

ADALVAN DANIEL MARTINS

**RADIAÇÃO GAMA E SECAGEM NA CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DO  
ÓLEO DE FRUTOS DE MACAÚBA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

M386r  
2013 Martins, Adalvan Daniel, 1988-  
Radiação gama e secagem na conservação da qualidade do  
óleo de frutos de macaúba / Adalvan Daniel Martins. – Viçosa,  
MG, 2013.  
xviii, 89f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: José Antonio Saraiva Grossi.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Macaúba. 2. Macaúba - Tecnologia pós-colheita.  
3. Macaúba - Armazenamento. 4. Biodiesel. 5. Óleos vegetais.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

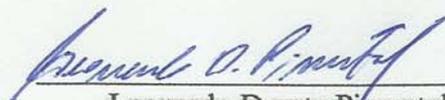
CDD22 ed. 633.85

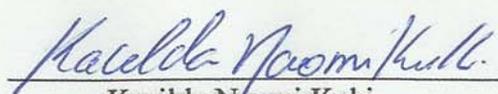
ADALVAN DANIEL MARTINS

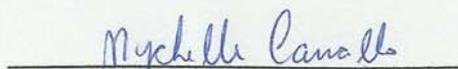
**RADIAÇÃO GAMA E SECAGEM NA CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DO  
ÓLEO DE FRUTOS DE MACAÚBA**

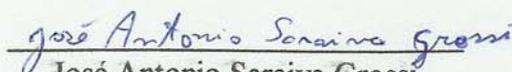
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 10 de abril de 2013.

  
Leonardo Duarte Pimentel  
(Coorientador)

  
Kacilda Naomi Kuki  
(Coorientadora)

  
Mychelle Carvalho

  
José Antonio Saraiva Grossi  
(Orientador)

“Pedi, e dar-se-vos-á; buscai, e encontrareis; batei, e abrir-se-vos-á.”

Mateus 7:7

Aos meus queridos pais Fátima e Adão.

Às minhas amadas irmãs Fabrícia e Patrícia.

Ao meu amado sobrinho Arthur.

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo fôlego de vida, por ter guiado os meus passos e pela Sua imensa bondade e amor a mim ofertado.

Aos meus pais Fátima e Adão pelo amor incondicional, amparo, compreensão e esforços dedicados a mim. Às minhas irmãs Fabrícia e Patrícia, ao meu cunhado Anderson e ao meu amado sobrinho Arthur pelo grande carinho, amor, incentivo e fraternidade. Essa conquista é para vocês.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Fitotecnia pela oportunidade de realização desse curso e sua contribuição para o meu crescimento profissional.

À Petrobrás e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – pelo financiamento desse projeto e pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. José Antonio Saraiva Grossi pela orientação, incentivo, paciência e suporte na realização desses trabalhos.

Aos coorientadores Dr. Kacilda Naomi Kuki, Prof. Sérgio Motoike e Prof. Sebastião Martins pelo apoio oferecido durante o desenvolvimento desse projeto. Agradeço especialmente ao coorientador e amigo Dr. Leonardo Pimentel pelo grande apoio na realização desse trabalho, pelos ensinamentos, conselhos e pelo profissionalismo.

Aos amigos e colegas de trabalho que participaram ativamente na realização desse projeto, Anderson, Samuel, Edmar e Elimárcio. Às estagiárias Karol, Thamyres e Larissa pelo apoio nas análises laboratoriais e amizade. Aos servidores Francisco, Telma e Claudinha pelo suporte oferecido.

A todos os colegas e amigos da REMAPE – Rede Macaúba de Pesquisa – e agregados (Isabela) pelo companheirismo, diversão e apoio. Em especial aos colegas e grandes amigos Néia, Sebastián e Patrícia pela amizade, risadas, solidariedade, irmandade e pelo apoio em todos os momentos em que necessitei, obrigado a vocês!

Ao Washington e Meiriane pela sincera amizade, pelo suporte, apoio e presteza em todos os momentos, minha sincera gratidão.

À tia Luiza, seu Ricardo, Ricardinho, Nicole e Paola pelo grande carinho, amor, amizade e pelo suporte a mim oferecido ao longo desses anos, obrigado por tudo, sem vocês tudo teria sido mais difícil.

Ao Alexandre e Ritinha pela grande amizade e apoio durante todos esses anos.

Aos meus grandes amigos Maristela, Thiago (Guanam), Thiago (Paulista), Vanessa, Raquel e Vilma por todo o bem que me proporcionam e pela verdadeira amizade. E a todos os amigos da CCB pelo companheirismo e momentos de alegria que passamos juntos.

À Marina e à sua família pelo apoio, acolhimento, compreensão e carinho.

