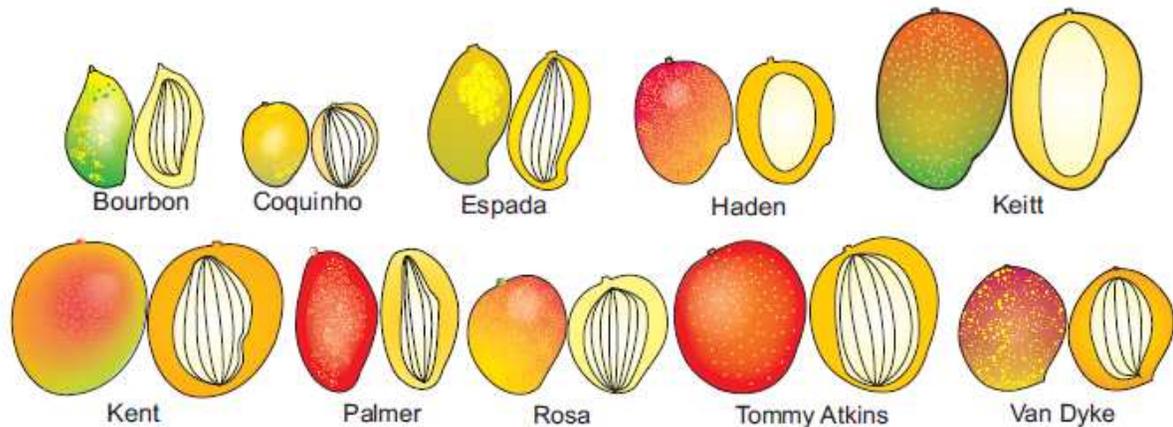


Figura 12 - Variedades de mangas comercializadas na CEAGESP.

Fonte: VARIEDADES, 2010b (Ilustrações de Borges Filho).

Em geral, a casca da manga é lisa e sua cor varia do verde ao amarelo e alaranjado e ainda ao vermelho, em algumas variedades, pois a alteração para vermelho refere-se ao lado exposto ao sol. O comprimento do fruto varia em torno de 0,04 a 0,2 m e o peso de 0,2 a 0,5 kg, na maioria das variedades. A polpa é geralmente amarela de várias tonalidades, até rosada. A semente apresenta um revestimento duríssimo e lignificado.

Poucas doenças atacam a mangueira, mas uma delas é extremamente importante, a antracnose, devido ao fungo *Colletotrichum gloeosporoides* P. que pode alterar e prejudicar seriamente a fruta. Nos frutos, manifesta-se com pequenas pústulas negras, circundadas por muitos círculos concêntricos que formam extensas manchas escuras. A infecção começa desde o início da floração e diminui até o fruto alcançar aproximadamente a metade de seu tamanho definitivo; mas a infecção pode permanecer em estado latente até a fase

avançada de maturação, em geral quando a fruta é transportada ou armazenada, e nesta fase a alteração do fruto alcança formas extremas, até seu apodrecimento. Pouquíssimas variedades apresentam tecidos resistentes à doença, que é facilitada por clima chuvoso e úmido (MARANCA, 1978).

Durante a pós-colheita, os frutos também são expostos aos distúrbios físicos tais como as injúrias mecânicas provocadas pelo manuseio inadequado da fruta, (ASSIS et al. 2003). A presença de lesões na manga é frequentemente visível devido à despigmentação, sendo que esta característica externa contribui com a perda na qualidade comercial da manga.

Experimentalmente, comprovou-se que o grau de injúrias em mangas é influenciado pelo tipo de sistema de embalagem e acolchoamento utilizado para o transporte. Caixa de papelão ondulado e engradado de plástico protege melhor a manga contra as injúrias do que os cestos de bambo. Quanto ao acolchoamento, as redes de espumas se destacam no requisito de proteção (CHONHENCHOB; SINGH, 2004).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

A etapa experimental foi desenvolvida desde a obtenção da fibra de coco até sua utilização como sistema de acolchoamento. Para melhor aplicabilidade, avaliou-se o desempenho da fibra de coco como material de acolchoamento, através de ensaios físico-mecânicos.

Durante o estudo do desempenho da fibra, materiais aglutinantes foram utilizados para a obtenção de mantas e de chapas, visando o desenvolvimento de produtos. Além disso, a palha de madeira foi utilizada como comparativo, considerando que a fibra apresenta estrutura física diferente dos materiais de acolchoamento mais comuns, apresentados nas normas técnicas, tais como as espumas moldadas.

Na aplicação da fibra de coco verde como material de acolchoamento em sistemas de embalagens para frutas, foi realizado um teste de simulação de transporte e selecionaram-se duas frutas tropicais: o mamão de estrutura bastante delicada e a manga com a epiderme mais espessa. Neste ensaio, buscou-se avaliar a eficiência da fibra de coco, comparado-a novamente com a palha de madeira e tendo como referência um sistema de embalagem sem acolchoamento. O critério utilizado para comparar o desempenho dos três sistemas foi o comportamento físico das frutas ao longo do período de armazenamento.

Os experimentos com a fibra de coco foram realizados no Laboratório de Embalagem de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. Contudo, o ensaio de choque e a simulação de transporte foram executados no Centro de Tecnologia de Embalagens do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas-SP.

A seguir, encontram-se as principais etapas do desenvolvimento experimental (Figura 13).



Figura 13 - Etapas do desenvolvimento experimental.

### 3.1 Material

A matéria-prima utilizada foi casca do coco verde resultante do descarte pós-consumo da água de coco. Esse material foi obtido em quiosques e locais de lazer, em Campinas-SP.

Para a obtenção de chapas compostas por fibra de coco, utilizaram-se como aglutinantes: (1) colofônia originária do breu, fornecida pela HPG Indústria Química Ltda., Sorocaba-SP; (2) fécula de mandioca adquirida em mercado local de Campinas-SP e (3) polpa de papel reciclado obtido de material coletado em escritórios.

Para a obtenção de mantas de fibra de coco, selecionaram-se dois tipos de aglutinantes naturais: látex de seringueira centrifugado, fornecido pela Braslátex Ind. e Com. de Borrachas Ltda., Bálamo-SP e fécula de mandioca adquirida do mercado local de Campinas-SP.

A palha de madeira foi obtida diretamente da fábrica de palhas FAPEM Ltda., Campinas-SP.

Para a etapa da simulação de transporte, foram utilizadas mangas da variedade ‘Palmer’ e mamões da variedade ‘Sunrise’, adquiridas de distribuidor da Central de Abastecimento de Campinas S.A. (CEASA-Campinas), sendo a manga

proveniente da cidade de Livramento-Ba e o mamão, de Linhares-ES. As frutas foram obtidas em caixas de papelão do tipo pré-montado, sendo posteriormente utilizadas no ensaio de simulação de transporte.

Para padronizar os experimentos, as frutas foram selecionadas, segundo o regulamento técnico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2002, 2009). Tais requisitos foram utilizados a fim de garantir a uniformidade em tamanho, coloração e padrão de qualidade. Desse modo, definiu-se para a manga: classe 400, grupo indiano, subgrupo II e categoria extra. Para o mamão: grupo 2, calibre 430 e categoria extra.

## **3.2 Métodos**

### **3.2.1 Obtenção Mecânica da Fibra de Coco**

Após a coleta, as cascas de coco passaram por uma pré-limpeza a seco para a retirada de sujidades grosseiras e, em seguida, foram desfibradas por processo mecânico a partir do coco inteiro, ou seja, sem prévia fragmentação das cascas. Neste processo, utilizou-se um equipamento mecânico desenvolvido para a pesquisa.

A fibra foi separada do pó, através de uma peneira rotatória e logo em seguida lavada em tanques, contendo hipoclorito de sódio a 200 miligramas por litro de água, durante quinze minutos.

A secagem ocorreu pela exposição ao sol, sendo que as fibras foram colocadas em bandejas para secagem ao ar livre, por aproximadamente quatro horas.

### 3.2.2 Desenvolvimento de Mantas de Fibra de Coco

#### 3.2.2.1 Testes Preliminares

Em testes experimentais, avaliou-se, individualmente, a interação da colofônia, fécula de mandioca e polpa de papel reciclado com a fibra de coco. Através de moldagem por compressão a quente, foram obtidos três tipos de chapas de materiais compostos por: fibra de coco/colofônia (FC), fibra de coco/fécula de mandioca (FF) e fibra de coco/polpa moldada (FP).

Para a moldagem, utilizou-se: molde metálico, prensa manual e estufa de secagem, obtendo-se chapas com dimensões de 150 x 100 x 2 mm. O processo de moldagem adotado resultou em compósitos com as seguintes frações em massa de fibra (Tabela 8).

Tabela 8 - Porcentagem de fibra de coco de acordo com o tipo de compósito.

FF	FC	FP
50	50	50
60	60	60
70	70	70

Na obtenção dos compósitos FC, a colofônia foi dissolvida em etanol 70%, obtendo-se solução de 10% em massa, enquanto que para os compósitos FF, realizou-se a gelatinização da fécula de mandioca em água a 5%, sob agitação e aquecimento constante a 70°C. O modo de aplicação destes aglutinantes foi variado: dispersão do aglutinante através de pulverizador manual e imersão da fibra de coco no aglutinante.

Os compósitos FP foram obtidos a partir do fracionamento manual do papel reciclado e das fibras longas em fibras curtas (5 a 50 mm). Após pesagem, as fibras e o papel foram imersos em 0,75 L de água por 30 min, facilitando a

formação da polpa em liquidificador doméstico. Para retirar o excesso de água da polpa formada por papel e fibra, utilizou-se malha de náilon que foi comprimida manualmente com rolo compressor. Em seguida, o material foi seco ao ar ambiente a 28°C/12 h e em estufa a 105 ± 2 °C, durante 1 h.

Para selecionar os materiais com melhor aglutinação, avaliou-se a resistência à tração na ruptura, através de um texturômetro universal *Stable Micro System TA XT2i Texture Analyser*. Quatro corpos de prova de cada tipo de compósito em dimensões padronizadas (120 x 1 x 15 mm) foram ensaiados à velocidade de 3 mm/s.

### **3.2.2.2 Processo de Obtenção**

As fibras de coco foram utilizadas para o desenvolvimento de mantas no seu estado normal e mantas agregadas com dois tipos de aglutinantes naturais: látex centrifugado e fécula de mandioca.

Todas as mantas foram obtidas nas dimensões dos corpos-de-prova para o ensaio de choque (200 x 200 x 25 mm). As mantas sem aglutinante foram dispostas manualmente, enquanto que na preparação das mantas com aglutinantes, o látex foi diluído em água a 5% de sólidos de borracha e obteve-se o gel a 5% de fécula. Os aglutinantes foram aspergidos sobre as fibras, através de um pulverizador pneumático. O material foi depositado em um molde de papelão nas dimensões necessárias ao ensaio de choque e o conjunto foi seco ao sol por 30 min, seguido da retirada do molde e secagem da manta ao sol por 4 a 5 h (Figura 14).



Figura 14 - Processo de secagem das mantas de fibra de coco.

Após a secagem, obtiveram-se mantas, contendo aproximadamente 16% de látex e 40% de fécula por peso seco (massa/massa) com densidade de aproximadamente  $0,03 \text{ g/cm}^3$ .

### 3.2.3 Avaliação Físico-mecânica

#### 3.2.3.1 Comprimento Médio

Considerando que o método de desfibramento das cascas visou à obtenção de fibras longas, o comprimento de cem fibras foi medido individualmente à temperatura ambiente  $26 \pm 2^\circ\text{C}$ , através de um paquímetro com precisão de 1 mm. A medida foi realizada entre as extremidades da fibra, a qual foi estendida e não esticada (WEI; GU, 2009).

#### 3.2.3.2 Isoterma da Fibra

Neste método, uma amostra de aproximadamente 0,002 kg de fibras foram pesadas em uma balança analítica da marca Toledo - modelo AR 2140, com

resolução de 0,001 g. Determinou-se a massa antes da permanência da amostra por 24 h em estufa à temperatura  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até o peso constante. Após resfriamento até a temperatura ambiente em dessecador, contendo sílica, a pesagem foi realizada novamente.

Para a construção da curva de sorção, utilizou-se um medidor de atividade de água da Decagon modelo *Pawkit*, para medir a atividade de água da amostra em intervalos de 15 min, 30 min e 1 h. Neste período, foi medido o peso da amostra armazenada em um ambiente com umidade saturada, utilizando um dessecador com água.

### 3.2.3.3 Ensaio de Choque

A capacidade de absorção de choque da fibra de coco foi avaliada em teste de queda livre, baseado na ASTM D 4168 (2002). Neste ensaio, placas de madeira foram utilizadas como carga estática submetidas à queda livre vertical, sob corpos de prova feitos de fibra de coco, com a finalidade de determinar a capacidade da fibra para desacelerar o impacto. Como dispositivo de queda, utilizou-se: (1) uma máquina de ensaio de choque MTS, modelo 868, com programador de choques senoidais de 2 ms de duração, registrados por (2) um acelerômetro PCB, modelo 8626M01, fixo à mesa de choque e por (3) um acelerômetro Dytran, modelo 3105<sup>a</sup>, (4) fixado nas placas utilizadas como carga estática sobre os materiais de acolchoamento e (5) uma caixa de madeira utilizada como porta-amostra (Figura 15). A análise de sinais foi realizada por um software GHI Wincat, versão 2.00, com filtro de 500 Hz.

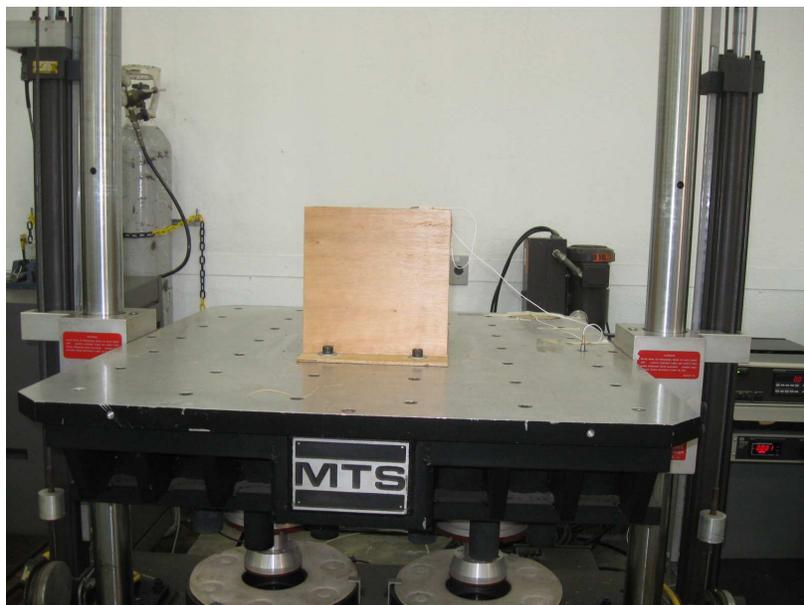


Figura 15 - Dispositivo utilizado para o ensaio de choque.

Os ensaios foram aplicados em corpos de prova de fibra de coco solta e na forma moldada. Para fins de comparação, utilizou-se a palha de madeira.

O ensaio de choque foi conduzido à temperatura ambiente de  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  e de umidade relativa de  $60 \pm 6\%$ , mas anteriormente, todos os corpos de prova foram condicionados a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $50 \pm 2\%$ , controladas durante vinte e quatro horas (NBR 6740, 1994).

Para avaliar o comportamento da fibra de coco sob choque, optou-se pelas seguintes condições:

- a) altura de queda: utilizou-se altura de queda mínima permitida pela máquina de choque igual a 0,3 m, resultando em 2,43 m/s de velocidade de queda;
- b) pressão estática: avaliou-se de 0,11 a 0,94 kPa, faixa que se enquadra na categoria leve (Figura 5);
- c) quantidade em massa dos corpos de prova: considerando a dificuldade em fixar a espessura de materiais a granel, optou-se por avaliar os materiais em função da massa e não em função da espessura, como é o habitual.

Foram realizados quarenta ensaios para cada tipo de material, sendo que em cada ensaio utilizou-se um corpo de prova. O planejamento da Tabela 9 resume os quarenta ensaios realizados.

Tabela 9 - Planejamento dos ensaios de choque com a fibra de coco e palha de madeira a granel, conforme pressão estática e massa do corpo de prova.

Massa (kg)	Pressão (kPa)									
	0,11	0,18	0,28	0,38	0,48	0,55	0,65	0,74	0,84	0,94
0,025	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,050	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,075	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0,100	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

Após a análise dos ensaios acima, avaliaram-se os melhores pontos da curva da fibra de coco, em relação ao nível de proteção, e repetiram-se os ensaios para uma altura de queda padrão de 0,75 m. Neste ensaio, foi possível estimar a perda de espessura após cada impacto, através da leitura em centímetros da compressão da carga estática sob a amostra.

Nos ensaios com a fibra de coco moldada, a estrutura do material foi avaliada em função da espessura. Os demais parâmetros foram os mesmos do ensaio anterior, contudo foram aplicados apenas cinco valores de pressão estática. Na Tabela 10, encontra-se o planejamento de dez ensaios aplicados para cada tipo de material moldado.

Tabela 10 - Planejamento dos ensaios de choque com a fibra de coco moldada, conforme pressão estática e espessura do corpo de prova.

Espessura (m)	Pressão (kPa)				
	0,11	0,18	0,28	0,38	0,48
0,025	1	2	3	4	5
0,050	6	7	8	9	10

### 3.2.4 Aplicação da Fibra de Coco em Sistemas de Embalagem para Frutas

#### 3.2.4.1 Ensaio de Simulação de Transporte

As frutas selecionadas foram analisadas fisicamente quanto ao surgimento de defeitos e acondicionadas em três diferentes sistemas de embalagem: caixa de papelão ondulado sem acolchoamento (sistema 1), caixa de papelão ondulado com fibra de coco (sistema 2) e caixa de papelão ondulado com palha de madeira (sistema 3).

Para comparar o desempenho entre a fibra de coco e a palha de madeira, utilizou-se, separadamente, 0,19 g/cm<sup>2</sup> de cada material como preenchimento solto no interior das caixas de papelão. Este valor foi baseado nas curvas de acolchoamento e na capacidade volumétrica das embalagens.

O delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) foi utilizado no ensaio de simulação de transporte, segundo o esquema fatorial 2 x 3 (dois tipos de frutas e três sistemas de embalagem), totalizando seis tratamentos (Tabela 11), com duas repetições para cada tratamento.

Tabela 11 - Tratamentos utilizados no ensaio de simulação com os respectivos sistemas de embalagem para manga e mamão.

Tratamentos	Sistemas de Embalagem
M	Mamão; sistema 1
FM	Mamão; sistema 2
PM	Mamão; sistema 3
G	Manga; sistema 1
FG	Manga; sistema 2
PG	Manga; sistema 3

Para simular o transporte rodoviário, o ensaio foi executado de acordo com o procedimento da ASTM D4728 (2006), sendo aplicado o PSD para caminhão

(Figura 7), com valor médio eficaz na aceleração de 0,52 G, durante 1 h a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  e  $55 \pm 1\%\text{UR}$ .

As embalagens com as frutas foram colocadas diretamente sobre uma mesa de vibração MTS, modelo 891, com 1,5 x 1,5 m e cinco toneladas de força dinâmica, controlada em vibração pelos equipamentos MTS, modelo 407 *Controller* e *SignalCalc 550 Vibration Controller*. Devido ao número de caixas, o ensaio ocorreu em duas etapas, utilizando-se uma cinta para restringir a movimentação lateral do conjunto (Figura 16).



Figura 16 - Disposição das embalagens na mesa de vibração:

a) 1º ensaio; b) 2º ensaio.

### 3.2.4.2 Avaliação do Nível de Proteção dos Sistemas de Embalagem

Após a simulação, os mamões foram armazenados por seis dias e as mangas por oito dias, em sala climatizada a  $24,5 \pm 2^{\circ}\text{C}$  e  $60 \pm 5\% \text{UR}$ .

O desempenho da fibra de coco como material de acolchoamento foi avaliado através dos resultados das análises físico-químicas do mamão e da manga. Estes resultados foram comparados aos demais sistemas e resultou na quantificação do índice de injúrias, perda de peso, coloração da epiderme e taxa respiratória.

Para todas as análises selecionaram-se, aleatoriamente, dez mamões e dez mangas de cada tratamento, os quais foram avaliados no dia anterior à simulação (tempo zero) e diariamente durante os dias de armazenamento.

Os resultados foram analisados estatisticamente, através da análise de variância (ANOVA); as médias de cada tratamento foram testadas quanto à significância e comparadas entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), exceto para a análise da incidência de injúrias.

#### a) Injúrias Mecânicas

A epiderme das frutas foi avaliada visualmente e classificada quanto à ausência ou presença de defeitos graves e/ou leves. A seleção dos tipos de defeitos foi baseada na classificação proposta pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2002, 2009).

Para a manga, consideraram-se como defeitos graves: o rompimento da epiderme, atingindo uma área superior a 5% da superfície do fruto; o rompimento da epiderme, atingindo a polpa do fruto e a lesão na polpa sem rompimento na epiderme. Como defeito leve: o rompimento da epiderme, atingindo uma área inferior a 5% da superfície do fruto.

Para o mamão, consideraram-se como defeitos graves: a lesão na polpa sem atingir a epiderme e rompimentos na epiderme com lesão na polpa. Como defeito leve: a presença de cicatriz na casca sem lesão na polpa.

Os resultados foram expressos em porcentagem para a ausência ou presença de defeitos graves e/ou leves.

A presença de injúrias internas também foi avaliada através do corte longitudinal da fruta, apenas no último dia de armazenamento.

### **b) Perda de Peso**

A perda de peso foi determinada pela diferença entre o peso inicial e final de cada fruto, de acordo com a Equação 1, utilizando-se balança semi-analítica Quimis BG 2000, com resolução de 0,1 g.

$$P = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

P = perda de massa (%)

P<sub>i</sub> = massa inicial (g)

P<sub>f</sub> = massa final (g)

### **c) Cor Instrumental**

Para melhor acompanhar a mudança de coloração na epiderme das frutas, selecionaram-se áreas de coloração verde e distribuída aleatoriamente na região equatorial das frutas para que as leituras, feitas em triplicata, fossem as mesmas a serem analisadas durante todo o período de armazenamento.

A cor instrumental foi avaliada por meio de leitura direta da superfície externa da fruta, através do sistema de cor CIELab, utilizando-se colorímetro portátil, modelo mini Scan XE, marca Hunter Lab, considerando os seguintes parâmetros de operação: ângulo de visão 10°, iluminante D65, determinando-se os

valores de L\* ou luminosidade (preto 0 / branco 100), a\* (verde - / vermelho +) e b\* (azul - / amarelo +). Os parâmetros a\* e b\* foram utilizados para o cálculo do ângulo de tonalidade (h) e da cromaticidade (C\*), segundo as Equações 2 e 3, respectivamente. Considerou-se para h a variação de 0º a 360º, onde: 0º - vermelho; 90º - amarelo; 180º - verde e 270º - azul.

$$h_{ab} = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad \text{Equação 2}$$

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Equação 3}$$

A cor visual também foi avaliada durante o período de armazenamento. Estabeleceu-se um critério de notas para cada variação de cor. Na Tabela 12 encontra-se a porcentagem de variação de cor utilizada como parâmetro para a classificação.

Tabela 12 - Parâmetro utilizado para classificar a cor visual da epiderme do mamão e da manga.

Nota	1	2	3	4	5
Porcentagem de variação de cor na superfície do fruto*	< 25%	≥ 25%	≥ 50%	≥ 75%	> 75%
Mamão					
Manga					

\* Para o mamão, da cor verde para amarelo; para a manga, da cor verde para vermelho.

#### **d) Taxa de Respiração**

A taxa de respiração foi avaliada através da medida da produção de gás carbônico do fruto durante 1 h. Para isso, fez-se o acondicionamento individual da fruta em sistema fechado em dessecadores de vidro com capacidade para 2,65 L, sendo a abertura vedada com septo de silicone. A leitura de CO<sub>2</sub> foi obtida em um analisador de gás carbônico e de oxigênio MOCON Pac Check™ 650.

A taxa de respiração foi calculada em (mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) de CO<sub>2</sub>, considerando o volume do dessecador, o volume e a massa dos frutos e o tempo sob o qual os recipientes permaneceram fechados. Para evitar problemas quanto à interferência do acúmulo de gases nos tecidos dos frutos e na medida da taxa de respiração, fizeram-se testes preliminares para garantir que durante o período de armazenamento, a medida de CO<sub>2</sub> fosse maior que 0,2% (KADER; SALTVEIT, 2003).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação da Fibra de Coco

A ausência do corte prévio das cascas proporcionou maior agilidade e rapidez no processo de desfibramento assim como maior proporção de fibras longas. Através do desfibramento obtiveram-se fibras brancas, mas durante a secagem ocorreu o escurecimento devido à ação da polifenol oxidase. Essa enzima é comum em frutos e vegetais e promove a oxidação aeróbica de uma variedade de substratos fenólicos (LIMA; BORA, 2003). Sua ação resultou na formação de fibras na cor marrom (Figura 17), devido à ruptura do tecido (casca) durante o desfibramento e o contato com o ar ambiente durante a secagem.



Figura 17 - Fibra de coco verde obtida após lavagem e secagem.

Na avaliação do comprimento da fibra proveniente de amostra aleatória, observou-se maior teor de fibras (36%), com comprimento variando entre 0,151 a 0,200 m e do total de fibras medidas, um valor médio de  $0,153 \pm 0,049$  m (Figura 18). Estes dados confirmam que o processo mecânico desenvolvido favoreceu a obtenção de fibras longas. Comparativamente, WEI e GU (2009) obtiveram 82%

de fibra de coco verde com comprimento entre 0,015 a 0,145 m, contudo avaliaram a fibra obtida por maceração.

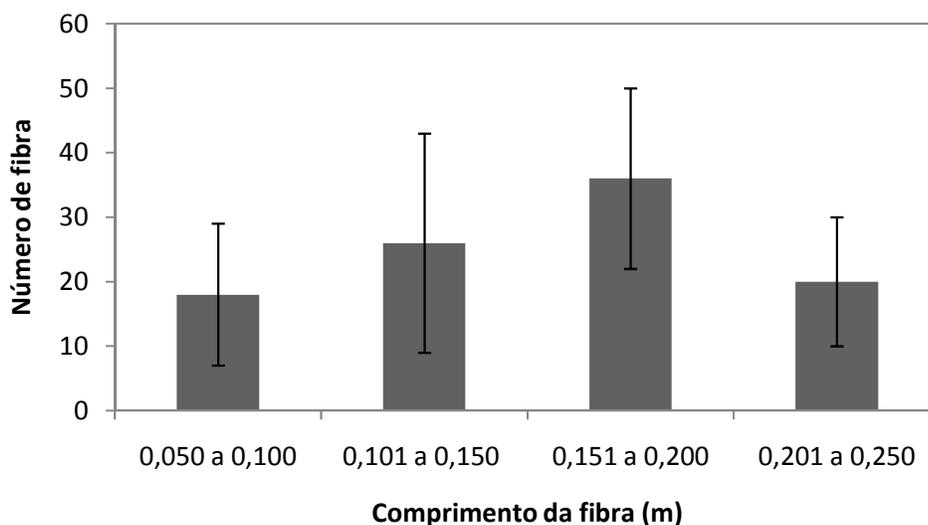


Figura 18 - Comprimento da fibra de coco verde obtida por processo mecânico.

Quanto à capacidade de absorver umidade, a Figura 19 representa o comportamento de absorção de umidade do ambiente pela fibra de coco a  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ . Como esperado, a fibra absorve facilmente vapor de água, podendo contribuir com a manutenção da umidade adequada de produtos hortifrutícolas. Um método antigo utilizado na Índia é promover o amadurecimento da manga utilizando material de acolchoamento celulósico tais como palha seca e papéis, os quais contribuem com o desenvolvimento de cor brilhante, aroma pronunciado, e absorção de umidade das frutas, mantendo a condição ótima de umidade e temperatura (LAKSHMINARAYANA, 1980). Contudo, observa-se que entre 80 a 90% UR ocorre maior ganho de umidade pela fibra e, nesta condição, o teor de umidade excessivo pode afetar negativamente a conservação do vegetal com injúrias. Segundo Eckert (1975), a umidade excessiva tende a favorecer o desenvolvimento de doenças pós-colheita porque mantém a superfície injuriada em condição de umidade que favorece a contaminação por micro-organismos.

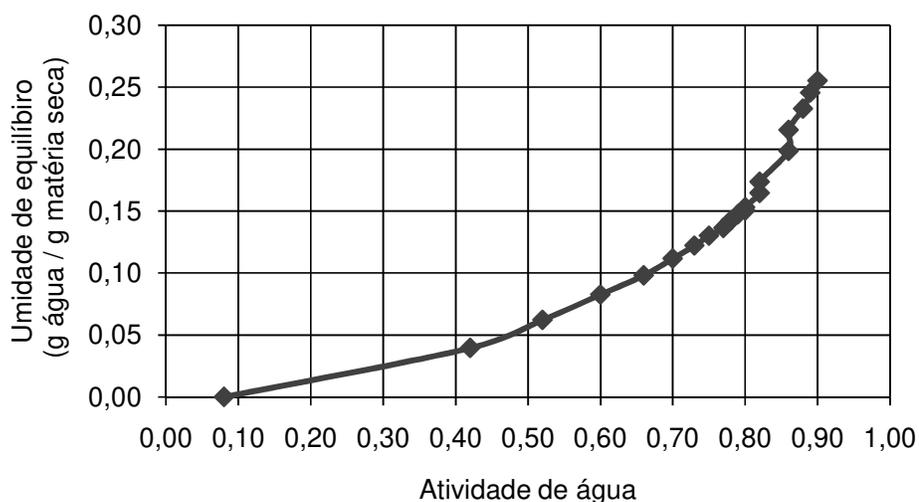


Figura 19 - Curva de adsorção da fibra de coco a  $26 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Para determinar a umidade relativa crítica da fibra de coco quando solicitada mecanicamente, como material de acolchoamento, seria necessária uma investigação mais aprofundada, correlacionando os resultados dos ensaios mecânicos em ambientes com diferentes URE (CHENG, GARIEPY, RAGHAVAN, 2004). Neste trabalho, todos os ensaios de choque foram realizados em condições ambientes a  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  e  $60 \pm 6\%$  UR, exceto a simulação de transporte que foi a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  e  $55 \pm 1\%$  UR. Dessa forma, não foi possível estimar a URE crítica para a fibra, quando solicitada mecanicamente. Contudo, considerando que em ambientes com alta umidade relativa, a tendência da fibra de coco é reduzir o desempenho mecânico, comportamento característico de materiais celulósicos, pode-se concluir que em ambientes com 80 a 90% UR há uma condição desfavorável para a solicitação da fibra de coco como material de acolchoamento, pois se observa na curva de adsorção da fibra uma absorção de água superior, cerca de três vezes superiores às outras faixas de umidade relativa.

Os resultados do ensaio de choque permitiram construir gráficos delimitados por picos de desaceleração no eixo vertical e carga estática no eixo horizontal. Nesta região, foi possível obter curvas de acolchoamento,

considerando o aumento de massa de fibra. Estas curvas podem ser utilizadas para avaliar o nível de absorção de choque pelo material e quanto menor o valor da desaceleração, maior sua eficiência.

Na Figura 20, encontram-se gráficos da fibra de coco para níveis crescentes de fibras em gramas, como na faixa de 0,11 a 0,94 kPa em altura de queda de 0,3 m. Observa-se em todas as curvas, comportamento ascendente com o aumento da carga estática seguido de declive acentuado em 0,55 kPa e aumento da carga estática seguinte. Este comportamento, evidencia melhor nível de proteção a 0,55 kPa, em relação às cargas maiores, atingindo os picos mais altos de desaceleração entre 0,48 a 0,65 kPa, exceto para a curva de 0,075 kg que atingiu o pico a 0,75 kPa (Figura 21).

Ainda na Figura 20, observou-se que após a região de melhor resultado, a maioria das curvas apresentou um comportamento heterogêneo, contudo, tendendo à redução gradativa nos níveis de desaceleração, conforme aumento da carga estática. Tal observação não pôde ser estendida para a curva de 0,025 kg, pois o material apresentou nível de desaceleração muito alto, tornando inviável a continuidade dos ensaios.

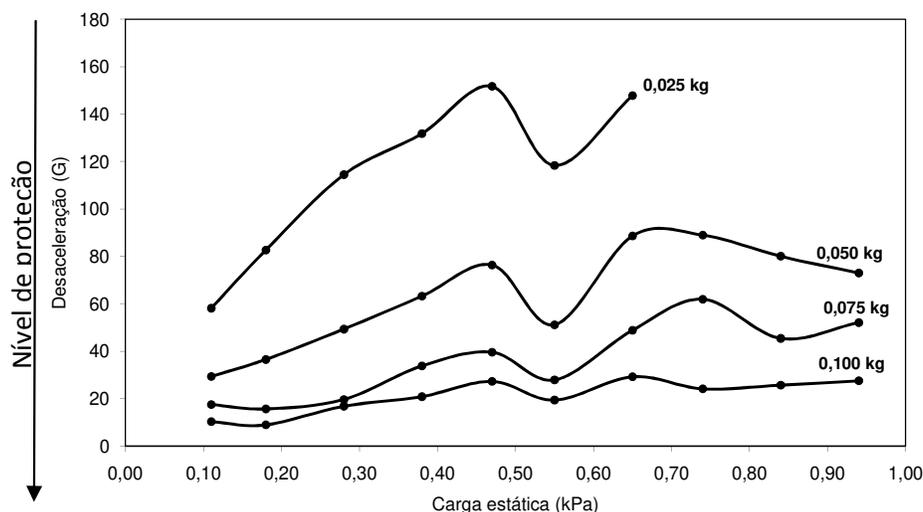


Figura 20 - Desempenho da fibra de coco sob choque para uma média de três impactos múltiplos, altura de queda de 0,3 m entre 0,11 a 0,94 kPa.

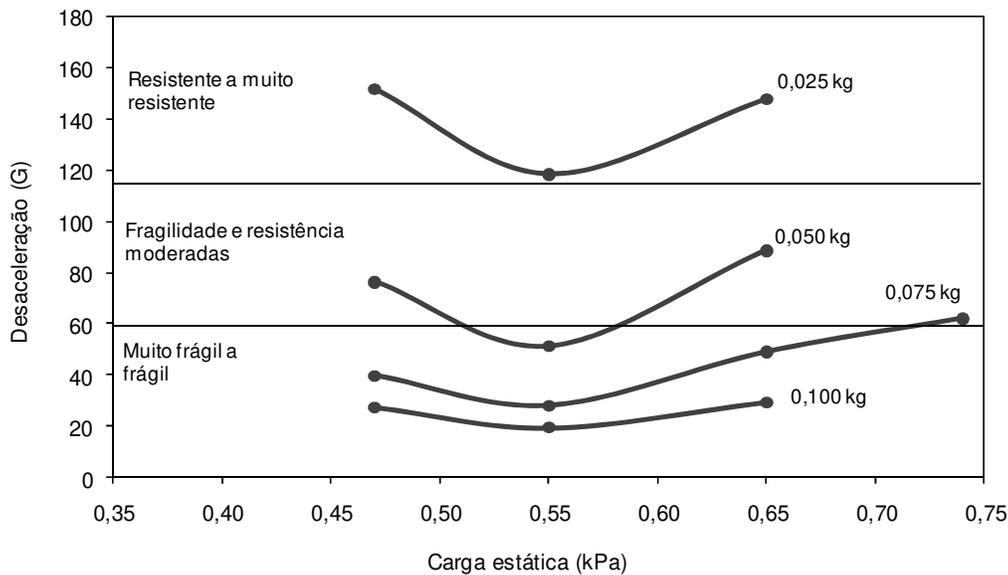


Figura 21 - Desempenho da fibra de coco sob choque e correlação quanto à resistência de produtos, para uma média de queda de três impactos múltiplos a uma altura de queda de 0,3 m entre 0,47 a 0,75 kPa.

Ao avaliar o desempenho individual das curvas da Figura 21 e compará-lo à aceleração crítica de alguns produtos, verificou-se que a fibra de coco solta foi eficiente para proteger produtos com fragilidade abaixo de 40 G, desde que se utilizem as condições das curvas de 0,075 e 0,100 kg, as quais são capazes de desacelerar o impacto de uma carga de 0,55 kPa para 28 e 19 G, respectivamente. Teoricamente, a fibra de coco solta e em pequenas quantidades, tais como nas curvas a 0,025 kg e 0,050 kg, só poderia ser utilizada para produtos muito resistentes como tubos de aço e peças fundidas com aceleração crítica acima de 100 G.

Dessa forma, verificou-se que a fibra de coco é eficiente para proteger produtos frágeis (fator  $G < 60$ ), incluindo maçãs que segundo estudo de Lu e Wang (2007) apresenta aceleração crítica acima de 78 G. Contudo, é necessário ressaltar que esta condição exige uma altura de queda inferior a 0,3 m e que os produtos apresentem baixa relação peso x área (0,55 kPa). Na prática, isto significa que um produto com 60 G de fragilidade e aproximadamente 0,560 kg

deveria ocupar uma área de 0,01 m<sup>2</sup> sob a fibra, para que ao cair de uma altura de 0,3 m, a desaceleração após o impacto não ultrapassasse os 60 G. Nesta situação, a utilização de 0,05 kg de fibra de coco, distribuída em uma área de 0,04 m<sup>2</sup>, provocaria uma desaceleração de 51 G e, portanto, seria a opção mais econômica e eficiente para a proteção deste produto hipotético.