À minha avó, tios, tias, primos e primas pela unidade familiar e por todo o apoio.

A todos os amigos que de alguma forma contribuíram, acreditaram e torceram para que eu alcançasse essa vitória.

Muito obrigado a todos vocês!

## **BIOGRAFIA**

ADALVAN DANIEL MARTINS, filho de Adão Ribeiro Martins e Maria de Fátima Machado Martins, nasceu em 01 de maio de 1988, na cidade de Montes Claros, MG. Ingressou no curso de Agronomia em 2006 pela Universidade Federal de Viçosa, onde colou grau aos 28 dias do mês de janeiro de 2011. Em fevereiro do mesmo ano iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia pela mesma instituição, atuando na linha de pesquisa de Fisiologia e Manejo Pós-Colheita de Produtos Agrícolas.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	xiii
RESUMO .....	xv
ABSTRACT .....	xvii
1 - INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 - OBJETIVOS .....	4
2.1 - Objetivos gerais .....	4
2.2 - Objetivos específicos .....	5
3 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	5
CAPÍTULO 1 .....	8
EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA NA CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DO ÓLEO EM FRUTOS DE MACAÚBA ARMAZENADOS À TEMPERATURA AMBIENTE. ....	8
RESUMO .....	8
1 - INTRODUÇÃO .....	9
2 - MATERIAL E MÉTODOS .....	11
2.1 - Extração do óleo .....	13
2.2 - Características avaliadas .....	13
2.2.1 - Teor de óleo .....	13
2.2.2 - Índice de acidez .....	14
2.2.3 - Estabilidade oxidativa .....	15
2.2.4 - Teor de água no óleo .....	16
2.2.5 - Perfil de ácidos graxos .....	16
2.3 - Análise estatística .....	17
3 - RESULTADOS .....	18
3.1 - Características visuais .....	18
3.2 - Teor de óleo no mesocarpo .....	19
3.3 - Teor de óleo na amêndoa .....	20
3.4 - Índice de acidez no óleo do mesocarpo .....	22
3.5 - Índice de acidez no óleo da amêndoa .....	24
3.6 - Estabilidade oxidativa no óleo do mesocarpo .....	25
3.7 - Estabilidade oxidativa no óleo da amêndoa .....	27

3.8 - Teor de água no óleo do mesocarpo .....	28
3.9 - Teor de água no óleo da amêndoa .....	30
3.10 - Perfil de ácidos graxos do óleo do mesocarpo .....	30
3.11 - Perfil de ácidos graxos do óleo da amêndoa .....	31
4 - DISCUSSÃO.....	33
5 - CONCLUSÕES.....	39
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	40
CAPÍTULO 2 .....	45
INFLUÊNCIA DA SECAGEM NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO ÓLEO EM FRUTOS DE MACAÚBA ARMAZENADOS À TEMPERATURA AMBIENTE. .....	45
RESUMO .....	45
1 - INTRODUÇÃO .....	46
2 - MATERIAL E MÉTODOS .....	47
2.1 - Extração do óleo .....	49
2.2 - Características avaliadas.....	50
2.2.1 – Teor de umidade do fruto .....	50
2.2.2 - Teor de óleo.....	51
2.2.3 - Índice de acidez.....	51
2.2.4 - Estabilidade oxidativa .....	52
2.2.5 - Teor de água no óleo .....	53
2.2.6 - Perfil de ácidos graxos.....	54
2.3 - Análise estatística .....	54
3 - RESULTADOS .....	55
3.1 - Umidade .....	55
3.2 - Características visuais .....	55
3.3 - Teor de óleo no mesocarpo.....	56
3.3 - Teor de óleo na amêndoa.....	58
3.4 - Índice de acidez no óleo do mesocarpo .....	59
3.5 - Índice de acidez no óleo da amêndoa .....	61
3.6 - Estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo .....	63
3.7 - Estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa .....	65
3.8 - Teor de água no óleo do mesocarpo .....	67
3.9 - Teor de água no óleo da amêndoa .....	69

3.10 - Perfil de ácidos graxos do óleo do mesocarpo .....	71
3.11 - Perfil de ácidos graxos do óleo da amêndoa .....	72
4 - DISCUSSÃO.....	74
5 - CONCLUSÕES.....	79
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
CONCLUSÕES GERAIS .....	85
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	85
ANEXO A - Resumo da análise de variância do experimento de radiação gama (Capítulo 1).....	87
ANEXO B - Valores médios observados no experimento com radiação gama (Capítulo 1).....	88
ANEXO C - Resumo da análise de variância do experimento de secagem (Capítulo 2). .....	89

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

#### EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA NA CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DO ÓLEO EM FRUTOS DE MACAÚBA ARMAZENADOS À TEMPERATURA AMBIENTE

- Figura 1:** Processo de colheita, seleção e composição das amostras: a) Plantas de macaúba; b) Colheita dos cachos; c) Debulha e seleção dos frutos; d) Composição das amostras. .... 12
- Figura 2:** Tratamento dos frutos com radiação gama: a) Unidades experimentais nas caixas de papelão, prontas para serem irradiadas; b) Caixas de papelão acondicionando os frutos e identificadas de acordo com a respectiva dose de radiação. .... 12
- Figura 3:** a) Despulpamento dos frutos; b) Organização das amostras para prensagem; c) Prensagem do mesocarpo e acondicionamento do óleo em frascos âmbar, envoltos por papel alumínio. .... 13
- Figura 4:** Qualidade visual dos frutos de macaúba submetidos às doses de 0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10,0 kGy de radiação gama, ao longo do armazenamento. a) 15 dias de armazenamento; b) 30 dias de armazenamento; c) 45 dias de armazenamento; d) 60 dias de armazenamento. .... 18
- Figura 5:** Teor de óleo no mesocarpo de frutos de macaúba: a) Teor de óleo (% em base seca) no mesocarpo em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta. .... 20
- Figura 6:** Teor de óleo na amêndoa de frutos de macaúba: a) Teor de óleo (% em base seca) da amêndoa em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta. .... 21
- Figura 7:** Índice de acidez do óleo do mesocarpo de frutos de macaúba: a) Índice de acidez (% de ácido oleico) do óleo do mesocarpo em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado

pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta..... 23

**Figura 8:** Índice de acidez do óleo da amêndoa de frutos de macaúba: a) Índice de acidez (% de ácido oleico) do óleo da amêndoa em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta..... 25

**Figura 9:** Estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo de frutos de macaúba: a) Estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo do mesocarpo em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta..... 26

**Figura 10:** Estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa de frutos de macaúba: a) Estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo da amêndoa em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta..... 27

**Figura 11:** Teor de água do óleo do mesocarpo de frutos de macaúba: a) Teor de água (%) do óleo do mesocarpo em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta..... 29

**Figura 12:** Perfil de ácidos graxos (%) do óleo do mesocarpo aos 0 (A1) e 60 (A5) dias de armazenamento. Doses de 0,0 (D1); 0,5 (D2); 1,0 (D3); 3,0 (D4); 5,0 (D5) e 10 (D6) kGy. .... 31

**Figura 13:** Perfil de ácidos graxos (%) do óleo da amêndoa aos 0 (A1) e 60 (A5) dias de armazenamento. Doses de 0,0 (D1); 0,5 (D2); 1,0 (D3); 3,0 (D4); 5,0 (D5) e 10 (D6) kGy. .... 32

## CAPÍTULO 2

### INFLUÊNCIA DA SECAGEM NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO ÓLEO EM FRUTOS DE MACAÚBA ARMAZENADOS À TEMPERATURA AMBIENTE

- Figura 1:** Processo de colheita, debulha e seleção dos frutos para a composição das amostras: a) Corte dos cachos; b) Colchão utilizado para amortecer a queda dos frutos na colheita; c) Ensacamento dos cachos; d) Debulha e seleção dos frutos para composição das amostras..... 48
- Figura 2:** Armazenamento dos frutos: a) Unidades experimentais; b) Caixas de armazenamento..... 49
- Figura 3:** a) Rompimento do epicarpo (casca) dos frutos; b) Frutos descascados; c) Despolpamento; d) Extração do óleo e acondicionamento em frascos âmbar, envoltos por papel alumínio..... 50
- Figura 4:** Características visuais dos frutos de macaúba aos 30 dias de armazenamento: a) sem secagem dos frutos (SS); b) secagem a 45°C por 8 dias; c) secagem a 65°C por 8 dias..... 56
- Figura 5:** Efeito do tempo de armazenamento no teor de óleo (%) do mesocarpo para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d)..... 57
- Figura 6:** Efeito do tempo de armazenamento no teor de óleo (%) da amêndoa para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d)..... 58
- Figura 7:** Efeito do tempo de armazenamento no índice de acidez (% de ácido oléico) do óleo do mesocarpo para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d)..... 60
- Figura 8:** Efeito do tempo de armazenamento no índice de acidez (% de ácido oléico) do óleo da amêndoa para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4

dias (65°C/4); 4d) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d)..... 62

**Figura 9:** Efeito do tempo de armazenamento na estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d)..... 64

**Figura 10:** Efeito do tempo de armazenamento na estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d)..... 66

**Figura 11:** Efeito do tempo de armazenamento no teor de água (%) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d)..... 68