Para uma altura de queda padrão (0,75 m) os resultados das curvas 0,075kg e 0,100 kg podem ser visualizados na Figura 22. Observa-se que a fibra de coco solta apresentou redução expressiva na capacidade desaceleração, devido ao aumento da altura. Contudo, ainda mostra-se eficiente para proteger produtos considerados frágeis, somente para a condição da curva 0,100 kg. Durante este ensaio, foi possível estimar a perda de espessura da fibra de coco, após a sucessão de impactos, sendo que as fibras soltas apresentaram mais de 10% de perda, conforme a Figura 23. Comparativamente às curvas da Figura 22, observa-se que em 0,55 kPa houve maior perda de espessura para menores valores de desaceleração, tanto para a curva 0,075 kg quanto para a 0,100 kg. Este comportamento ocorreu devido à energia de impacto ser absorvida pelo acolchoamento, provocando a deformação do material (IPT, 1975).

Os ensaios da fibra de coco soltas também resultaram em curvas comparativas com relação à palha de madeira. A Figura 24 mostra a comparação determinada a partir de 0,025 kg, 0,050 kg, 0,075 kg e 0,100 kg de material, para a altura de queda de 0,3 m.

A palha de madeira apresentou melhor desempenho na desaceleração, comparado à fibra de coco. Observou-se, também, que a fibra de coco necessitou do dobro de material para apresentar comportamento equivalente ao da palha no choque mecânico. Contudo, verificou-se que após o impacto, a palha de madeira apresentou intensa fragmentação, reduzindo suas propriedades de acolchoamento a cada impacto. Portanto, a resistência física da fibra aos choques mecânicos é superior à palha o que possibilita maior vida útil como acolchoamento. Tal desempenho poderá ser melhorado se forem adicionados aglutinantes, o que permitirá avaliar o comportamento da fibra sob diversas configurações de fibras,

como por exemplo, na forma de mantas. Além de que alguns aglutinantes, tais como o látex de seringueira, prolongam a degradação da fibra de coco, agindo como bactericida e/ou fungicida (SALAZAR; LEÃO, 2006).

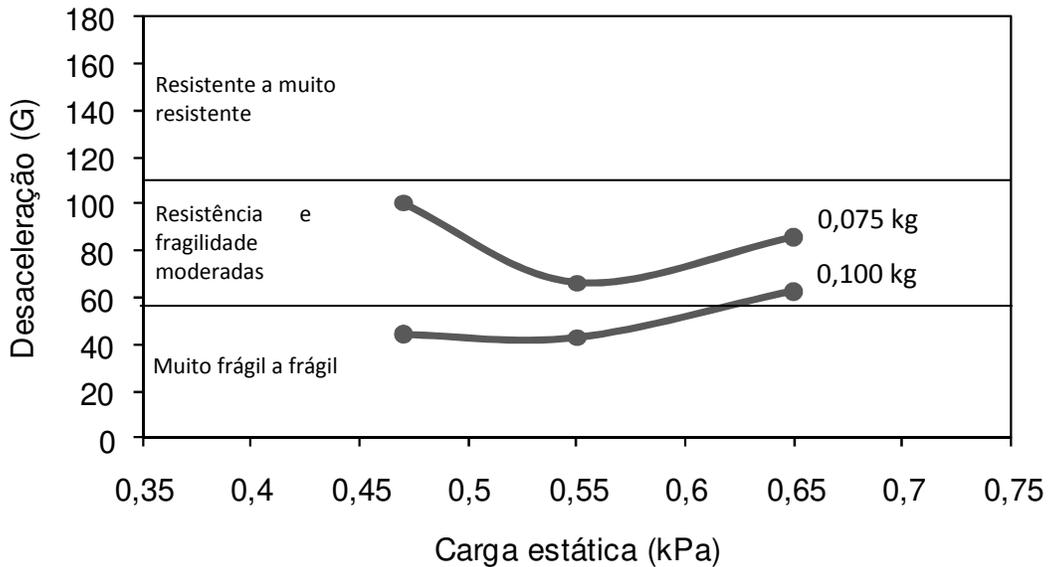


Figura 22 - Desempenho da fibra de coco quanto à proteção de produtos de resistência variada, para uma média de queda de três impactos múltiplos a uma altura de queda de 0,75 m, na faixa de 0,47 a 0,75 kPa.

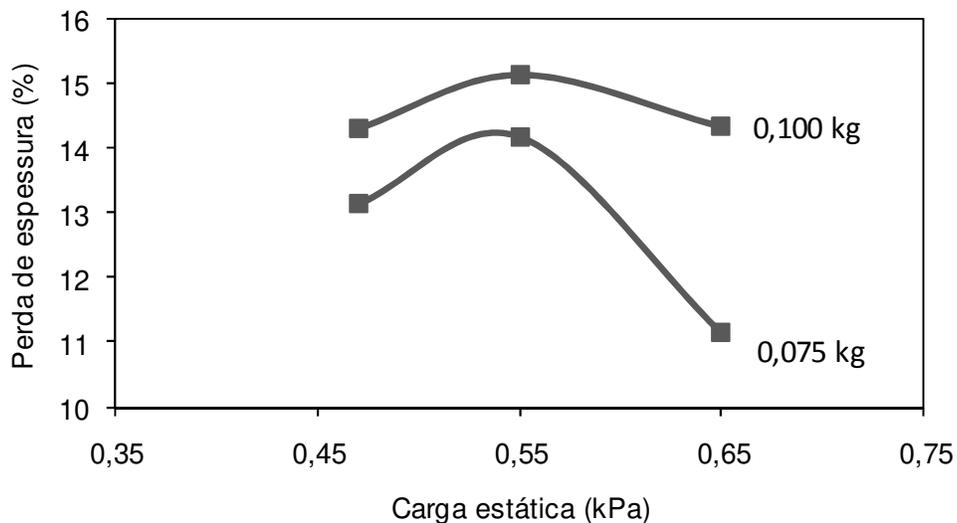


Figura 23 - Média da perda de espessura da fibra de coco solta após queda de três impactos múltiplos a uma altura de queda de 0,75 m, na faixa de 0,47 a 0,75 kPa.

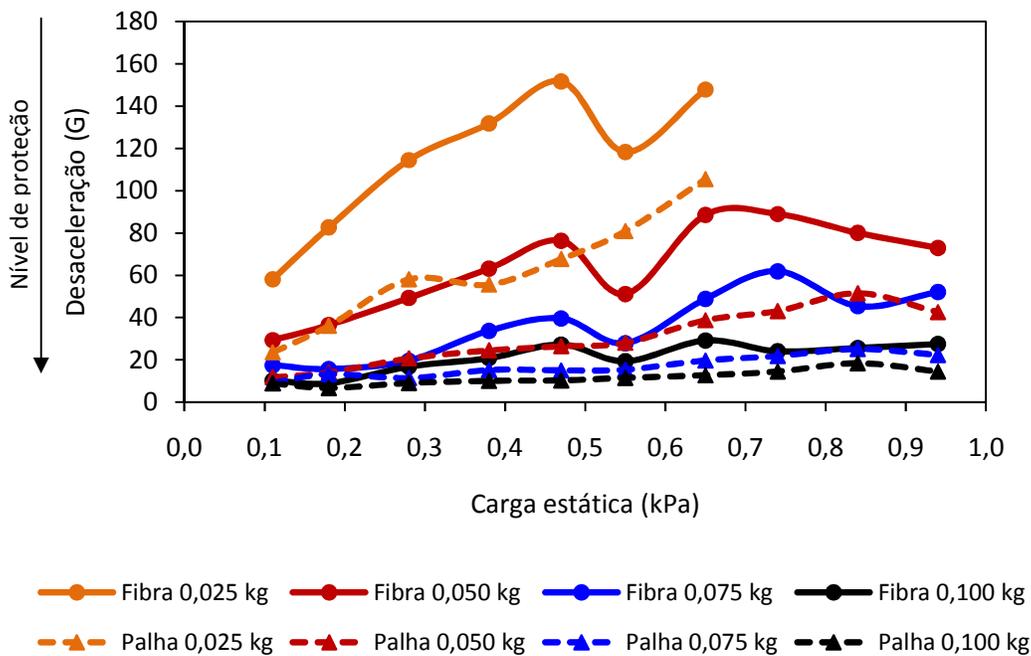


Figura 24 - Comparação do desempenho da fibra de coco e da palha, considerando 0,025 a 0,100 kg de peso, após impactos múltiplos sob queda livre a altura de 0,3 m.

## 4.2 Desenvolvimento de Mantas de Fibra de Coco

Os compósitos com 70% de fibra e 30% de colofônia (Figura 25) apresentaram melhor moldabilidade e aderência visual, em relação às outras concentrações que não alcançaram aderência suficiente para a obtenção de corpos de prova para os ensaios mecânicos. Observou-se aderência entre todas as chapas produzidas com gel de fécula, exceto 70% de fibra, provavelmente porque a quantidade de aglutinante utilizada não foi suficiente para formar a aderência, tornando o material facilmente fragmentável.

Quanto ao método de aplicação do aglutinante, observou-se que o uso do pulverizador facilitou a aplicação, uma vez que por imersão houve limitações quando se utilizou menor quantidade de material.

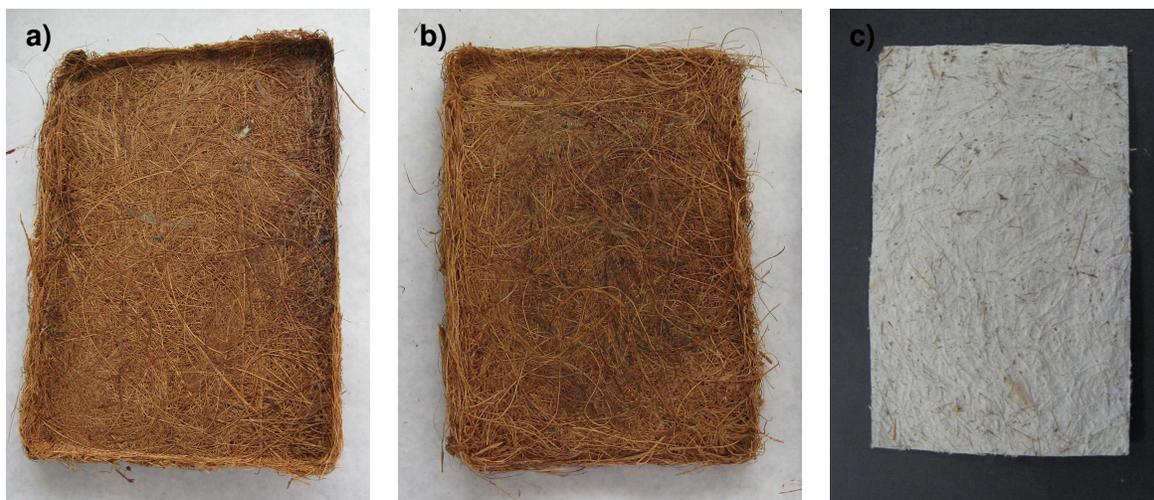


Figura 25 - Chapas de fibra de coco: a) fibra de coco e colofônia; b) fibra de coco e fécula de mandioca; c) fibra de coco e polpa de papel reciclado.

Na obtenção de chapas com polpa moldada, verificou-se que o aumento da concentração de fibra intensificou a dispersão não uniforme na polpa moldada, formando feixes de fibras e, conseqüentemente, áreas de fragilidade.

Os resultados comparativos de resistência à tração na ruptura das chapas de fibra são apresentados na Figura 26. Apesar de pequena diferença, os compósitos FC apresentaram maior resistência à tração na ruptura  $27,08 \pm 4$  N do que os demais, para 70% de fibra. Considerando que a resistência do compósito tem valor máximo na direção longitudinal da fibra (CLARA et al., 1999), a disposição aleatória das fibras longas no corpo de prova provocou grande variação no número de fibras que foram tensionadas, longitudinalmente. Sendo assim, tal comportamento pode explicar o elevado desvio padrão observado nos compósitos com fibras de coco.

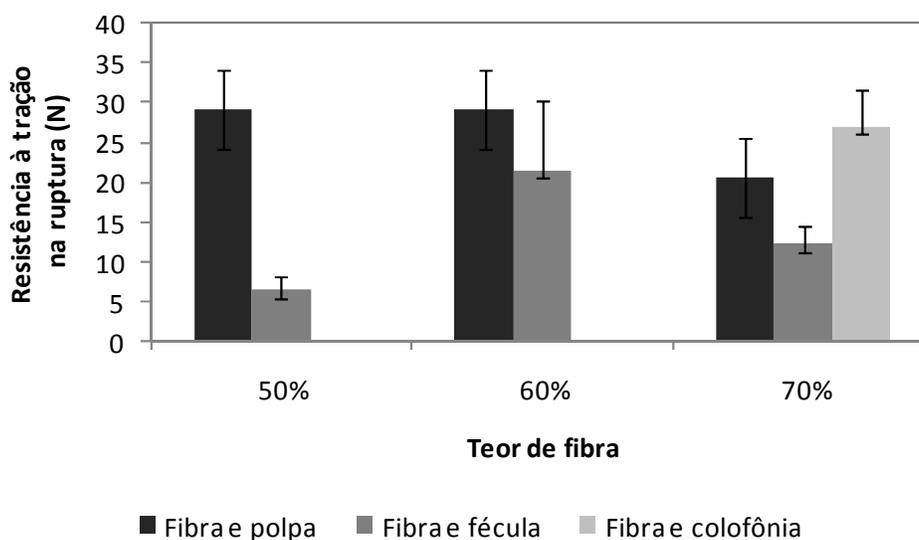


Figura 26 - Resistência à tração na ruptura de chapas de fibra de coco com polpa de papel reciclado, fécula de mandioca e colofônia, em função do teor de fibra.

#### 4.3 Avaliação da Fibra de Coco na Forma de Mantas

O processo de obtenção das mantas foi favorecido pela fácil moldabilidade da fibra de coco. Observou-se que as fibras adquirem a forma desejada com a pressão das mãos o que facilitou a obtenção das mantas (Figura 27). Apesar da aplicação sob pressão dos aglutinantes sobre as fibras, percebeu-se que após a secagem o gel de fécula e o látex diluído concentraram-se apenas na superfície externa das mantas (Figura 28).

O uso de aglutinantes e o processo de moldagem adotado não favoreceram a aglomeração natural das fibras, ao invés disso, provocou a compactação da manta, eliminando os espaços vazios entre as fibras, os quais permitem a resiliência. Segundo Jarman (1969), a resiliência do acolchoado depende da orientação das fibras e, quando as fibras são enroladas e retorcidas, este procedimento resulta em melhores propriedades de acolchoamento devido à

melhor resiliência, uma vez que a fibra é orientada na mesma direção em que a força é aplicada.



Figura 27 - Mantas de fibra de coco sem aglutinantes.



Figura 28 - Mantas de fibra de coco com fécula e látex.

Para a fibra de coco moldada, as curvas de cada tipo de material são comparadas através das Figuras 29 e 30, sob uma faixa de 0,11 a 0,48 kPa, para 0,025 m e 0,050 m de espessura, respectivamente. Os resultados revelam que o uso dos aglutinantes não contribuiu para o aumento do desempenho das mantas de fibra, como material de acolchoamento, mesmo com o aumento da espessura. A mistura de plastificantes ao gel de fécula poderia proporcionar maior maleabilidade após a secagem (ROSA; CHIOU; MEDEIROS, 2009) e, talvez, melhores resultados com a fibra de coco. Para as mantas formadas por látex, maiores valores de G foram observados, provavelmente, porque as fibras com látex vulcanizado não são eficientes como acolchoados (GRIMWOOD, 1975).

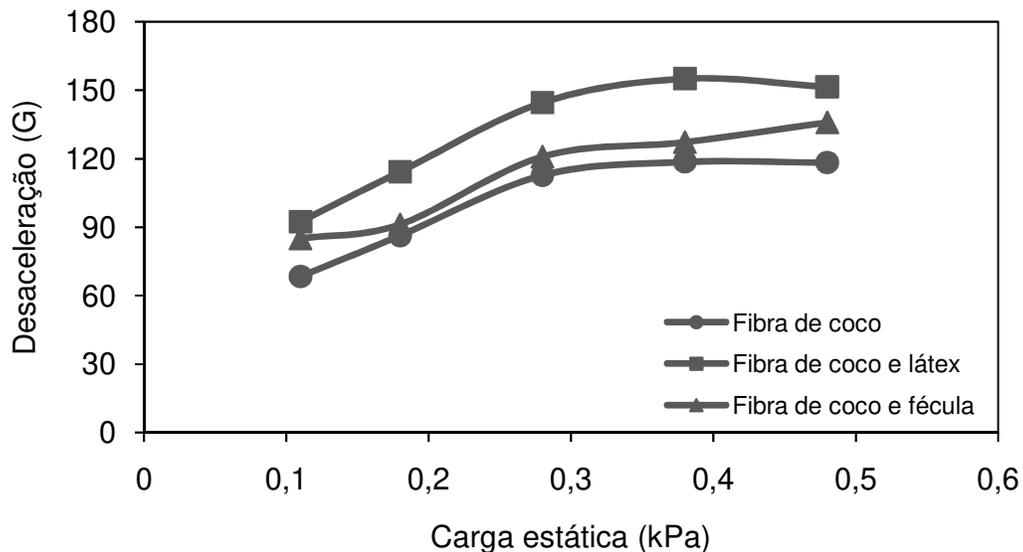


Figura 29 - Comparativo do ensaio de choque para mantas de 0,025 m de espessura de material fibroso e para uma altura de queda de 0,3 m.

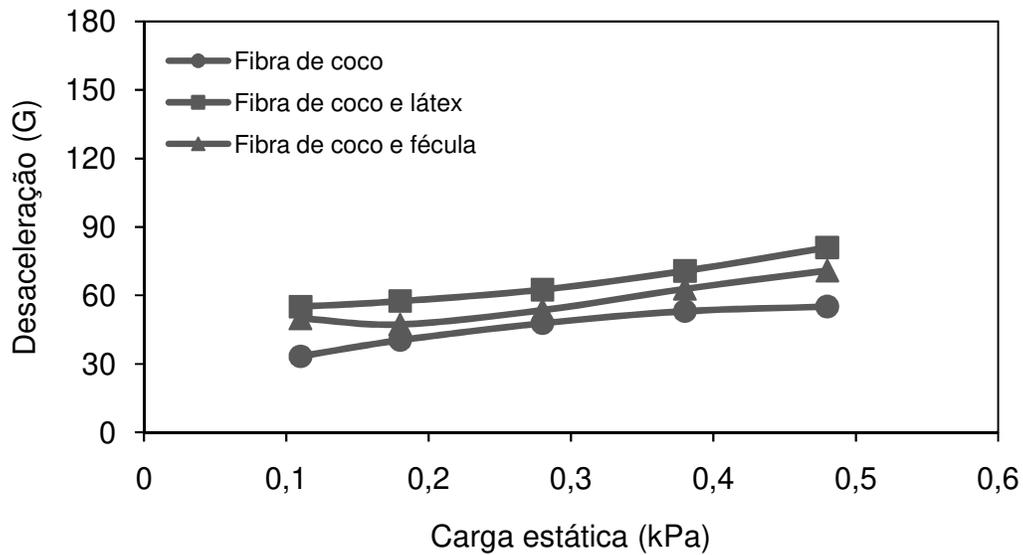


Figura 30 - Comparativo do ensaio de choque para mantas de 0,025 m de espessura de material fibroso e para uma altura de queda de 0,3 m.