**Figura 12:** Efeito do tempo de armazenamento no teor de água (%) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d)..... 70

**Figura 13:** Perfil de ácidos graxos (%) do óleo do mesocarpo aos 0 (A1) e 60 (A5) dias de armazenamento, nos tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 72

**Figura 14:** Perfil de ácidos graxos (%) do óleo da amêndoa aos 0 (A1) e 60 (A5) dias de armazenamento, nos tratamentos sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 73

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

#### INFLUÊNCIA DA SECAGEM NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO ÓLEO EM FRUTOS DE MACAÚBA ARMAZENADOS À TEMPERATURA AMBIENTE

**Tabela 1:** Umidade dos frutos ao serem submetidos ao armazenamento. Sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 55

**Tabela 2:** Valores médios observados no teor de óleo (%) do mesocarpo para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 57

**Tabela 3:** Valores médios observados no teor de óleo (%) da amêndoa, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 59

**Tabela 4:** Valores médios observados no índice de acidez (% de ácido oleico) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 61

**Tabela 5:** Valores médios observados no índice de acidez (% de ácido oleico) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 63

**Tabela 6:** Valores médios observados na estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias

(45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 65

**Tabela 7:** Valores médios observados na estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 67

**Tabela 8:** Valores médios observados no teor de água (%) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). ..... 69

**Tabela 9:** Valores médios observados no teor de água (%) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8). ..... 71

## RESUMO

MARTINS, Adalvan Daniel, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2013. **Radiação gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba.** Orientador: José Antonio Saraiva Grossi. Coorientadores: Kacilda Naomi Kuki, Leonardo Duarte Pimentel, Sebastião Martins Filho e Sérgio Yoshimitsu Motoike.

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius] apresenta-se como fonte promissora de óleos vegetais, especialmente como matéria-prima para produção de biodiesel. Isso se deve ao elevado teor de óleo no mesocarpo e na amêndoa dos frutos, à possibilidade de completo aproveitamento desses frutos, além da grande adaptabilidade dessa espécie às condições climáticas brasileiras. Entretanto, faltam informações para conservação da qualidade do óleo após a colheita e armazenamento dos frutos, gerando a necessidade de desenvolver estudos que prolonguem a vida pós-colheita, mantendo a qualidade do óleo extraído. Os objetivos desse trabalho foram avaliar a qualidade e teor de óleo do mesocarpo e da amêndoa de frutos de macaúba submetidos a tratamentos físicos de radiação gama e secagem, ao longo do armazenamento, à temperatura ambiente. Realizou-se dois experimentos: no primeiro experimento, 120 unidades experimentais, compostas por 24 frutos de macaúba, foram tratadas com as doses de 0; 0,5; 1,0; 3,0 5,0 e 10,0 kGy de radiação gama e armazenadas por 0, 15, 30, 45 e 60 dias à temperatura ambiente. A interação entre doses e tempo de armazenamento foi significativa. Melhor qualidade visual foi observada em frutos irradiados com as doses mais elevadas, nos primeiros dias de armazenamento. O índice de acidez do óleo de frutos irradiados foram menores que o tratamento controle, sendo a dose de 10,0 kGy a que propiciou maior redução desse índice. A radiação gama reduziu o acúmulo de óleo e a estabilidade oxidativa no mesocarpo. O teor de água no óleo do mesocarpo aumentou com o incremento das doses e do tempo de armazenamento. O ácido oleico e o ácido láurico estão presentes em maiores quantidades nos óleos do mesocarpo e da amêndoa, respectivamente. Dentre os principais ácidos graxos presentes no óleo do mesocarpo e da amêndoa, o ácido oleico é o ácido graxo que apresenta maiores variações no decorrer do armazenamento. No segundo experimento, 100 unidades experimentais, compostas por 24 frutos de macaúba cada, foram submetidas a diferentes combinações de temperatura e tempo de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias

(65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). Após esse tratamento as amostras foram conduzidas ao armazenamento, à temperatura ambiente, por 0, 15, 30, 60 e 120 dias. Houve influência do processo de secagem e do tempo de armazenamento nas características avaliadas. A secagem a 65°C por 8 dias foi eficiente para manter o índice de acidez do óleo do mesocarpo estável durante o armazenamento. A secagem restringiu o acúmulo de óleo no mesocarpo e na amêndoa dos frutos. A estabilidade oxidativa foi reduzida pelo tratamento de secagem. Maiores concentrações de ácidos graxos oleico e láurico foram encontrados nos óleos do mesocarpo e da amêndoa, respectivamente. As variações observadas no óleo da amêndoa foram de menor intensidade que as obtidas no óleo do mesocarpo, sendo que o ácido oleico é o ácido graxo mais susceptível à variação ao longo do armazenamento. Nos dois experimentos conduzidos, os tratamentos físicos de radiação gama e secagem ajudaram na conservação do fruto em pós-colheita. Ambos apresentaram menores progressões do índice de acidez em relação ao tratamento controle, durante o armazenamento, porém o tratamento com secagem foi mais eficiente no controle da acidez do óleo dos frutos. O acúmulo de óleo e a estabilidade oxidativa foram reduzidos em ambos os tratamentos. O tratamento de secagem proporciona menores variações no perfil de ácidos graxos, tanto para o óleo do mesocarpo, quanto para o óleo da amêndoa.

## ABSTRACT

MARTINS, Adalvan Daniel, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April 2013. **Gamma radiation and drying in preserving the oil quality of the macaw palm fruits.** Adviser: José Antonio Saraiva Grossi. Co-Advisers: Kacilda Naomi Kuki, Leonardo Duarte Pimentel, Sebastião Martins Filho and Sérgio Yoshimitsu Motoike.

The macaw palm [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Martius ex] presents itself as a promising source of vegetable oils, especially as feedstock for biodiesel production. This is due to the high oil content in the mesocarp and almond fruit, the ability to take full utilization of these fruits, besides the great adaptability of this species to climatic conditions. However, missing information for conservation of oil quality after harvesting and storage of fruits, generating the need to develop studies that extend the shelf-life while maintaining the quality of the extracted oil. The objectives of this study were to evaluate the quality and content of mesocarp and almond oil in macaw palm fruits undergoing physical treatments of gamma radiation and drying during storage at room temperature. We carried two experiments: the first one, 120 experimental units were treated with doses of 0, 0.5, 1.0, 3.0 5.0 and 10.0 kGy of gamma radiation and stored for 0, 15, 30 , 45 and 60 days at room temperature. The interaction between dose and storage time was significant. Best visual quality was observed in fruits irradiated with higher doses, in the first days of storage. The free fatty acid from irradiated fruits were lower than the control treatment and doses of 10.0 kGy showed the highest reduction of this index. Gamma radiation reduced the oil accumulation and oxidative stability in the mesocarp. The water content in the mesocarp oil increased with increasing dose and time of storage. The oleic acid and lauric acid are present in higher quantities in the mesocarp and almond oil, respectively. Among the major fatty acids present in the mesocarp and almond oil, oleic acid is the fatty acid that presents major changes during storage. In the second experiment, 100 units experimental of macaw palm fruits were submitted to different combinations of temperature and drying time: 1) without drying the fruits (SS) 2) dried in a oven at 45°C for 4 days (45°C / 4d), 3) drying in an oven at 65°C for 4 days (65°C/4d), 4) drying in an oven at 45°C for 8 days (45°C/8d); 5) dried at 65°C for 8 days (65°C/8d). After this treatment the fruits were conducted to storage at room temperature for 0, 15, 30, 60 and 120 days. There are influence of the drying process and storage time in the evaluated characteristics. Drying

at 65°C for 8 days was effective for maintaining stable the free fatty acid index of the mesocarp oil during storage. Drying restricted the accumulation of oil in the mesocarp and almond fruit. The oxidative stability was reduced by drying treatment. Higher concentrations of oleic and lauric fatty acids were found in mesocarp and kernel oils, respectively. The variations observed in the almond oil were with lower intensity than those obtained in the mesocarp oil, and oleic fatty acid is more susceptible to variation during storage. Physical treatments of gamma radiation and drying helped in preserving the fruit. Both had minor progressions in the free fatty index compared to the control treatment during storage, but the drying treatment was more effective in controlling the free fatty acid in the oil of the fruit. The oil accumulation and oxidative stability were reduced in both treatments. The drying treatment provides smaller variations in fatty acid profile for the mesocarp and almond oil.

## 1 - INTRODUÇÃO GERAL

O aumento dos preços do petróleo e a incerteza quanto à sua oferta futura, tem levado os países a buscarem reduzir a dependência desse recurso fóssil, assunto este já tratado como segurança nacional (TYNER & TAHERIPOUR, 2007). Ademais, a crescente preocupação mundial com a degradação do meio ambiente, em particular com o grande impacto ambiental decorrente do consumo deste combustível, tem motivado a procura por fontes energéticas alternativas, renováveis e com menor potencial de poluição. Neste contexto, a utilização da biomassa como fonte energética, associada ao desenvolvimento social e econômico de regiões carentes tem levado à criação de programas de incentivo a exploração dessas fontes renováveis, a exemplo do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB).

Além dos benefícios sociais, o uso da biomassa tem sido estimulado pela possibilidade de contribuir para os rendimentos agrícolas (GORTER & JUST, 2010), promovendo o desenvolvimento econômico de áreas rurais mais carentes (ROSEGRANT et al., 2008). Neste panorama o biodiesel surge como uma alternativa de fonte energética. Dentre as fontes de biomassa prontamente disponíveis para a produção de biodiesel, os óleos vegetais têm sido largamente utilizados nos programas de energia renovável (RAMOS et al., 2003).

O Art. 6º, inciso XXV da Lei nº 11.097/2005 define biodiesel como “biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.” Quimicamente é definido como éster monoalquílico de ácidos graxos derivados de lipídeos de ocorrência natural e pode ser produzido, juntamente com a glicerina, através da reação de triacilgliceróis com etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido ou básico (SCHUCHARDT et al., 1998; ZAGONEL & RAMOS, 2001; RAMOS, 1999).

A escolha da matéria prima vegetal é um dos principais pontos para a produção de biodiesel. O sucesso dessa atividade é dependente de diversos fatores, como: o percentual de óleo e a produtividade por área; a maximização do balanço energético entre a energia consumida no processo de produção e a energia disponibilizada pelo

combustível produzido; o valor comercial relativo ao alto valor agregado de alguns tipos de óleo, podendo impactar nos preços finais do biodiesel; a vocação agrícola de cada região, identificando a maior disponibilidade e menor custo de matéria prima dentro da ampla diversidade de oleaginosas, que permita flexibilidade de produção; baixo custo de produção e alta escala que pode levar a priorizar óleos ou gorduras residuais em relação a óleos refinados ou reciclados; a manutenção da produção de alimentos, priorizando a produção do biodiesel a partir de matérias-primas não alimentares (QUINTELLA et al., 2009).

Apesar da grande diversidade de espécies vegetais oleaginosas presentes no Brasil, a soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é a principal fonte de óleo vegetal utilizada para a produção de biodiesel, cobrindo 87% da necessidade de matéria prima para esse fim (AGRIANUAL, 2012). O maior uso da soja deve-se ao avançado estado de desenvolvimento tecnológico da cultura, à logística de produção e à forte estruturação desta cadeia produtiva. Entretanto, o óleo vegetal não é o produto principal dessa cadeia, o que limita sua exploração para produção de biodiesel. Todavia, a soja apresenta uma baixa produtividade de óleo, na ordem dos 0,2 a 0,4 toneladas de óleo/ha (LOPES et al., 2007), insuficiente para sustentar as projeções da demanda para a produção do biodiesel para os próximos anos. O rendimento das palmeiras é indiscutivelmente superior, tendo como principais representantes a macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart.], objeto de estudo nesse trabalho, e o dendê (*Elaeis guinensis* Jacq.), ambas com produtividade de 4,0 toneladas de óleo/ha (AGRIANUAL, 2012), inserindo-as num cenário de fontes promissoras para incrementar a sustentabilidade da produção de biodiesel.

A macaúba apresenta ampla distribuição geográfica no Continente Americano, que se estende do México à Argentina; porém, maiores concentrações dessa espécie são encontradas nas Antilhas, Costa Rica, Paraguai e Brasil (CETEC, 1983). Considerada como a palmeira de maior dispersão no território brasileiro, a macaúba tem suas maiores concentrações de populações nativas nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Tocantins e São Paulo, sendo amplamente disseminada pelas áreas do Cerrado e Pantanal (RATTER, BRIDGEWATER & RIBEIRO, 2003).

O fruto da macaúba é uma drupa comestível globosa de formato esférico, ligeiramente achatado, constituído por epicarpo tenaz e fibroso (casca), que pode ser

utilizado como fonte de energia através da queima; mesocarpo (polpa) com coloração amarelada, polpa fibrosa e alto teor de óleo, a torta resultante da extração do óleo apresenta alto valor nutritivo podendo ser utilizada na nutrição animal e humana; endocarpo duro e denso (tegumento) com alto poder calorífico, podendo ser aproveitado com ótimos rendimentos em gasogênios, operações metalúrgicas e siderúrgicas; internamente ao endocarpo encontra-se a semente (amêndoa), com alto teor lipídico e presença de ácidos graxos de grande importância para a indústria farmacêutica e cosmética, a exemplo do ácido láurico, além disso, a amêndoa apresenta alta concentração de proteínas e aminoácidos essenciais, tais características permitem que a amêndoa e a torta gerada pelo processamento possam ser utilizadas como suplemento na nutrição humana e animal (ALMEIDA et al., 1998, HENDERSON et al., 1995, MATSIMBE, 2012).