Dentre as mantas avaliadas, as fibras sem aglutinantes destacaram-se com o melhor desempenho, visto que, sob aumento da carga estática, apresentaram maior capacidade para reduzir a aceleração sob impacto (menores valores de G).

Comparando aos materiais plásticos tais como as espumas (Figura 5), as fibras apresentam desempenho muito inferior, entretanto, é necessário considerar a configuração de tais materiais, pois as espumas são bastante resilientes e têm células abertas que permitem que o ar escape sob impacto e retorne, preenchendo o espaço vazio. A fibra poderia apresentar o mesmo efeito, dependendo do processo de moldagem e, principalmente, de um adequado aglutinante. É necessário ressaltar a importância do uso de polímeros biodegradáveis para este fim, caso contrário, a fibra de coco poderia tornar-se tão agressora ao meio ambiente quanto às espumas de polímeros sintéticos.

## **4.4 Avaliação do Desempenho da Fibra de Coco em Sistemas de Embalagens para Frutas**

### **4.4.1 Mamão**

As injúrias mecânicas decorrentes da simulação de transporte foram se revelando através da epiderme das frutas, ao longo do período de estocagem (Figura 31). No mamão, observou-se o surgimento das injúrias logo após vinte quatro horas da simulação, sendo classificadas como leves e graves. Comparativamente, nenhum dos sistemas de embalagem avaliados mostrou-se eficiente na prevenção das injúrias mecânicas, para as condições impostas na simulação, pois todas as frutas já apresentaram defeitos leves logo no primeiro dia de análise.

Durante a avaliação dos defeitos leves, observou-se no sistema sem acolchoamento, o aparecimento de lesões na epiderme, onde se destacam as cicatrizes provocadas pela estrutura da caixa do papelão ondulado.

No sistema com fibra de coco, observou-se a formação de cicatrizes mais profundas, provavelmente em decorrência do movimento giratório do fruto sobre o próprio eixo, durante a simulação de transporte. Este movimento provocou colisões entre os frutos adjacentes, resultando em lesões principalmente na região estilar e peduncular do fruto. Certamente, a vibração do sistema de embalagem contendo fibra de coco, alcançou a frequência de ressonância do mamão, assim como foi verificado em trabalho desenvolvido por Lacerda (2004). O autor observou maior número de danos por abrasão e impacto em figos que apresentaram movimentos rotatórios durante ensaio de simulação em mesa de vibração e concluiu que as frequências naturais da bandeja contendo o figo estavam próximas às frequências de excitação da base da mesa, criando assim uma instabilidade de ressonância nos ensaios e danos graves ao produto.

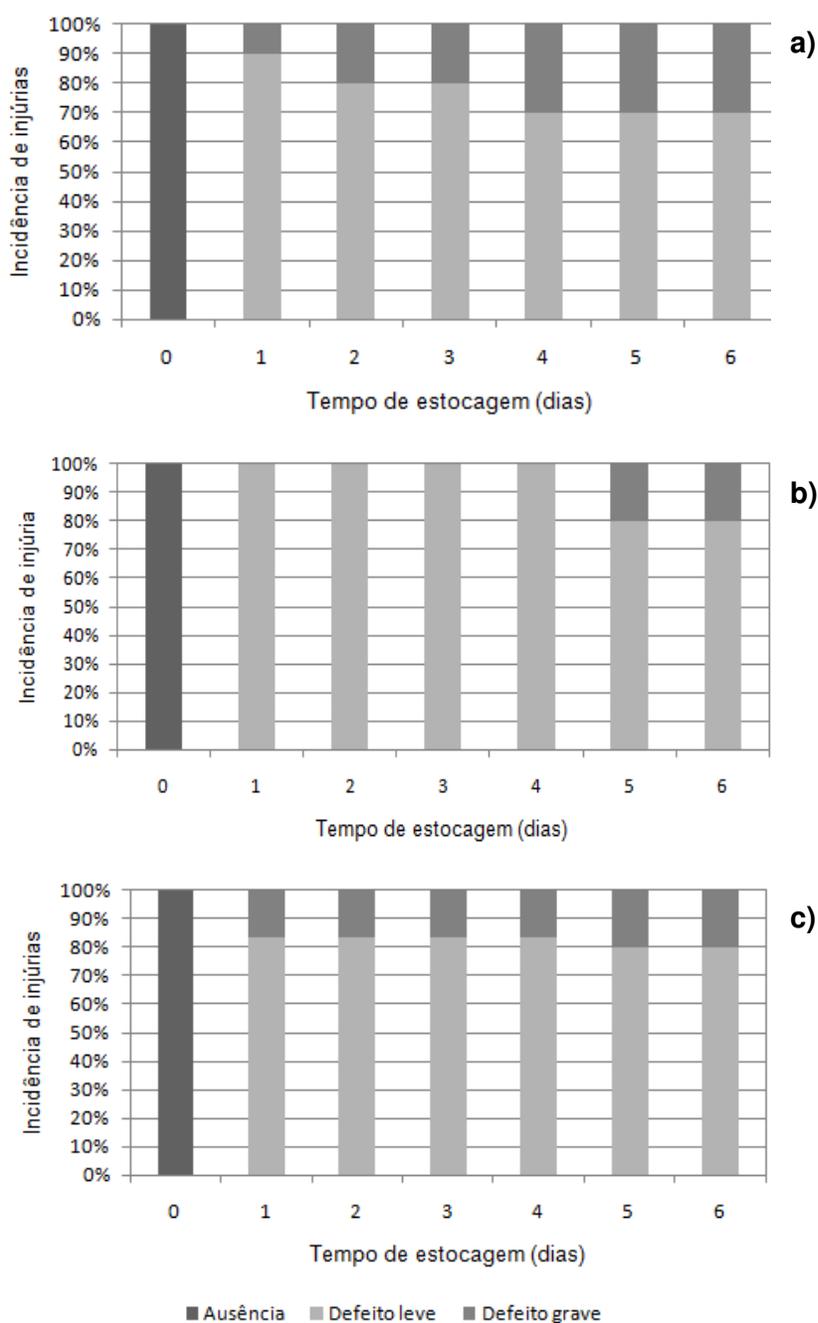


Figura 31 - Incidência e classificação de injúrias mecânicas na casca do mamão: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) com palha de madeira, ao longo do período de armazenamento.

No sistema com a palha de madeira predominaram as abrasões em toda a superfície de contato com a palha, a qual provocou aparência rugosa,

principalmente, no fim do período de estocagem. Abrasões também foram observadas no sistema contendo a fibra de coco, entretanto, percebeu-se que a palha de madeira por apresentar uma estrutura mais espessa e grosseira do que a fibra de coco provocou lesões mais agressivas na epiderme do fruto.

As abrasões ocasionadas nos frutos podem ser observadas através da Figura 32.

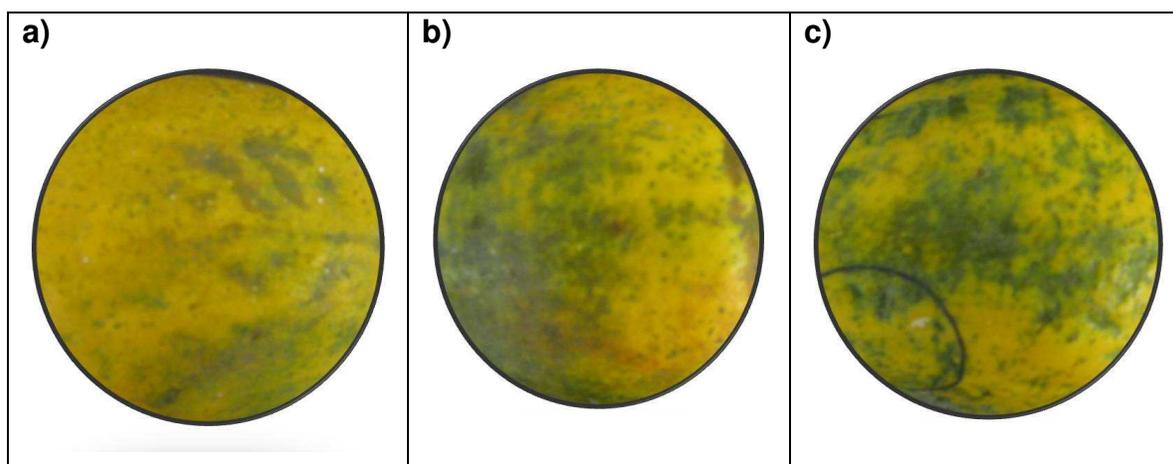


Figura 32 - Epiderme do mamão proveniente do sistema: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) palha de madeira.

Quanto aos defeitos graves, os resultados da Figura 31 revelam que o sistema de embalagem com fibra de coco foi mais eficiente do que os demais sistemas na prevenção de lesões na polpa, considerando que o aparecimento das injúrias graves foi observado apenas no quinto dia de estocagem do mamão protegido com a fibra.

Na Figura 33 é possível visualizar um exemplo de defeito grave na epiderme do mamão (sem acolchoamento) onde se observa hematoma localizado na área de contato do fruto com a caixa de papelão. Nesta situação, a maior parte da energia de impacto foi absorvida pelo fruto e pouca energia foi transferida à caixa de papelão, como discutido e observado em estudo desenvolvido com maçãs (JARIMOPAS et al., 2007) em que o sistema de embalagem contendo

acolchoamento absorve parte da energia de impacto, proporcionando ao fruto injúrias de menor gravidade.



Figura 33 - Mamão com defeito grave, proveniente do sistema sem acolchoamento.

Durante a avaliação da epiderme dos frutos, foi difícil avaliar a incidência de defeitos graves do tipo injúrias na polpa sem atingir a epiderme, principalmente, nos sistemas com a fibra e a palha, em que os frutos apresentaram maior área com cicatrizes e abrasões. Portanto, a avaliação no interior dos frutos através de corte longitudinal, propiciou melhor clareza na incidência dos defeitos graves que atingiram a polpa e concluiu-se que o sistema com a palha de madeira foi menos eficiente do que o com a fibra de coco na prevenção dos defeitos graves. Dentre os dez mamões avaliados para cada tratamento, sete apresentaram injúrias no sistema com a palha; quatro, no sistema com a fibra e apenas três, no sistema sem acolchoamento. Estes resultados divergem dos apresentados na Figura 31, já que se trata dos mesmos frutos, revelando que as abrasões provocadas pela palha mascararam as injúrias no interior do fruto (Figura 34).

De maneira geral, os sistemas de embalagem com acolchoamento provocaram cicatrizes na epiderme do mamão, comprometendo a aparência do fruto que é fundamental na decisão de compra, por outro lado, a fibra de coco foi o acolchoamento que melhor protegeu o fruto contra injúrias graves, pois amorteceu os impactos durante a simulação.

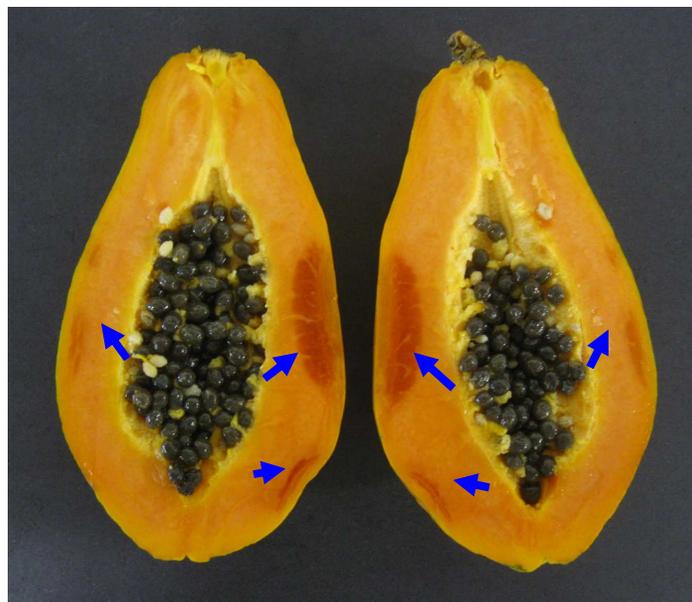


Figura 34 - Corte longitudinal do mamão com injúrias internas, proveniente do sistema com palha de madeira.

Assim, para o transporte e distribuição de intensidade moderada, como no teste aplicado, a fibra de coco foi eficiente na prevenção de injúrias por impacto, mas não impediu a ocorrência de injúrias por abrasão, pois a epiderme delicada do mamão 'Sunrise' necessita de um material de acolchoamento com estrutura de fibras mais finas, semelhante ao papel que é bastante utilizado na comercialização deste fruto. É importante ressaltar que o papel é considerado um material de proteção de superfície e não de acolchoamento, visto que não protege o produto das injúrias por impacto (JARIMOPAS et al., 2007; CENTRO DE COMÉRCIO INTERNACIONAL, 1997).

Quanto à perda de peso, não houve diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ) entre os tratamentos ao longo do tempo de estocagem (Figura 35). Considerando que as perdas de peso acima de 5% podem ser suficientes para a redução de valor do mamão (CENCI; FONSECA; FREITAS-SILVA, 2002), apenas os mamões do sistema sem acolchoamento mantiveram este limite de perda até o terceiro dia de estocagem, conforme a Tabela 13 (Apêndice 1). Tal comportamento deve ser atribuído às abrasões causadas pelo acolchoamento de ambos os tratamentos FM e PM e evidenciadas na epiderme das frutas, como comentado anteriormente.

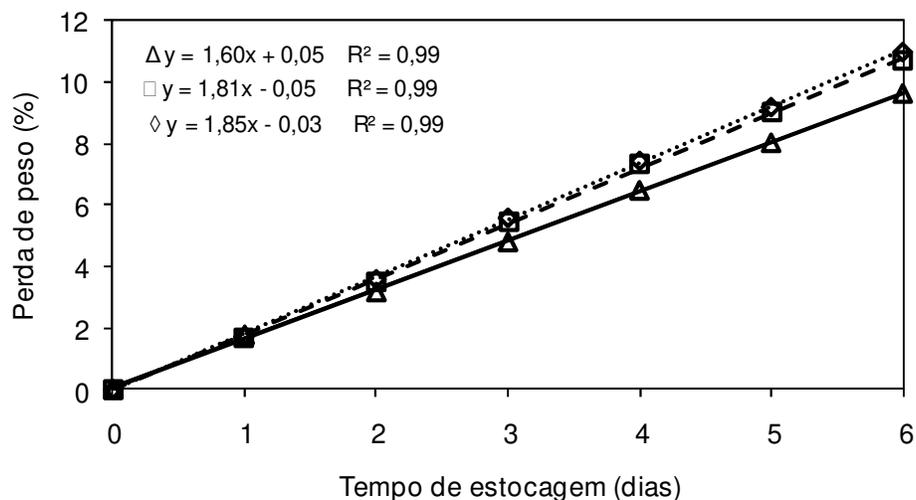


Figura 35 - Perda de peso do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (□) com fibra de coco e (◇) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

Quanto à luminosidade da epiderme dos frutos, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos ( $p \geq 0,05$ ). Contudo, em relação ao período de estocagem, apenas M e FM mantiveram-se constante, pois, inicialmente, os resultados mostraram que os frutos do sistema PM já apresentavam menor luminosidade igualando-se aos demais tratamentos a partir do quarto dia de estocagem (Figura 36). Portanto, nas áreas analisadas, as abrasões na superfície dos frutos não foram tão agressivas para provocar escurecimento devido à

oxidação enzimática (MOHSENIN, 1986), pois durante toda a estocagem houve aumento da luminosidade.

Os resultados do ângulo de tonalidade revelaram que todos os sistemas provocaram decréscimo acentuado nos valores deste parâmetro, em relação ao tempo (Figura 37) e não houve diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ), entre eles. O desenvolvimento da cor amarela ocorreu de modo semelhante em todos os tratamentos. Em média, os resultados variaram da cor verde ( $111^\circ$ ) à cor amarela, tendendo ao laranja ( $72^\circ$ ).

Quanto à intensidade da cor, observou-se mesma alteração na cromaticidade entre os tratamentos ( $p \geq 0,05$ ). Conforme ilustrado na Figura 38, ao longo do tempo de estocagem, apenas os frutos do sistema PM apresentaram diferença significativa a partir do segundo dia de estocagem, quando o ângulo de cor definia a cor da epiderme entre os quadrantes amarelo e laranja.

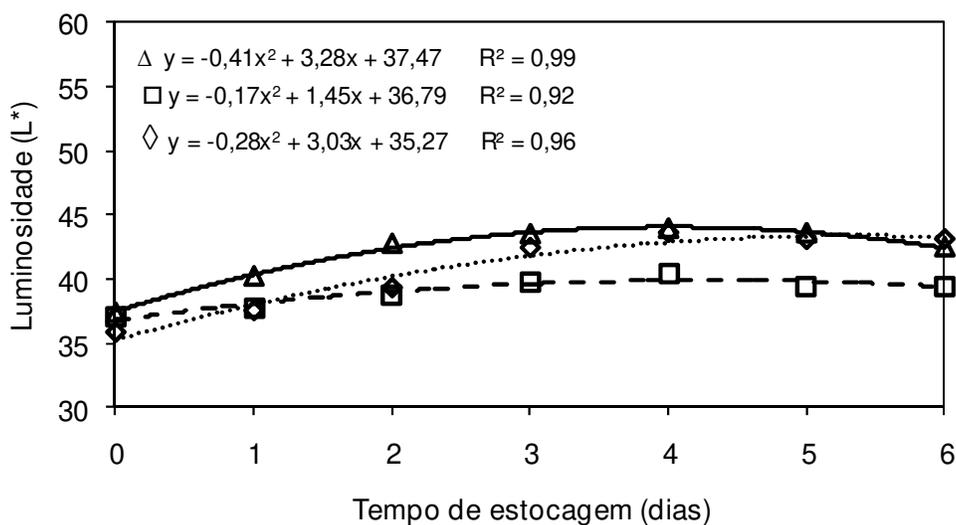


Figura 36 - Luminosidade da epiderme do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: ( $\Delta$ ) sem acolchoamento, ( $\square$ ) com fibra de coco e ( $\diamond$ ) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

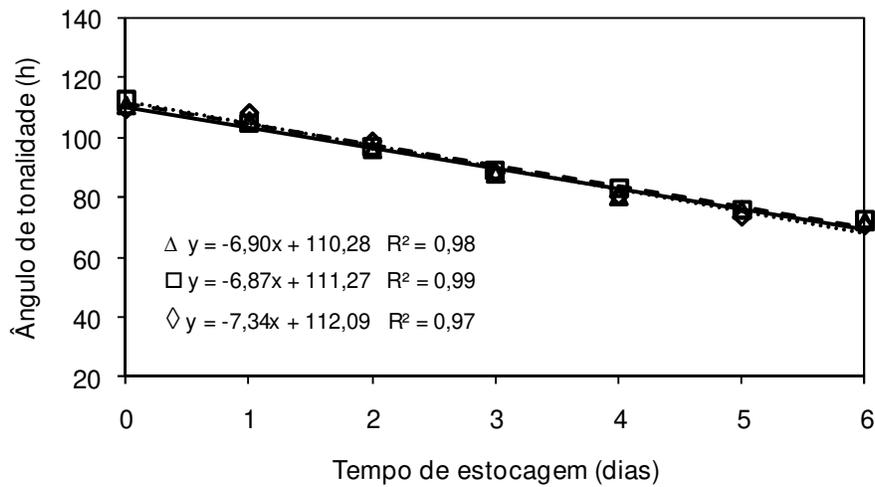


Figura 37 - Alterações no ângulo de tonalidade do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (□) com fibra de coco e (◇) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

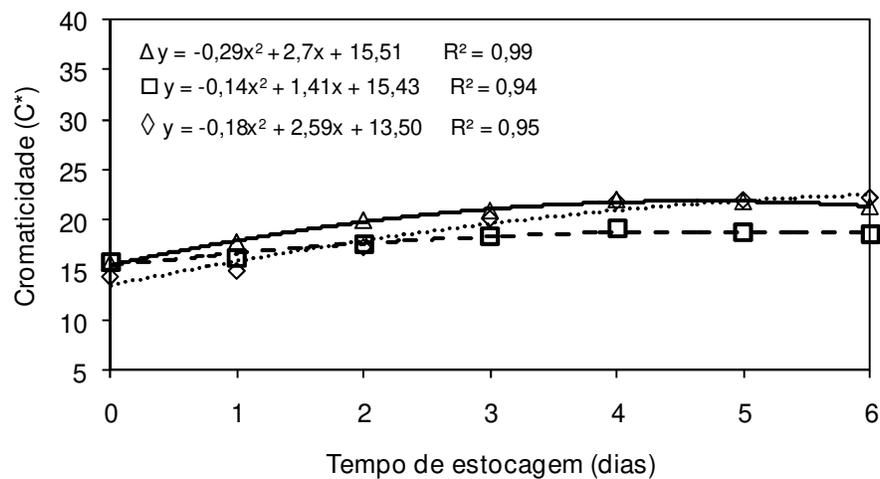


Figura 38 - Cromaticidade do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (□) com fibra de coco e (◇) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

A avaliação da cor visual do mamão resultou na Figura 39, onde se observou que, ao longo do tempo, as frutas do sistema com fibra de coco apresentaram menor variação na cor ( $p < 0,05$ ) com relação aos demais sistemas utilizados. Entre os tratamentos, não houve diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ), mas

em geral, todos os tratamentos apresentaram aumento na cor visual. Segundo Santos et al. (2008), este comportamento está relacionado às injúrias mecânicas que podem acelerar o metabolismo do fruto e promover a mudança de coloração da casca.

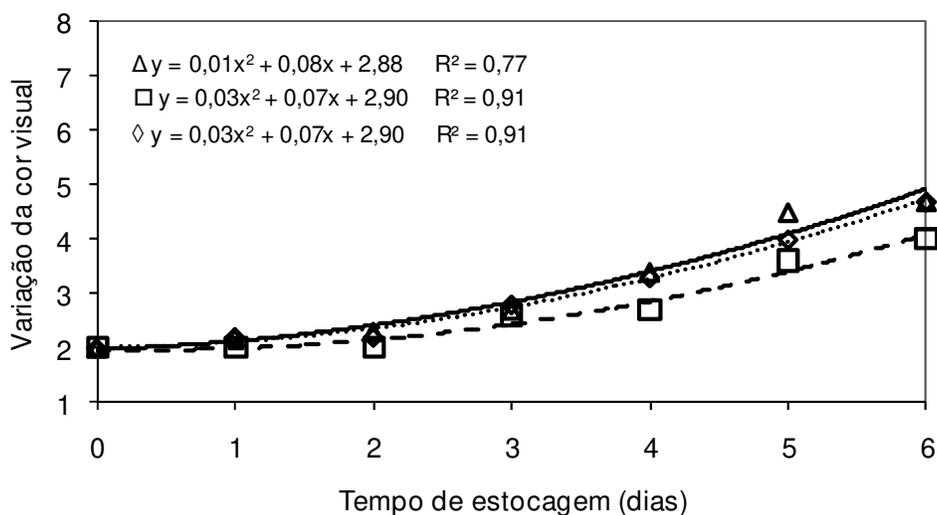


Figura 39 - Variação da cor visual do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (□) com fibra de coco e (◇) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

Através da Figura 40, observa-se que no último dia de estocagem, a maioria dos frutos provenientes do sistema sem acolchoamento e com palha apresentou mais de 75% da superfície com a cor amarela, sugerindo alto nível de amadurecimento. Nos frutos protegidos com fibra de coco, as cicatrizes da epiderme, provavelmente, comprometeram o desenvolvimento uniforme da cor amarela.

A taxa de produção de gás carbônico do mamão durante o período de estocagem pode ser visualizada na Figura 41. Em relação aos tratamentos, o sistema com palha de madeira diferenciou-se dos demais tratamentos ( $p < 0,05$ ), com a maior produção de  $\text{CO}_2$ . Considerando que o aumento da taxa de respiração é, geralmente, proporcional à severidade das injúrias (KADER, 1987),

este resultado coincide com a incidência de injúrias graves observadas na polpa do mamão protegido com a palha de madeira (Figura 34). Além disso, a taxa de respiração mais elevada, geralmente, está associada a uma redução no período de vida de prateleira do fruto, além da perda de qualidade (PHAN et al., 1975).

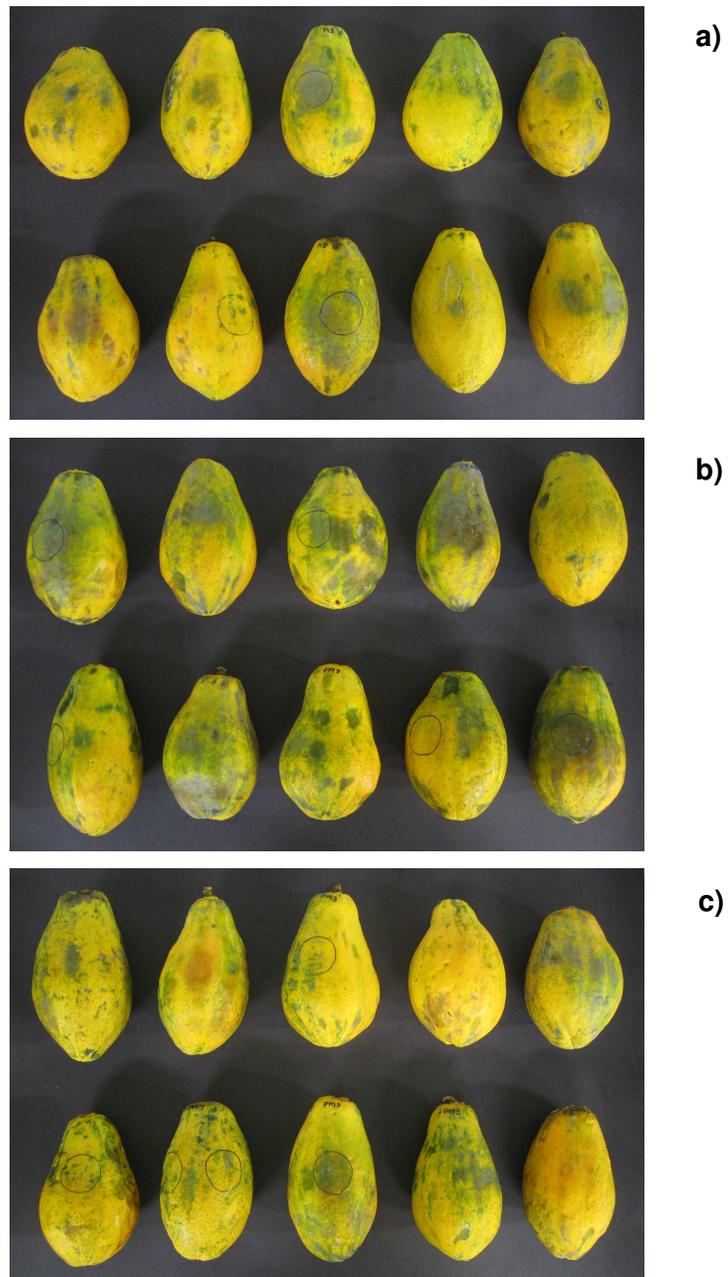


Figura 40 - Mamões do sistema: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) com palha de madeira, aos seis dias de estocagem.

Ao avaliar o período de estocagem, observou-se diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, porém estes apresentaram o mesmo comportamento: aumento da produção de  $\text{CO}_2$ , alcançando o pico característico de frutos climatérios (CHITARRA; CHITARRA, 2005), seguido de redução. De acordo com os valores observados na Tabela 18 (Apêndice 1) observou-se que o maior valor de produção de  $\text{CO}_2$  ( $92,25 \pm 19,16$  mg/kg h) sugere a realização de novas análises, utilizando amostras controle com o objetivo de comprovar a influência das injúrias mecânicas na taxa de respiração do fruto pois, segundo (QUINTANA; PAULL, 1993), o mamão amadurecido apresenta 70 a 90 mg/kg.h de produção de gás carbônico a  $20^\circ\text{C}$ .

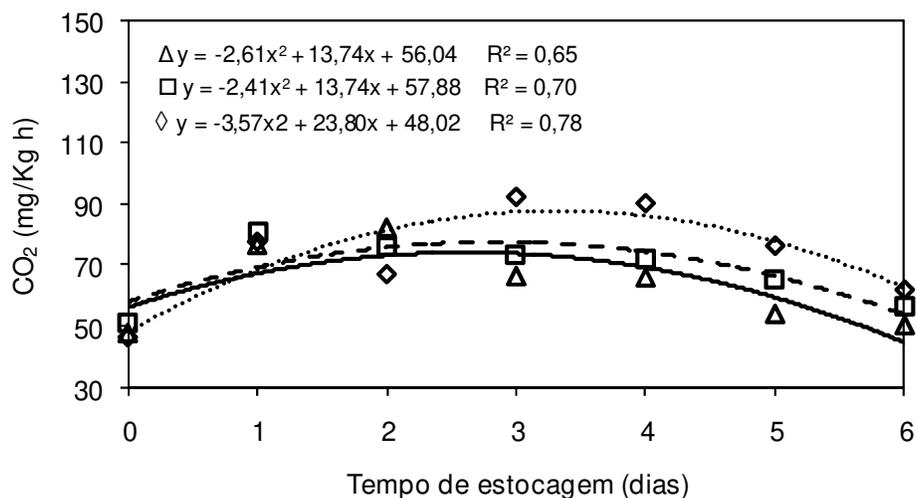


Figura 41 - Comparativo da produção de gás carbônico do mamão submetido à simulação de transporte no sistema de embalagem: ( $\Delta$ ) sem acolchoamento, ( $\square$ ) com fibra de coco e ( $\diamond$ ) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

#### 4.4.2 Manga

Os sistemas de embalagem com acolchoamento foram mais eficientes para a manga do que para o mamão, pois a maioria das injúrias foi considerada leve, mas observadas somente a partir do terceiro dia de armazenamento. A Figura 42

ilustra estes resultados, onde se observou que provavelmente, a epiderme mais espessa da manga, comparada à do mamão, contribuiu com o acolchoamento para proteção do fruto, pois a incidência de defeitos graves só foi observada no sistema sem acolchoamento. Assim, como observado em trabalho desenvolvido com peras (BERARDINELLI et al., 2005), a maioria dos danos leves consistia de marcas de polimento na epiderme, podendo ser consideradas injúrias desprezíveis e sem hematomas visíveis no interior do fruto.

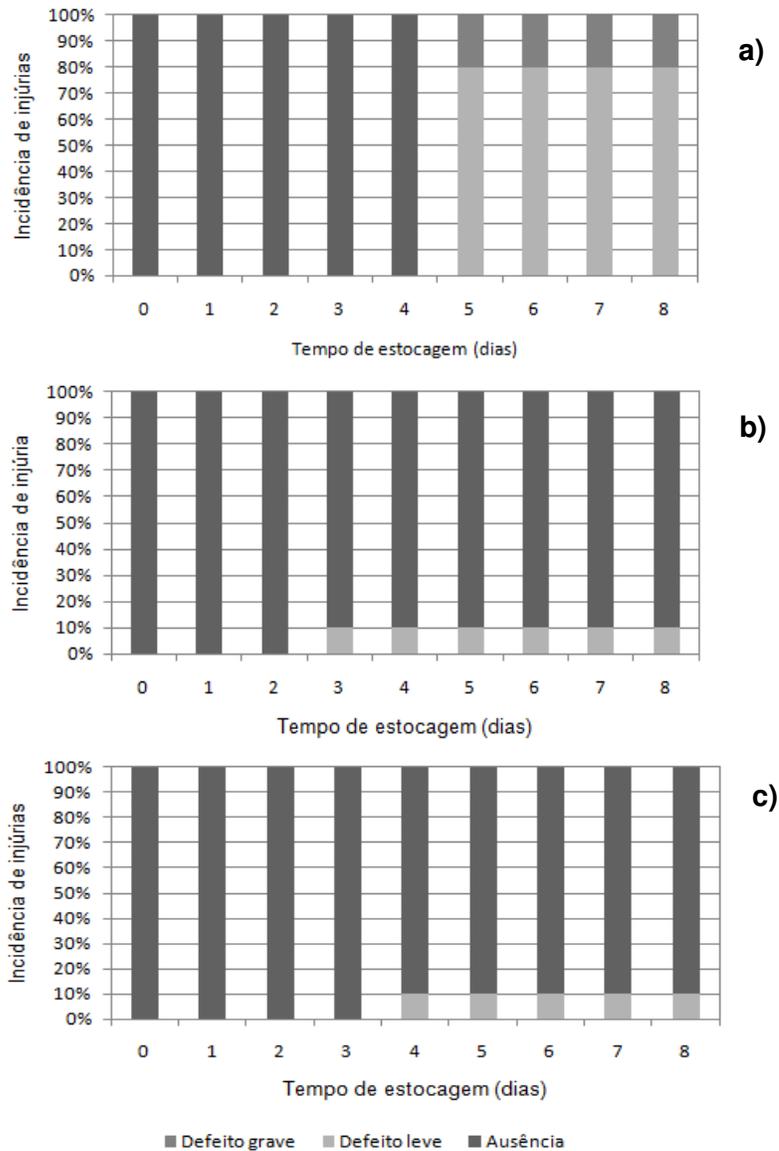


Figura 42 - Incidência e classificação de injúrias mecânicas na manga: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) com palha de madeira, ao longo do período de estocagem.

Através do corte dos frutos, foi possível comprovar a eficácia da fibra de coco e da palha de madeira na proteção das mangas contra os defeitos graves, pois ao final da estocagem, apenas os frutos do sistema sem acolchoamento apresentaram injúrias (Figura 43).



Figura 43 - Corte longitudinal de manga com defeito grave na polpa, proveniente de sistema sem acolchoamento.

Os resultados de perda de peso durante oito dias de estocagem revelaram, com clareza, que não houve diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ) entre os sistemas de embalagem avaliados. Todos os tratamentos apresentaram perda de peso menor do que 7%. Segundo Honório e Moretti (2002), parte da água perdida pelo processo de transpiração ocorre através dos estômatos presentes na casca da manga, a qual neste experimento, não apresentou abrasões consideráveis como no mamão. Comparativamente, a epiderme da manga é muito mais espessa do que o mamão e, provavelmente, a reduzida incidência de abrasões contribuiu para a perda de peso uniforme entre os sistemas de embalagem. É interessante ressaltar que o uso de materiais de acolchoamento à base de celulose mantém a

condição ótima de umidade e temperatura, através da absorção de umidade perdida pela fruta (LAKSHMINARAYANA, 1980).

As alterações na coloração da casca dos frutos foram bastante semelhantes em todos os tratamentos avaliados, sendo que os sistemas de embalagens não influenciaram a cor da casca dos frutos ao ponto de estabelecer diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ).

Quanto à luminosidade, as mangas acondicionadas com fibra de coco não apresentaram variação com o tempo de estocagem, enquanto a palha de madeira e o sistema sem acolchoamento apresentaram ligeiro aumento a partir do início da estocagem (Figura 44). De modo geral, o reduzido grau de injúrias na casca das mangas não favoreceu o escurecimento, já observado no transporte rodoviário de mangas, onde o volume de injúrias foi elevado e o escurecimento aumentou com o tempo (CHONHENCHOB; SINGH, 2004).

Através dos resultados do ângulo de tonalidade (Figura 45), observou-se variação gradativa da cor amarelo esverdeado para a cor laranja, em todos os tratamentos. Tal comportamento evidencia o desaparecimento da clorofila e aumento de pigmentos antocianina, carotenóides totais e beta-caroteno na epiderme dos frutos (LAKSHMINARAYANA, 1980). Tais modificações resultaram em maior intensidade da cor ( $p < 0,05$ ), ao longo do período de estocagem, mas principalmente da cor laranja, conforme os resultados da cromaticidade na Figura 46.