A escolha da macaúba como fonte de matéria-prima para a indústria de óleo vegetal é justificada por um conjunto de fatores, como: alta produtividade de óleo por hectare; adaptabilidade a regiões com restrições hídricas em certa época do ano; é uma cultura perene e nativa; seu cultivo pode ser considerado para reflorestamento e recuperação de áreas degradadas; há possibilidade de consórcio com pecuária, gramíneas e leguminosas e seus frutos podem ser completamente aproveitados. Apesar do grande potencial desta planta, há poucas pesquisas sobre o armazenamento dos frutos, o que pode tornar-se um gargalo para o cultivo racional e em grande escala (CAMPOS et al., 2008).

Atualmente, pouco se sabe sobre a conservação pós-colheita do fruto e a extração do óleo é realizada aplicando-se tecnologias adaptadas de outras oleaginosas. Para superar as principais dificuldades no processamento desta matéria prima, é preciso realizar estudos específicos para esta oleaginosa, visando desenvolver e implementar novas estratégias para a conservação pós-colheita e obtenção do óleo com qualidade após o processamento do fruto.

Diferentes métodos químicos e físicos podem ser empregados com a finalidade de diminuir a atividade metabólica e minimizar o processo de deterioração dos frutos, aumentando a vida pós-colheita do produto. Os métodos químicos atuam na fisiologia e controle de microrganismos deteriorantes através da utilização de compostos químicos específicos. Os métodos físicos podem agir diretamente sobre os patógenos, além de

atuar sobre a fisiologia do fruto retardando o amadurecimento e, conseqüentemente, mantendo a resistência do fruto (BENATO, 1999). A radiação, temperatura, ventilação e a luz são as principais ferramentas utilizadas no controle físico da deterioração dos produtos agrícolas (GHINI & BETTIOL, 1995).

O tratamento físico de produtos alimentícios com radiação consiste na exposição desse material à radiação ionizante, proveniente de feixes de elétrons como fontes radioativas (EHLERMANN, 1990). O uso da radiação gama tem efeito no controle da deterioração causada por microrganismos, no atraso do amadurecimento e da senescência, o que permite a extensão da vida de prateleira de muitos frutos perecíveis (URBAIN, 1986).

A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas presentes no produto, e todo o mecanismo metabólico, necessitam de água para suas atividades. A redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem leva à diminuição da atividade de água, do desenvolvimento de microrganismos e, conseqüentemente, da velocidade de ocorrência de reações químicas de degradação natural do produto (GONELI, et al., 2007; CHRISTENSEN & KAUFMANN, 1974).

O conhecimento do efeito da radiação gama, da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento na qualidade do óleo extraído de frutos de macaúba é de suma importância no desenvolvimento da cadeia produtiva da macaúba ligando á produção de óleo vegetal, o que permitirá a definição de melhores condições para se manter a qualidade dos frutos e do óleo por maior tempo durante o armazenamento.

## **2 - OBJETIVOS**

### **2.1 - Objetivos gerais**

Avaliar a qualidade e teor de óleo do mesocarpo e da amêndoa de frutos de macaúba submetidos a tratamentos físicos de radiação gama e secagem ao longo do armazenamento à temperatura ambiente.

## 2.2 - Objetivos específicos

Avaliar o efeito de diferentes doses de radiação gama na manutenção da qualidade e no teor de óleo dos frutos de macaúba durante o período de armazenamento dos frutos à temperatura ambiente.

Avaliar o efeito de diferentes combinações entre tempo e temperatura de secagem, na qualidade e quantidade de óleo de frutos de macaúba ao longo do armazenamento à temperatura ambiente.

## 3 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Biocombustível**. p. 25 – 29, 2012.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: Embrapa-CPAC, p. 14-19, 1998.

BENATO, E. A. Controle de doenças pós-colheita em frutos tropicais. **Summa phytopathologica**, v. 25, n1, p. 90-93, 1999.

CAMPOS, M. B. N.; JUNIOR, A. G. S.; PEREZ, R.; SIQUEIRA, J. Análise de Viabilidade Econômico-Financeira de uma Unidade de Extração de Óleo de Macaúba. In: **V Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Oleos, Gorduras e Biodiesel**, CD ROOM, Lavras, 2008.

CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. **Relatório Final do Convênio STI– MIC/CETEC**, v. 1, 152 p., 1983.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. Storage of cereal grain and their products. St. Paul: **American Association of Cereal Chemists**, p. 158-192, 1974.