Assim, como a cor instrumental, a cor visual da manga também não foi influenciada pelos acolchoamentos, pois não houve variação significativa ( $p \geq 0,05$ ), entre os tratamentos avaliados (Figura 47). Ao longo do tempo, observou-se mudança progressiva na cor da epiderme, conforme o amadurecimento dos frutos. As mudanças da cor verde para o vermelho ocorrem durante o pico climatérico e estão relacionadas com a taxa de respiração e o estágio de amadurecimento comestível de mangas (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

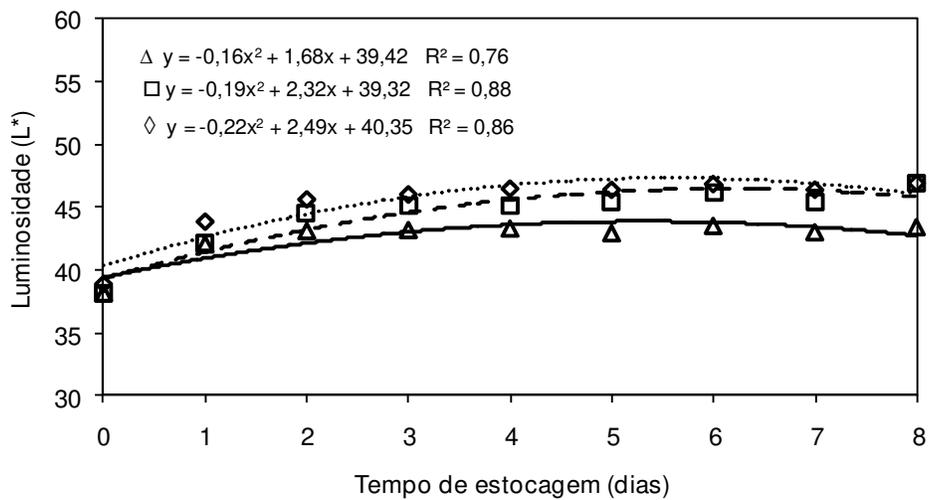


Figura 44 - Alterações na luminosidade de cor da manga submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (□) com fibra de coco e (◇) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

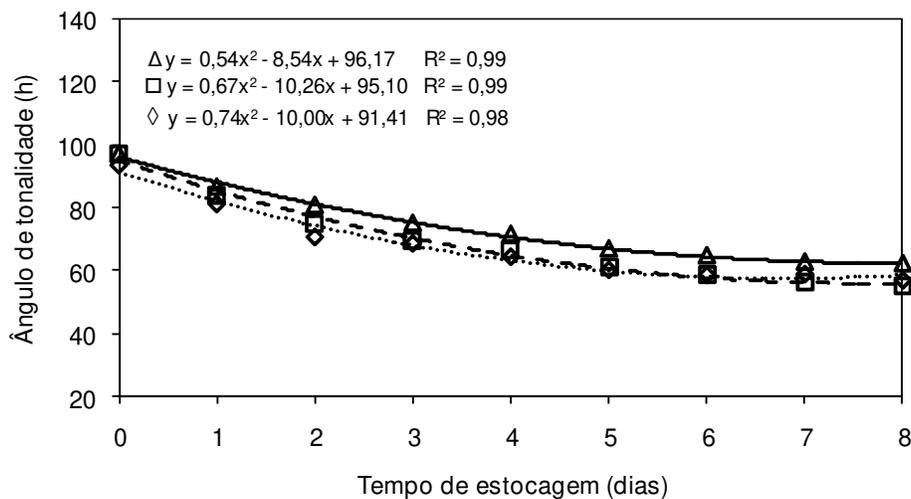


Figura 45 - Ângulo de cor da casca de mangas submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (□) com fibra de coco e (◇) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

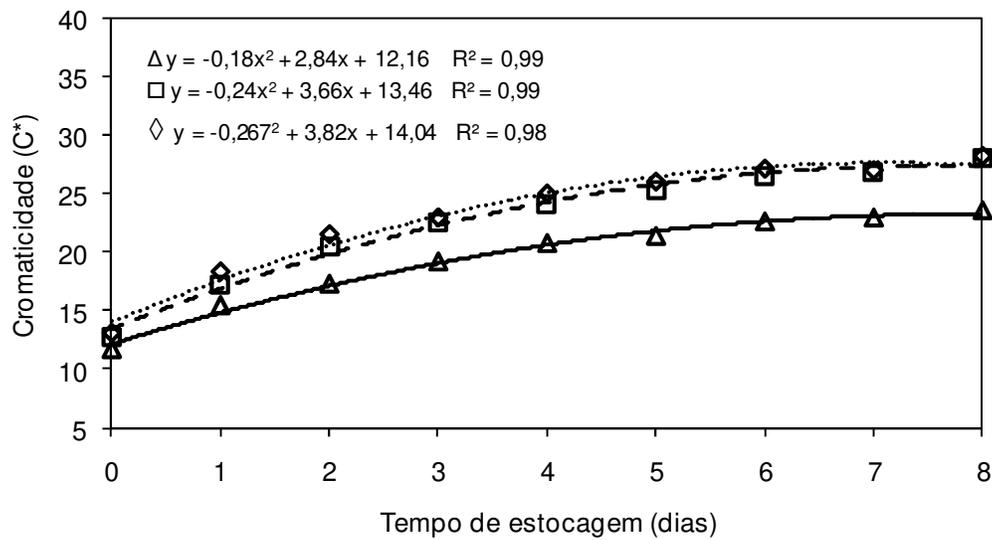


Figura 46 – Cromaticidade de mangas submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (□) com fibra de coco e (◇) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

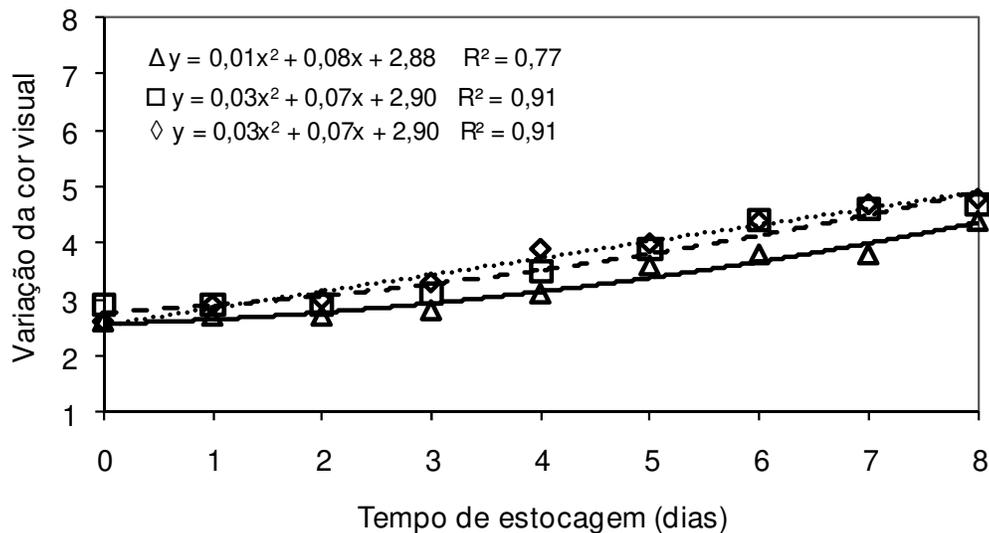


Figura 47 - Variação da cor visual da manga submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (□) com fibra de coco e (◇) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

Quanto à atividade respiratória, os resultados da produção de gás carbônico são apresentados na Figura 48. Ao longo do tempo, houve leve aumento na produção de gás carbônico seguido de redução, conforme a Tabela

24 (Apêndice 2). Além disso, observou-se que a produção de CO<sub>2</sub> ultrapassa os valores adequados à manutenção da qualidade da manga, próximo à faixa de 69 a de 157 mg/kg.h de CO<sub>2</sub> (KADER, 2009).

Dentre os sistemas avaliados, o PM proporcionou os maiores valores de produção de CO<sub>2</sub>, contudo não houve diferença significativa ( $p \geq 0,05$ ) com os demais tratamentos. Portanto, os sistemas de embalagem não influenciaram a taxa de respiração da manga e não foi possível correlacionar aos resultados de incidência de injúrias (Figura 42). Estes resultados condizem com Chonhenchob e Singh (2004) que observaram pouca correlação entre a taxa de respiração e o volume de injúrias em mangas.

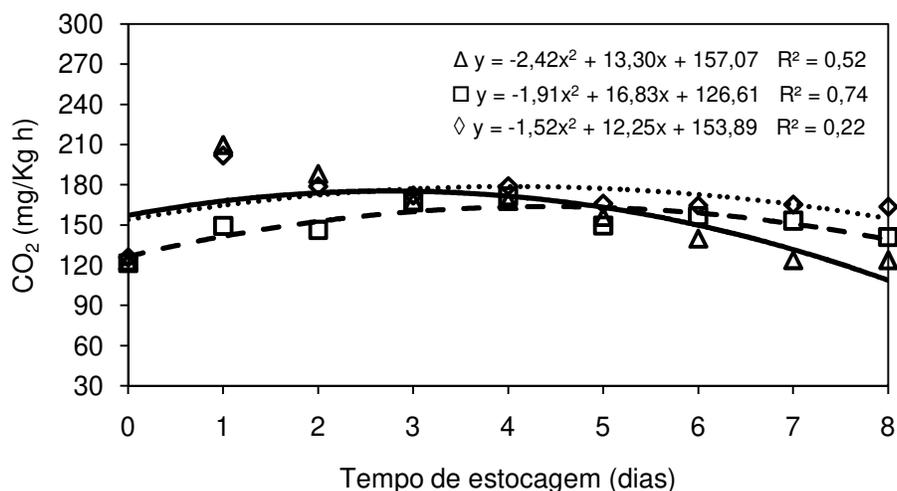


Figura 48 - Comparativo da produção de gás carbônico da manga submetida à simulação de transporte no sistema de embalagem: (Δ) sem acolchoamento, (□) com fibra de coco e (◇) com palha de madeira, durante o período de estocagem.

De modo geral, todos os sistemas de embalagem foram eficientes para a proteção da manga, nas condições impostas durante a simulação, visto que, a aparência do fruto não foi comprometida durante a estocagem. Por outro lado, as antracoses tornaram-se evidentes na epiderme de algumas frutas, a partir do quinto dia de estocagem, comprometendo a continuidade das análises (Figura 49).



Figura 49 - Manga do sistema: a) sem acolchoamento; b) com fibra de coco; c) com palha de madeira, aos oito dias de estocagem.



---

## **5 CONCLUSÃO**

Quanto ao desempenho como material de acolchoamento, a fibra de coco apresentou comportamento semelhante aos materiais celulósicos. Observou-se, também, que a disponibilidade de matéria-prima para a obtenção da fibra de coco é facilitada por ser classificada tanto como descarte pós-consumo quanto subproduto industrial; diferente de outros materiais celulósicos tal como, a palha de madeira, que é fabricada a partir de árvores como o pinus e, de modo geral, não possui a característica de resíduo. O método de extração desenvolvido foi eficaz para a obtenção de bom percentual de fibra longa.

A utilização da fibra do coco verde como material de acolchoamento também pode ser analisada através da aplicabilidade em mamão e manga. Para o mamão, a fibra de coco reduziu as injúrias mais graves como as que atingem a polpa, entretanto não evitou a incidência de abrasões, com o amadurecimento do fruto. Apesar disso, produziu menos agressões na epiderme do que a palha de madeira. Em frutos de epiderme mais espessa como a manga, as abrasões provocadas pela fibra não comprometeram o metabolismo natural do fruto e manteve a capacidade de proteger o fruto contra as injúrias graves.

Diante deste contexto, é possível proteger frutos tropicais, utilizando a fibra de coco verde no estado natural, contudo, para a comercialização sem risco sanitário, a descontaminação hidrotérmica da fibra seria uma opção viável ao material. Para isso, seria interessante avaliar se o tratamento proposto alteraria a composição química a ponto de comprometer sua resistência mecânica.

Além disso, percebeu-se que a aplicabilidade da fibra poderá tornar-se mais expressiva com o desenvolvimento de acessórios de embalagem, tais como mantas, bandejas, flocos expandidos e outros acolchoados de fibra. Para a obtenção destes produtos, a polpa moldada, e o gel de fécula de mandioca apresentaram-se como boas alternativas, contudo é necessário desenvolver um

processo de fabricação em série, visando melhor uniformidade e rapidez na obtenção destes produtos.

## **6 SUGESTÕES**

- 1) Quantificar o rendimento da fibra de coco verde, com base em seu comprimento, através do método de extração desenvolvido.
- 2) Realizar estudo sobre a descontaminação hidrotérmica da fibra de coco verde e acompanhar sua composição química, a fim de não comprometer a resistência mecânica.
- 3) Correlacionar o desempenho da fibra de coco como material de acolchoamento com a variação da umidade relativa do ambiente.
- 4) Desenvolver metodologia para fabricação industrial de bandejas de fibra de coco verde com aglutinante natural, tal como gel de fécula, visando o estudo de sua aplicabilidade como embalagens de frutas.
- 5) Desenvolver metodologia para fabricação industrial de fibra de coco na forma de flocos expandidos.
- 6) Determinar o grau de fragilidade do mamão, da manga ou de outro fruto e correlacionar os resultados com as curvas de acolchoamento já construídas para a fibra de coco.



---

## 7 REFERÊNCIAS

AGRAFNP Consultoria e Comércio. **Anuário Estatístico do Brasil 2010**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2010. 520 p.

ASSIS, J. S. de. Elaboração e difusão das normas da produção integrada da manga no Brasil: colheita e pós-colheita, Petrolina, [2003]. Embrapa Semi-árido. Disponível em: </recursos/OPB617D-x9WGTPL5Fm.pdf>. Acesso em: 03 set. 2009.

AMIM, P. R. P. **Estudo de misturas de HDPE e fibra de coco como mecanismo de desenvolvimento limpo para utilização em madeira plástica**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) - Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ANNUNCIADO, T. R.; SYDENSTRICKER, T. H. D.; AMINCO, S. C. Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, v. 50, n. 11, p. 1340-1346, 2005.

ARAGÃO, W. M.; SANTOS, V. A. J.; ARAGÃO, F. B. **Produção de fibra de cultivares de coqueiro**, Aracaju, jan. 2005. EMBRAPA. Disponível em:<[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2005/cot-36.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2005/cot-36.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2007.

ARAGÃO, W. M. (Ed.) **Coco: pós-colheita**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 76 p. Frutas do Brasil.

ARDITO, E. F. G. Aplicação de impermeabilizantes em materiais celulósicos versus reciclagem. **Informativo CETEA**, Campinas, v. IV, n. 2, p. 2-3, mar./abr. 1992.

ASASUTJARIT, C. et al. Development of coconut coir-based lightweight cement board. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 21, n.2, p. 277-288, 2007.

A TAQUARA forra o laptop. **Embalagem Marca**, São Paulo, ano XIII, n. 125, jan. 2010. p. 36. Internacional.

BARCHI, G. L. et al. Damage to loquats by vibration-simulating intra-state transport. **Biosystems Engineering**, San Diego, v. 82, n. 3, p. 305-312, 2002.

- BERARDINELLI, A. et al. Damage to pears caused by simulated transport. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 66, n. 2, p. 219-226, 2005.
- BISCEGLI, C. I. et al. Uso da tomografia de ressonância magnética para diagnosticar os efeitos de injúrias mecânicas em figos 'roxo de valinhos'. **Comunicado Técnico nº52**, São Carlos: EMBRAPA, set. 2003.
- BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, Oxford, v. 24, n. 2, p. 221-274, 1999.
- BOLSA Amazônia. Bolsa Brasil. [S. l.]. Disponível em: <[http://www.bolsamazonia.com/brsil/texto\\_produtos.asp?prd=9](http://www.bolsamazonia.com/brsil/texto_produtos.asp?prd=9)>. Acesso em: 02 mar. 2007.
- BORDIN, M. R.; GARCIA, A. E. Aquisição e análise de sinais de choque e vibração. **Informativo CETEA**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 3-5, jan./fev. 1993.
- BORDIN, M. R.; GARCIA, A. E. Materiais de acolchoamento. **Informativo CETEA**, Campinas, v. IV, n. 3, p. 2-4, maio/jun. 1992.
- BORDIN, M. R. Os ensaios de vibração aplicados ao desenvolvimento de produtos. **Informativo CETEA**, Campinas, v. 6, n. 4, p. 9-10, jul./ago. 1994.
- BRASIL. Portaria nº 249, de 29 de julho de 2009. Anexos do regulamento técnico do mamão. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 29 de nov. de 2009.
- BRASIL. Instrução normativa nº 23, de 02 de agosto de 2004. Requisitos fitossanitários harmonizados por categoria de risco para o ingresso de produtos vegetais. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do>>. Acesso em: 07 jul. 2010.
- BRASIL. Portaria nº 689, de 21 de novembro de 2002. Regulamento técnico de identidade e de qualidade da manga. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 29 nov. 2009.
- BRAHMAKUMAR, M.; PAVITHRAN, C.; PILLAI, R. M. Coconut fibre reinforced polyethylene composites: effect of natural waxy surface layer of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites. **Composites Science and Technology**, Oxford, v. 65, n. 3, p. 563-569, 2005.
- BRECHT, J. K. et al. Fisiologia pós-colheita de tecidos musculares comestíveis. In: DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

- CANAL ciência. Pesquisa estuda mercado e produtos gerados pelo emprego industrial da fibra de coco. [2006]. Disponível em: <<http://www.canalciencia.ibict.br/pesquisas/pesquisa.php?refpesquisa=222>>. Acesso em: 22 out. 2007.
- CARRIJO, O. A. et al. Uso da fibra da casca de coco verde para o preparo de substrato agrícola, Brasília, jan. 2006. Embrapa Hortaliças. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br>>. Acesso em: 05 out. 2007.
- CENCI, S. A.; FONSECA, M. J. de O.; FREITAS-SILVA, O. Procedimentos pós-colheita. In: FOLEGATTI, M. I. da S.; MATSUURA, F.C. A. U. Mamão: pós-colheita. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.
- CENTRO DE COMÉRCIO INTERNACIONAL. Manual de embalagem de móveis. Genebra: ITC, 1997.122p. cap. 7-8.
- CHACE, W.; PANTASTICO, ER. B. Principles of transport and commercial transport operations. In: PANTASTICO, ER. B. **Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables**. Westport: Avi Publishing Company, 1975. Cap. 20.
- CHENG, P.; GARIEPY, Y.; RAGHAVAN, G. S. V. Mechanical properties of popcorn with different moisture levels. **ASAE Annual International Meeting**. p. 6851-6860, 2004.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005.
- CHONHENCHOB, V.; SINGH, P. Packaging performance comparison for distribution and export of papaya fruit. **Packaging Technology and Science**, England, v. 18, n. 3, p. 125-131, 2005.
- CHONHENCHOB, V.; SINGH, P. Testing and comparison of various packages for mango distribution. **Journal of Testing and Evaluation**, W. Conshohocken, v. 32, n. 1, p. 1-4, 2004.
- CLARA, L. N. et al. Processo de obtenção de pré-impregnados poliméricos termoplásticos via moldagem por compressão a quente. **Polímero: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 9, n. 3, p. 18-27, 1999.
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. Fichas técnicas: Plásticos. [2008]. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/fichas\\_tecnicas.php?lnk=ft\\_lastico.php](http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_lastico.php)>. Acesso em: 04 out. 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de rodovias 2009: relatório gerencial. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2009. 152 p. color; gráficos. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/informacoes/pesquisas/rodovaria/2009>>. Acesso em: 30 abril 2010.

CORRADINI, E. et al. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 31, n. 3, p. 837-846, 2009.

COSTA, C. D. P. da. **Seleção de polímeros recicláveis para fabricação de compósitos com fibras naturais**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

DANTAS, T. B. Utilização de materiais celulósicos no acolchoamento. **Informativo CETEA**, Campinas, v. 14, n. 2, abr./jun. 2002.

DAUM, M.; BATT, G. Prediction of cushion performance less than one inch thick. **Journal of Testing and Evaluation**, Philadelphia, v. 37, n. 4, p. 1-4, 2009.

DONGMEI, W. Cushioning properties of multi-layer corrugated sandwich structures. **Journal of Sandwich Structures and Materials**, London, v. 11, n.1, p. 57-66, 2009.

EAGLETON, D. G.; MARCONDES, J. A. Moisture-sorption isotherms for paper-based components of transport packaging for fresh produce. **Tappi Journal**, Norcross, v. 77, n. 7, p. 75-81, 1994.

ECKERT, J. W. Postharvest pathology. In: PANTASTICO, ER. B. **Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables**. Westport: Avi Publishing Company, 1975. Cap. 19.

FARIA, L. J. G. **Processos de obtenção de fibras naturais**. In: MLTSCHEIN, T.; PINHO, J. T.; FLORES, C. Plantas amazônicas e seu aproveitamento tecnológico. Belém: UFPA, 1993.

FARI, L. J.; CUNHA, E. S. **Processamento de fibras vegetais para a aplicação industrial**. Belém, PA, 1996.

FIELDER, R. M. Predicting minimum cushion thicknesses. **American Society for Testing and Materials**, Philadelphia, p. 33-42, 1988.

FISCHER, D. et al. Simulated in-transit vibration damage to packaged fresh market grapes and strawberries. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 8, n. 3, p. 363-366, 1992.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 01 abril 2010.

FOULADI, M. H.; AYUB, Md.; MOHD NOR, M. J. Analysis of coir fiber acoustical characteristics. **Applied Acoustics**, v. 72, p. 35-42, 2011.

GARCIA, A. E.; FARIA, E. V. Desenvolvimento de embalagens de distribuição I – sistema de distribuição e fragilidade do produto. **Informativo CETEA**, Campinas, v. III, n. 3. p. 3-8, maio/jun. 1991a.

GARCIA, A. E.; FARIA, E. V. Desenvolvimento de embalagens de distribuição II – especificação de materiais e teste de embalagem. **Informativo CETEA**, Campinas, v. 3, n. 4. p. 6-9, jul./ago. 1991b.

GE, C. Model of Accelerated Vibration Test. **Packaging Technology and Science**, England, v. 13, n. 1, p. 7-11, 2000.

GEETHAMMA, V. G. et al. Composite of short coir fibres and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre. **Polymer**, Oxford, v. 39, n. 7, p. 1483-1491, 1997.

GHAVAMI, K., TOLEDO FILHO, R. D., BARBOSA, N. P. Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres. **Cement and Concrete Composites**, Oxford, v. 21, n. 1, p. 39-48, 1999.

GONZALEZ, P. M.; ZEPKA, M. M. Embalagens e materiais de acolchoamento e o meio ambiente. **Portal de Embalagens**. Rio Grande, RS. Disponível em: <[http://www.furg.br/portaldeembalagens/cinco/mater\\_acolch.html](http://www.furg.br/portaldeembalagens/cinco/mater_acolch.html)>. Acesso em: 28 abr. 2008.

GOYAL, R. K.; ILYAS, R. M. Effect of transportation distance on quality of farm fresh tomatoes. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, 2003.

GRIMWOOD, B. E. **Coconut palm products**: their processing in developing countries. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 1975.

- GUTIERREZ, A. de S. D.; FANALE, C. I.; WATANABE, H. S. A embalagem de frutas e hortaliças frescas. In: LUENGO, R. de F. A.; CALBO, A. G. **Embalagens para comercialização de hortaliças e frutas no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009.
- HANLON, J. F.; KELSEY, R. J.; FORCINIO, H. E. **Handbook of Package Engineering**, 3 ed. New York: CRC Press, 2000.
- HENZ, G. P. Patógenos de doenças de pós-colheita das hortaliças disseminados por meio de embalagens. In: LUENGO, R. de F. A.; CALBO, A. G. **Embalagens para comercialização de hortaliças e frutas no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009.
- HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. Fisiologia pós-colheita de frutas e hortaliças. In: \_\_\_\_\_. **Resfriamento de frutas e hortaliças**, Embrapa Hortaliças, Brasília, 2002.
- IGWE, J. Ch.; ABIA, A. A.; IBE, Ch. A. Adsorption kinetics and intraparticulate diffusivities of Hg, As and Pb ions on unmodified and thiolated coconut fiber. **International Journal of Environment Science Technology**, v. 5, n. 1, p. 83-92, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal e Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 28 nov. 2007.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Embalagens de Transporte**: guia de uso. São Paulo, maio 1975.
- JACOMINO, A. P.; BRON, I. U.; KLUGE, R. A. Avanços em tecnologia pós-colheita de mamão. In: MARTINS, D. S. (Ed.) **Papaya Brasil**: qualidade do mamão para o Mercado interno. Vitória, ES: INCAPER, p. 273-289, 2003. Disponível em: <[http://fundagres.org.br/downloads/PI-mamao/2003\\_cap\\_18.pdf](http://fundagres.org.br/downloads/PI-mamao/2003_cap_18.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2009.
- JARIMOPAS, B. et al. Test method to evaluate bruising during impacts to apples and compare cushioning materials. **Journal of Testing and Evaluation**, W. Conshohocken, v. 35, n. 3, p. 1-6, 2007.
- JARIMOPAS, B.; SINGH, P.; SAENGNIL, W. Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged tangerines during transit. **Packaging Technology and Science**, England, v. 18, n. 4, p. 179-188, 2005.
- JARMAN, C. G. A note on rubber seed coat. London: Tropical Products Institute, 1969.

- KADER, A. A. Mango: recommendations for maintaining postharvest quality. **Postharvest Technology**. 2009. Disponível em: <<http://postharvest.ucdavis.edu>>. Acesso em: 09 fev. 2011.
- KADER, A. A. Respiration and gas exchange of vegetables. In: WEICHMANN, J. (Ed.). **Postharvest physiology of vegetables**. New York: Marcel Dekker, 1987.
- KADER, A. A.; SALTVEIT, M. E. Respiration and gás exchange. In: BARTZ, J. A.; BRECHT, J. K. (Ed). **Postharvest physiology and pathology of vegetables**. 2 ed. New York: Marcel Dekker, 2003.
- KAWANO. Transportation simulation development and its application on food transportation technology improvement. 1987.
- KHALIL, H. P. S. A. et al. Acetylated plant-fiber-reinforced polyester composites: a study of mechanical, hydrothermal, and aging characteristics. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, v. 39, n. 4, p. 757-781, 2000.
- KHEDARI, J., WATSANASA, T. P., HIRUNLABH, J. Development of fibre-based soil–cement block with low thermal conductivity. **Cement & Concrete Composites**, Oxford, v. 27, p. 111–116, 2005.
- LAKSHMINARAYANA, S. Mango. In: NAGY, S.; SHAW, P. E. **Tropical and subtropical fruits: composition, properties and uses**. Westport: AVI Publishing, 1980. Cap. 4.
- LACERDA, F. C. de. Efeitos das acelerações e frequências durante o transporte do figo 'roxo de Valinhos'. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- LEAL, I. Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas, Bahia, abr. 2006. **Agricultura e Pecuária**. Disponível em: <<http://www.ba.retec.org.br>>. Acesso em: 07 ago. 2007.
- LICHTEMBERG, L. A. Colheita e pós-colheita da banana. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.196, p.73-90, jan./fev.1999.
- LIMA, A. W. O.; BORA, P. S. Application of a new continuous flow spectrophotometric method for the characterization of polyphenol oxidase naturally immobilized on coconut fiber. **Journal of Food Biochemistry**, Trumbull, v. 27, n. 3, p. 237-254, 2003.
- LU, L.-X.; WANG, Z.-W. Dropping bruise fragility and bruise boundary of apple fruit. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 50, n. 4, p. 1323-1329, 2007.

LUENGO et al. Redução de perdas pós-colheita em tomate de mesa acondicionado em três tipos de caixas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 151-154, 2001.

LUENGO, R. de F. A.; CALBO, A. G. **Embalagens para comercialização de hortaliças e frutas**. Circular Técnico 44, dez. 2006. Disponível em:<[http://bbeletronica.cnph.embrapa.br/2006/ct/ct\\_44.pdf](http://bbeletronica.cnph.embrapa.br/2006/ct/ct_44.pdf)>. Acesso em: 26 nov. 2008.

LUI, W.-B.; PENG, J. C. Effects of composition levels on the cellular structure and the thermal properties of biodegradable cushioning extrudates. **Journal of cellular plastics**, London, v. 40, n. 6, p. 445-459, 2004.

MACKSON, J. P.; SINGH, S. P. The effect of temperature and vibration on emulsion stability of mayonnaise in two different package types. **Packaging Technology and Science**, England, n. 4, p. 81-90, 1991.

MAIA, V. M. et al. Tipos e intensidade de danos mecânicos em bananas 'Prata-anã' ao longo da cadeia de comercialização. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal/SP, v. 30, n. 2, p. 365-370, jun. 2008.

MARANCA, G. **Fruticultura comercial: manga e abacate**. 3 ed. São Paulo: Nobel, 1978.

MARCONDES, J. Vibration. In: BRODY, A. L.; MARSH, K. S. **The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology**. 2 ed. New York, 1997, p. 955-958.

MARCONDES, J. et al. Effect of temperature on the cushioning properties of some foamed plastic materials. **Packaging Technology and Science**, England, v. 16, n. 2, p. 69-76, 2003.

MARCONDES, J. A. Cushioning properties of corrugated fiberboard and the effects of moisture content. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 6, p. 1949, 1992.

MCKINLAY, A. H. Cushioning systems: interior packaging for shock and vibration protection. In: \_\_\_\_\_. **Transport packaging**. 2. ed. New York: Institute of Packaging Professionals, mar. 2004, p. 109-123. cap. 10.

MEDINA, J. C. et al. **Coco: da cultura ao processamento e comercialização**. Campinas: ITAL, 1980. Série frutas tropicais 5.

MEDINA, J. C. **Plantas fibrosas da flora mundial**. Campinas: Indústria Gráfica Siqueira, 1959. Seção plantas fibrosas.

- 
- MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; HINRINCHSEN, G. Biofibers, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 27, n.3-4, p.1-24, 2000.
- MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**: structure, physical characteristics and mechanical properties. 2 ed. New York: Gordon and Breach, 1986.
- MUNAWAR, S. S.; UMEMURA, K.; KAWAI, S. Characterization of the morphological, physical and mechanical properties of seven nonwood plant fiber bundles. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 53, n. 2, p. 108-113, 2007.
- NAGANATHAN, P.; HE, J.; KIRKPATRICK, J. The effect of compression of enclosed air on the cushioning properties of corrugated fibreboard. **Packaging Technology and Science**, England, v. 12, n. 2, p. 81-91, 1999.
- NUNES, M. U. C. Fibra e pó da casca de coco: produtos de grande importância para a indústria e a agricultura. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Coco pós-colheita**. Brasília, 2002. p. 29-71. Frutas do Brasil.
- NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R. dos; SANTOS, T. C. dos. Tecnologia para biodegradação da casca de coco seco e de outros resíduos do coqueiro. nov. 2007. Disponível em: <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2007/ct-46.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2007/ct-46.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2008.
- O ENTREPOSTO terminal da CEAGESP e as embalagens. 2010. Disponível em : <<http://www.hortibrasil.org.br>>. Acesso em: 09 nov. 2010.
- OLIVEIRA, R. B.; LIMA, E. M. Polímeros na obtenção de sistemas de liberação de fármacos. **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 3, n. 1, p. 29-35, 2006.
- OSBORN, D. B. Package cushioning systems. In: PAINE, F. A. (Ed.). **Packaging Materials and Containers**. London: Blackie e Son Limited, 1967. cap. 24.
- PASSOS, P. R. de A. **Destinação sustentável de cascas de coco (cocos nucifera) verde**: obtenção de telhas e chapas de partículas. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- PAULL, R. E. et al. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (*Carica papaya* L.). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 11, n. 3, p. 165-179, 1997.

- PELEG, K. Produce Handling. **Packaging and Distribution**. Westport: AVI Publishing Company, 1985.
- PHAN, C. T. et al. Respiration and respiratory climateric. In: PANTASTICO, Er. B. **Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables**. AVI Publishing Company, Westport, Connecticut, 1975.
- POÇAS, M. de F. F.; OLIVEIRA, F. A. R. Manual de Embalagem para Hortofrutícolas Frescos. 1 ed. Porto: ESB/UCP, 2001.
- QUINTANA, M. E. G.; PAULL, R. E. Mechanical injury during postharvest handling of 'Solo' papaya fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 118, n. 5, p. 618-622. 1993.
- RAJAN, A. et al. Biosoftening of coir fiber using selected microorganisms. **Bioprocess Biosystems. Engineering**, New York, v. 28, n. 3, p. 165-173, 2005.
- RAMSLAND, T. Cushioning Materials. **Handbook on Procurement of Packaging**. Finland: PRODEC, 1989. cap. 16. p. 99-100.
- REIS, J. M. L. Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 20, p. 673–678, 2006.
- RHIM, J-W.; LEE, J. H. Thermodynamic analysis of water vapor sorption isotherms and mechanical properties of selected paper-based food packaging materials. **Journal of Food Science**, Malden, v. 74, n. 9, 2009.
- ROSA, M. de F. **Beneficiamento da casca de coco verde**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2005. Portifólio. Disponível em: <<http://www.cnpat.embrapa.br/home/portfolio/gt.php?id=10>>. Acesso em: 10 nov. 2008.
- ROSA, M. F.; CHIOU, B-S.; MEDEIROS, E. S. Biodegradable composites based on starch/EVOH/glycerol blends and coconut fibers. **Journal of Applied Polymer Science**, p. 612-618, 2009.
- ROSA, M. de F. et al. **Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola**. Embrapa Agroindústria Tropical: Fortaleza. n 54, p. 1-6, 2001a. Comunicado Técnico 54. Disponível em:<[http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CNPAT/7867/1/ct\\_54.pdf](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CNPAT/7867/1/ct_54.pdf)>. Acesso em: 09 dez. 2008.

---

ROSA, M. de F. et al. **Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde**. Fortaleza: Embrapa Agroindustrial Tropical, dez. 2001b. Comunicado Técnico 61. Disponível em:<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/CNPAT/7874>>. Acesso em: 09 dez. 2008.

ROSA, M. de F. et al. **Utilização da casca de coco como substrato agrícola**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 24 p. Documentos 52. Disponível em:<[http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigos\\_2842.pdf](http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigos_2842.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2009.

ROUT, J. et al. Novel eco-friendly biodegradable coir-polyester amide biocomposites: fabrication and properties evaluation. **Polymer Composites**, Brookfield, v. 22, n. 6, 2001.

SALAZAR, V. L. P.; LEAO, A. L. Aproveitamento da fibra de coco com látex para aplicação em assentos automobilísticos. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGINIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABES, 2000. v. 1, p. 442.

SALAZAR, V. L. P.; LEÃO, A. L. Biodegradação das fibras de coco e de sisal aplicadas na indústria automotiva. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 21, n. 2, p. 99-133, 2006.

SALAZAR, V. L. P.; CARASCHI, J. C.; LEAO, A. L. Avaliação dos produtos de emissão a partir da pirólise de assentos automotivos feitos de fibra de coco e de espuma de poliuretano. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n. 2, p. 162-166, 2005.

SALUNKHE, D. K.; KADAM, S. S. (Ed.). **Handbook of Fruit Science and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 502-504.

SANCHES, J. et al. Avaliação de danos mecânicos causados em banana “nânica” durante as etapas de beneficiamento, transporte e embalagem. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, v. 24, n. 1, p. 195-201, jan./abr. 2003.

SANTIAGO, B. H.; SELVAM, P. V. P. Tratamento superficial da fibra de coco: estudo de caso baseado numa alternativa econômica para fabricação de materiais compósitos. **Revista Anaytica**, São Paulo, n. 26, p. 42-45, 2007.

SANTOS, C. E. M. dos et al. Comportamento pós-colheita de mamões Formosa ‘TAINUNG 01’ acondicionados em diferentes embalagens para o transporte. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal/SP, v. 30, n. 2, p. 315-321, jun. 2008.

SÃO PAULO (Estado). Lei municipal nº 14.264, de 6 de fevereiro de 2007. Estabelece normas para a utilização de caixas descartáveis e retornáveis no acondicionamento, transporte, distribuição e venda de alimentos hortifrutícolas “in natura” no âmbito do Município de São Paulo e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/saude/vigilancia\\_em\\_saude/legislacao/index.php?p=9314](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/saude/vigilancia_em_saude/legislacao/index.php?p=9314)>. Acesso em: 23 set. 2010.

SASAKI, H.; SAITO, K.; ABE, K. Development of an air cushioning material based on a novel idea. **Packaging Technology and Science**, England, v. 12, n. 3, p. 143-150, 1999.

SATYANARAYANA, K. G. et al. Evaluation of strength properties of coir fibres obtained from different sources. **Indian Coconut Journal**, p. 3-6, 1989.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: source, production, morphology, properties and applications. **Composites Part A: applied science and manufacturing**, v. 38, p. 1694-1709, 2007.

SAVASTANO JUNIOR, H.; AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, L. Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v.17, n.1, p.113-124, set. 1997.

SCHNEIDER, A. W. **Dados gerais sobre a cultura da malva, juta, pimenta-do-reino e mandioca no Estado do Pará**. Associação de Crédito e Assistência Rural do Estado do Pará. 1972.

SENHORAS, E. M. Oportunidade da cadeia agroindustrial do coco verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua**, Maringá, n. 5, 2003. Quadrimestral.

SHIOWITZ, M. Flexibility within Standards through use of probability in selecting package test levels. **Package Dev.**, 1974.

SILVA, J. L. O.; CALBO, A. G. An apparatus to study compression stress in fruits and vegetables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 737-742, 1992.

SILVA, G. G. et al. Mechanical and thermal characterization of native brazilian coir fiber. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 76, p. 1197-1206, 2000.

SINGH, P.; CHARNNARONG, N.; BURGESS, G. Comparison of packaging materials for cushioning based on environmental concerns. In: WORLD CONFERENCE ON PACKAGING, 8, 1993, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: IAPRI CONGRESS, 1993. p. 521.

SINGH, S. P.; ANTLE, J. R.; BURGESS, G. J. Comparison between lateral, longitudinal, and vertical vibration levels in commercial truck shipments. **Packaging Technology and Science**, England, n. 5, n. 2, p. 71-75, 1992.

SINGH, S. P.; BURGESS, G. J.; XU, M. Bruising of apples in four different packages using simulated truck vibration. **Packaging Technology and Science**, England, v. 9, n. 5, p. 145-150, 1992.

SLAUGHTER, D. C.; HINSCH, R. T.; THOMPSON, J. F. Assessment of vibration injury to Bartlett pears. **American Society of Agricultural Engineers**, St Joseph, v. 36, n. 4, p. 1043-1047, 1993.

SMITH, J. P. et al. Packaging of fruits and vegetables. In: CHAKRAVERTY, (Ed.). **Handbook of Post-harvest Technology**. USA, cap. 19. 2003.

SOUZA, S. A. M. **Mamão no Brasil**: distribuição regional da produção e comportamento dos preços no período 1996-2005. Informações Econômicas, SP, v. 37, n. 9, set. 2007. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=9067>>. Acesso em: 24 jun. 2009.

SOUZA, R. M.; HENZ, G. P.; PEIXOTO, J. R. Incidência de injúrias mecânicas em raízes de mandioca-salsa na cadeia de pós-colheita. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, out./dez. 2003.

TIMM, E. J.; BROWN, G. K. Impacts recorded on avocado, papaya, and pineapple packing lines. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 7, n. 4, p. 418-422, 1991.

TOLEDO FILHO, R. D.; ENGLAND, G. L.; GHAVAMI, K. Comportamento em compressão de argamassas reforçadas com fibras naturais: I relação tensão-deformação experimental e processo de fratura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p. 79-88, 1997.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement & Concrete Composites**, Oxford, v. 22, p. 127-143, 2000.

VAN DAM, J. E. G. **Coir processing technologies**: improvement of drying, softening, bleaching and dyeing coir fibre/yarn and printing coir floor coverings. Amsterdam: Common Fund for Commodities, 2002. Artigo técnico nº 6.

VAN DAM, J. E. G. et al. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 1: lignin as intrinsic thermosetting binder resin. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 19, n. 3, p. 207-216, 2004.

VAN DAM, J. E. G. et al. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 2: coconut husk morphology, composition and properties. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 96-104, 2006.

VARIEDADES de mamão comercializadas na CEAGESP. 2010. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/jnw/images/stories/servicoalimentacao/variedades/mamao.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2010a.

VARIEDADES de manga comercializadas na CEAGESP. 2010. Disponível em: <http://www.hortibrasil.org.br/jnw/images/stories/servicoalimentacao/variedades/manga.pdf>. Acesso em: 09 de novembro de 2010b.

XIANG, M.; ESCHKE, R. Modelling of the effects of continual shock loads in the transport process. **Packaging Technology and Science**, England, v. 17, n. 1, p. 31-35, 2004.

WEI, W.; GU, H. Characterisation and utilization of natural coconut fibres composites. **Materials and Design**, Oxford, v. 30, n.7, p. 2741-2744, 2009.

## APÊNDICE 1

Tabelas referentes aos resultados da ANOVA para o mamão, incluindo valores médios, desvio padrão e comparação de médias de cada tratamento quanto à significância pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 13 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de perda de peso (%) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	M	FM	PM
0	0,00 ± 0,00 <sup>A,g</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>A,g</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>A,g</sup>
1	1,78 ± 0,17 <sup>A,f</sup>	1,66 ± 0,26 <sup>A,f</sup>	1,75 ± 0,64 <sup>A,f</sup>
2	3,17 ± 0,33 <sup>A,e</sup>	3,47 ± 0,50 <sup>A,e</sup>	3,59 ± 0,70 <sup>A,e</sup>
3	4,80 ± 0,52 <sup>A,d</sup>	5,44 ± 0,83 <sup>A,d</sup>	5,59 ± 0,81 <sup>A,d</sup>
4	6,47 ± 0,73 <sup>A,c</sup>	7,31 ± 1,13 <sup>A,c</sup>	7,45 ± 0,90 <sup>A,c</sup>
5	8,02 ± 0,96 <sup>A,b</sup>	9,01 ± 1,36 <sup>A,b</sup>	9,20 ± 1,01 <sup>A,b</sup>
6	9,62 ± 1,26 <sup>A,a</sup>	10,68 ± 1,58 <sup>A,a</sup>	11,00 ± 1,11 <sup>A,a</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 14 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de luminosidade ( $L^*$ ) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	M	FM	PM
0	37,43 ± 0,59 <sup>A,a</sup>	37,06 ± 0,77 <sup>A,a</sup>	35,81 ± 1,04 <sup>A,b</sup>
1	40,24 ± 1,06 <sup>A,a</sup>	37,71 ± 1,67 <sup>A,a</sup>	37,49 ± 0,80 <sup>A,ab</sup>
2	42,76 ± 2,16 <sup>A,a</sup>	38,76 ± 3,21 <sup>A,a</sup>	39,28 ± 0,76 <sup>A,ab</sup>
3	43,50 ± 3,28 <sup>A,a</sup>	39,78 ± 5,08 <sup>A,a</sup>	42,41 ± 2,54 <sup>A,ab</sup>
4	43,92 ± 4,28 <sup>A,a</sup>	40,36 ± 5,66 <sup>A,a</sup>	43,59 ± 3,77 <sup>A,a</sup>
5	43,57 ± 4,35 <sup>A,a</sup>	39,47 ± 6,20 <sup>A,a</sup>	43,05 ± 4,12 <sup>A,a</sup>
6	42,50 ± 4,76 <sup>A,a</sup>	39,40 ± 6,37 <sup>A,a</sup>	43,09 ± 4,53 <sup>A,a</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 15 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias do ângulo de tonalidade (h) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	M	FM	PM
0	110,75 ± 0,85 <sup>A,a</sup>	112,65 ± 2,11 <sup>A,a</sup>	109,74 ± 2,46 <sup>A,ab</sup>
1	105,54 ± 1,25 <sup>A,a</sup>	105,02 ± 3,11 <sup>A,a</sup>	108,54 ± 2,37 <sup>A,a</sup>
2	95,88 ± 1,87 <sup>A,b</sup>	96,89 ± 1,72 <sup>A,b</sup>	99,04 ± 1,74 <sup>A,ab</sup>
3	87,69 ± 3,63 <sup>A,bc</sup>	88,79 ± 3,45 <sup>A,c</sup>	88,37 ± 2,90 <sup>A,abc</sup>
4	80,08 ± 5,10 <sup>A,cd</sup>	82,84 ± 4,63 <sup>A,cd</sup>	80,47 ± 3,93 <sup>A,BC</sup>
5	75,59 ± 5,01 <sup>A,d</sup>	75,63 ± 4,32 <sup>A,de</sup>	73,59 ± 4,71 <sup>A,c</sup>
6	71,64 ± 5,24 <sup>A,d</sup>	72,84 ± 4,09 <sup>A,e</sup>	70,71 ± 4,87 <sup>A,c</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 16 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de cromaticidade (C\*) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	M	FM	PM
0	15,63 ± 0,63 <sup>A,a</sup>	15,76 ± 0,64 <sup>A,a</sup>	14,31 ± 0,83 <sup>A,a</sup>
1	17,75 ± 1,12 <sup>A,a</sup>	16,23 ± 1,32 <sup>A,a</sup>	14,90 ± 0,78 <sup>A,a</sup>
2	19,94 ± 1,79 <sup>A,a</sup>	17,53 ± 2,45 <sup>A,a</sup>	17,23 ± 0,34 <sup>A,ab</sup>
3	20,91 ± 2,92 <sup>A,a</sup>	18,44 ± 4,10 <sup>A,a</sup>	20,08 ± 1,89 <sup>A,ab</sup>
4	22,02 ± 4,20 <sup>A,a</sup>	19,23 ± 4,83 <sup>A,a</sup>	21,82 ± 3,01 <sup>A,b</sup>
5	21,83 ± 4,68 <sup>A,a</sup>	18,69 ± 5,65 <sup>A,a</sup>	21,91 ± 3,69 <sup>A,b</sup>
6	21,33 ± 5,61 <sup>A,a</sup>	18,61 ± 6,09 <sup>A,a</sup>	22,15 ± 4,41 <sup>A,b</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 17 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias da cor visual para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	M	FM	PM
0	2,0 ± 0,00 <sup>A,d</sup>	2,0 ± 0,00 <sup>A,c</sup>	2,0 ± 0,00 <sup>A,e</sup>
1	2,2 ± 0,42 <sup>A,cd</sup>	2,0 ± 0,00 <sup>A,c</sup>	2,2 ± 0,42 <sup>A,de</sup>
2	2,3 ± 0,48 <sup>A,cd</sup>	2,0 ± 0,00 <sup>A,c</sup>	2,2 ± 0,42 <sup>A,de</sup>
3	2,7 ± 0,48 <sup>A,c</sup>	2,6 ± 0,52 <sup>A,BC</sup>	2,8 ± 0,63 <sup>A,cd</sup>
4	3,4 ± 0,52 <sup>A,b</sup>	2,7 ± 0,48 <sup>A,b</sup>	3,3 ± 0,48 <sup>A,BC</sup>
5	4,5 ± 0,71 <sup>A,a</sup>	3,6 ± 0,70 <sup>A,a</sup>	4,0 ± 0,67 <sup>A,ab</sup>
6	4,7 ± 0,48 <sup>A,a</sup>	4,0 ± 0,82 <sup>A,a</sup>	4,7 ± 0,67 <sup>A,a</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 18 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias da respiração (mg/kg.h) para o tratamento do mamão sem acolchoamento (M), mamão com fibra de coco (FM) e mamão com palha de madeira (PM), durante os seis dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	M	FM	PM
0	47,80 ± 5,10 <sup>A,b</sup>	50,99 ± 4,25 <sup>A,c</sup>	46,32 ± 3,54 <sup>A,c</sup>
1	76,60 ± 23,21 <sup>A,a</sup>	80,90 ± 18,58 <sup>A,a</sup>	77,54 ± 20,49 <sup>A,ab</sup>
2	82,18 ± 15,01 <sup>A,a</sup>	75,82 ± 14,27 <sup>A,a</sup>	66,98 ± 13,22 <sup>A,bc</sup>
3	66,37 ± 11,77 <sup>B,ab</sup>	73,61 ± 9,80 <sup>B,ab</sup>	92,25 ± 19,16 <sup>A,a</sup>
4	65,96 ± 17,49 <sup>B,ab</sup>	72,07 ± 11,32 <sup>B,ab</sup>	90,17 ± 18,35 <sup>A,a</sup>
5	54,03 ± 12,12 <sup>B,b</sup>	65,30 ± 19,44 <sup>AB,abc</sup>	76,28 ± 18,96 <sup>A,ab</sup>
6	50,35 ± 13,73 <sup>A,b</sup>	56,22 ± 14,76 <sup>A,bc</sup>	61,87 ± 11,06 <sup>A,bc</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).



## APÊNDICE 2

Tabelas referentes aos resultados da ANOVA para a manga, incluindo valores médios, desvio padrão e comparação de médias de cada tratamento quanto à significância pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 19 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de perda de peso (%) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	G	FG	PG
0	0,00 ± 0,00 <sup>A,a</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>A,a</sup>	0,00 ± 0,00 <sup>A,a</sup>
1	1,04 ± 0,21 <sup>A,a</sup>	1,02 ± 0,18 <sup>A,a</sup>	1,00 ± 0,18 <sup>A,a</sup>
2	1,89 ± 0,34 <sup>A,a</sup>	1,96 ± 0,30 <sup>A,a</sup>	1,93 ± 0,30 <sup>A,a</sup>
3	2,82 ± 0,49 <sup>A,a</sup>	2,88 ± 0,41 <sup>A,a</sup>	2,86 ± 0,42 <sup>A,a</sup>
4	3,71 ± 0,66 <sup>A,a</sup>	3,75 ± 0,51 <sup>A,a</sup>	3,71 ± 0,54 <sup>A,a</sup>
5	4,47 ± 0,81 <sup>A,a</sup>	4,50 ± 0,61 <sup>A,a</sup>	4,44 ± 0,66 <sup>A,a</sup>
6	5,18 ± 0,94 <sup>A,a</sup>	5,20 ± 0,72 <sup>A,a</sup>	5,14 ± 0,79 <sup>A,a</sup>
7	5,81 ± 1,04 <sup>A,a</sup>	5,84 ± 0,83 <sup>A,a</sup>	5,76 ± 0,91 <sup>A,a</sup>
8	6,46 ± 1,13 <sup>A,a</sup>	6,52 ± 0,96 <sup>A,a</sup>	6,41 ± 1,04 <sup>A,a</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 20 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de luminosidade ( $L^*$ ) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	G	FG	PG
0	38,11 ± 1,93 <sup>A,b</sup>	38,10 ± 2,53 <sup>A,a</sup>	38,89 ± 2,33 <sup>A,b</sup>
1	42,07 ± 2,03 <sup>A,ab</sup>	42,14 ± 4,00 <sup>A,a</sup>	43,85 ± 3,11 <sup>A,ab</sup>
2	43,15 ± 2,03 <sup>A,a</sup>	44,48 ± 4,59 <sup>A,a</sup>	45,63 ± 3,36 <sup>A,ab</sup>
3	43,23 ± 1,73 <sup>A,a</sup>	45,19 ± 4,42 <sup>A,a</sup>	46,02 ± 3,49 <sup>A,a</sup>
4	43,34 ± 1,93 <sup>A,a</sup>	45,13 ± 4,34 <sup>A,a</sup>	46,48 ± 3,22 <sup>A,a</sup>
5	42,96 ± 1,92 <sup>A,a</sup>	45,45 ± 4,16 <sup>A,a</sup>	46,39 ± 3,07 <sup>A,a</sup>
6	43,55 ± 2,03 <sup>A,a</sup>	46,12 ± 3,92 <sup>A,a</sup>	46,85 ± 2,78 <sup>A,a</sup>
7	43,05 ± 2,10 <sup>A,a</sup>	45,43 ± 3,00 <sup>A,a</sup>	46,40 ± 2,83 <sup>A,a</sup>
8	43,46 ± 2,05 <sup>A,a</sup>	46,94 ± 2,16 <sup>A,a</sup>	46,92 ± 2,49 <sup>A,a</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 21 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias do ângulo de tonalidade (h) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	G	FG	PG
0	97,31 ± 8,99 <sup>A,a</sup>	97,18 ± 3,17 <sup>A,a</sup>	93,57 ± 6,30 <sup>A,a</sup>
1	86,74 ± 8,63 <sup>A,ab</sup>	84,08 ± 7,72 <sup>A,ab</sup>	81,20 ± 5,43 <sup>A,ab</sup>
2	80,87 ± 7,65 <sup>A,abc</sup>	75,01 ± 10,57 <sup>A,bc</sup>	70,72 ± 4,34 <sup>A,BC</sup>
3	75,14 ± 7,40 <sup>A,bcd</sup>	69,81 ± 10,99 <sup>A,bcd</sup>	68,65 ± 5,81 <sup>A,bcd</sup>
4	71,61 ± 6,90 <sup>A,bcd</sup>	66,30 ± 10,64 <sup>A,bcd</sup>	64,40 ± 5,92 <sup>A,cd</sup>
5	66,90 ± 6,43 <sup>A,cd</sup>	60,99 ± 9,39 <sup>A,cd</sup>	60,24 ± 5,12 <sup>A,cd</sup>
6	64,73 ± 7,12 <sup>A,cd</sup>	58,80 ± 7,58 <sup>A,cd</sup>	58,66 ± 4,55 <sup>A,cd</sup>
7	62,65 ± 6,78 <sup>A,d</sup>	56,62 ± 6,85 <sup>A,cd</sup>	58,90 ± 7,57 <sup>A,cd</sup>
8	62,14 ± 6,82 <sup>A,d</sup>	54,85 ± 4,60 <sup>A,d</sup>	56,96 ± 4,42 <sup>A,d</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 22 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias de cromaticidade (C\*) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	G	FG	PG
0	11,64 ± 2,67 <sup>A,c</sup>	12,79 ± 2,55 <sup>A,c</sup>	13,10 ± 1,27 <sup>A,c</sup>
1	15,41 ± 3,06 <sup>A,bc</sup>	17,27 ± 3,96 <sup>A,bc</sup>	18,35 ± 2,59 <sup>A,bc</sup>
2	17,25 ± 3,19 <sup>A,abc</sup>	20,53 ± 5,22 <sup>A,abc</sup>	21,53 ± 2,90 <sup>A,ab</sup>
3	19,16 ± 3,01 <sup>A,ab</sup>	22,58 ± 5,24 <sup>A,abc</sup>	22,96 ± 3,02 <sup>A,ab</sup>
4	20,74 ± 3,11 <sup>A,ab</sup>	24,15 ± 5,06 <sup>A,ab</sup>	25,00 ± 3,79 <sup>A,ab</sup>
5	21,36 ± 2,98 <sup>A,ab</sup>	25,34 ± 5,12 <sup>A,ab</sup>	26,02 ± 3,71 <sup>A,a</sup>
6	22,60 ± 3,09 <sup>A,ab</sup>	26,54 ± 4,81 <sup>A,ab</sup>	27,13 ± 3,38 <sup>A,a</sup>
7	22,93 ± 3,05 <sup>A,a</sup>	26,83 ± 3,70 <sup>A,ab</sup>	26,99 ± 3,63 <sup>A,a</sup>
8	23,56 ± 3,06 <sup>A,a</sup>	28,04 ± 2,58 <sup>A,a</sup>	28,21 ± 2,89 <sup>A,a</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 23 - Valores médios, desvio padrão e comparação de cor visual para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	G	FG	PG
0	2,60 ± 0,52 <sup>A,d</sup>	2,90 ± 0,32 <sup>A,d</sup>	2,60 ± 0,52 <sup>A,e</sup>
1	2,67 ± 0,48 <sup>A,d</sup>	2,90 ± 0,32 <sup>A,d</sup>	2,89 ± 0,32 <sup>A,e</sup>
2	2,70 ± 0,48 <sup>A,d</sup>	2,90 ± 0,32 <sup>A,d</sup>	3,00 ± 0,00 <sup>A,e</sup>
3	2,80 ± 0,42 <sup>A,cd</sup>	3,10 ± 0,32 <sup>A,d</sup>	3,30 ± 0,48 <sup>A,de</sup>
4	3,10 ± 0,32 <sup>A,bcd</sup>	3,50 ± 0,53 <sup>A,cd</sup>	3,90 ± 0,74 <sup>A,cd</sup>
5	3,60 ± 0,70 <sup>A,abc</sup>	3,90 ± 0,88 <sup>A,bc</sup>	4,00 ± 0,67 <sup>A,bcd</sup>
6	3,80 ± 0,79 <sup>A,ab</sup>	4,40 ± 0,52 <sup>A,ab</sup>	4,40 ± 0,70 <sup>A,abc</sup>
7	3,80 ± 0,79 <sup>A,ab</sup>	4,60 ± 0,52 <sup>A,ab</sup>	4,70 ± 0,48 <sup>A,ab</sup>
8	4,40 ± 0,70 <sup>A,a</sup>	4,70 ± 0,48 <sup>A,a</sup>	4,80 ± 0,42 <sup>A,a</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Tabela 24 - Valores médios, desvio padrão e comparação de médias da respiração (mg/kg.h) para o tratamento da manga sem acolchoamento (G), manga com fibra de coco (FG) e manga com palha de madeira (PG), durante os oito dias de estocagem.

Tempo de estocagem (dias)	Tratamento		
	G	FG	PG
0	122,99 ± 9,00 <sup>A,b</sup>	121,47 ± 11,06 <sup>A,b</sup>	125,74 ± 8,48 <sup>A,b</sup>
1	209,65 ± 62,77 <sup>A,a</sup>	149,30 ± 30,97 <sup>A,ab</sup>	201,81 ± 52,21 <sup>A,a</sup>
2	187,97 ± 55,43 <sup>A,ab</sup>	146,32 ± 33,18 <sup>A,ab</sup>	178,81 ± 43,78 <sup>A,ab</sup>
3	167,50 ± 39,54 <sup>A,ab</sup>	166,91 ± 34,80 <sup>A,a</sup>	172,04 ± 37,51 <sup>A,ab</sup>
4	167,89 ± 50,88 <sup>A,ab</sup>	171,41 ± 38,76 <sup>A,a</sup>	178,96 ± 35,19 <sup>A,ab</sup>
5	155,90 ± 48,81 <sup>A,ab</sup>	149,51 ± 34,44 <sup>A,ab</sup>	165,93 ± 39,19 <sup>A,ab</sup>
6	139,78 ± 32,40 <sup>A,b</sup>	156,74 ± 32,93 <sup>A,ab</sup>	164,55 ± 35,68 <sup>A,ab</sup>
7	123,87 ± 35,44 <sup>A,b</sup>	153,22 ± 35,34 <sup>A,ab</sup>	165,18 ± 38,11 <sup>A,ab</sup>
8	123,79 ± 33,12 <sup>A,b</sup>	141,02 ± 22,25 <sup>A,ab</sup>	163,56 ± 32,84 <sup>A,ab</sup>

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p \geq 0,05$ ).