EHLERMANN, D. A. E. Current situation of food irradiation in the European Union and forthcoming harmonization. **Radiation Physics Chemistry**, v. 63, p. 277–279, 2002.

GHINI, R.; BETTIOL, W. Diagnose. In: KIMATI, H. (Ed.). Manual de fitopatologia. Controle cultural. 3 ed. São Paulo: **Agronômica Ceres**, v. 1, 39, p. 786-803, 1995.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27(1), p. 135-140, jan.-mar, 2007.

GORTER, H.; JUST, D. R. The social costs and benefits of biofuel: the intersection of environmental, energy and agricultural policy. **Applied Economic Perspective and Policy**, v. 32, n. 1, p. 4-32, 2010.

HENDERSON, A.; GALEANO, G; BERNAL, R. Field guide to the palms of the Americas. **Princeton University Press**, 352 p., 1995.

KIMATI, H.; BERGAMIN FILHO A. Diagnose. In: KIMATI, H. (Ed.). Manual de fitopatologia. Princípios gerais de controle. 3 ed. São Paulo: **Agronômica Ceres**, v. 1, 34, p. 692-709, 1995.

Lei nº 11.097/2005. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm). Acessado em 10/03/2013.

LOPES, J. da S.; ANDRADE, T. C. Q. de; SANTANA, G. C. Biodiesel: oportunidades e desafios. **Comunicação. Bahia Agrícola**, v. 8, n. 1, p. 24 – 27, 2007.

MATSIMBE, S. F. S. Utilização de características ópticas para estimar o teor de óleo e volume do mesocarpo nos frutos de macaúba. **Dissertação (mestrado)**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 72 p., 2012.

QUINTELA, C. M.; TEIXEIRA, L. S. G.; KORN, M. G. A.; NETO, P. R. C.; TORRES, E. A.; CASTRO, M.; JESUS, C. A. C. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 793-808, 2009.

RAMOS, L. P. Conversão de óleos vegetais em biocombustível alternativo ao diesel convencional. In: Congresso Brasileiro de Soja. **Anais**. Londrina: Embrapa-Soja, p. 233-236, 1999.

RAMOS, L. P.; KUCEK, K. T.; DOMINGOS, A. K. Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Brasileira de Ciência & Desenvolvimento**. Edição nº31 – julho/dezembro, 2003.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation. III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 60, p. 57-109, 2003.

ROSEGRANT, M. W; ZHU, T.; MSANGI, S. e SULSER, T. Global scenarios for biofuels: impacts and implications. **Review of Agricultural Economics**, v. 30, n. 3, p. 495–505, 2008.

SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, R. M. Transesterification of vegetable oils: a review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.9, p. 199-210, 1998.

TYNER, W. E.; TAHERIPOUR, F. Renewable energy policy alternatives for the future. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 89, n. 5, p. 1303-1310, 2007.

URBAIN, W. M. **Food irradiation**. London: Academic. p. 170-215, 1986.

ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleos vegetais. **Revista de Química Industrial**, v.717, p.17-26, 2001.

## CAPÍTULO 1

### EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA NA CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DO ÓLEO EM FRUTOS DE MACAÚBA ARMAZENADOS À TEMPERATURA AMBIENTE.

#### RESUMO

O aumento da demanda por biodiesel criou a necessidade de se buscar novas fontes de óleos vegetais. Nesse contexto, a macaúba se apresenta como alternativa promissora. No entanto, existe carência de tecnologias que permitam o armazenamento dos frutos e que mantenha a qualidade por um tempo maior. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de radiação gama na manutenção da qualidade e no teor de óleo do mesocarpo e amêndoa de frutos de macaúba durante o período de armazenamento. Os frutos foram tratados com as doses de 0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy de radiação gama e armazenados por 0, 15, 30, 45 e 60 dias. Houve efeito de doses e tempo de armazenamento para todas as características avaliadas, exceto para o teor de água no óleo da amêndoa. A radiação gama proporcionou maior qualidade visual dos frutos nos primeiros dias de armazenamento, permitiu maior controle do índice de acidez dos óleos; em contrapartida, reduziu o acúmulo de óleo e a estabilidade oxidativa e aumentou o teor de água no óleo do mesocarpo durante o armazenamento. O ácido oleico e o ácido láurico são os mais abundantes nos óleos do mesocarpo e da amêndoa, respectivamente, sendo o ácido oleico o mais propenso a variações em sua porcentagem durante o armazenamento.

**Palavras chave:** *Acrocomia aculeata*, teor de óleo, pós-colheita, biodiesel, armazenamento.

## 1 - INTRODUÇÃO

A produção e uso do biodiesel vêm crescendo significativamente nos últimos anos. Entretanto, a oferta de matérias-primas não tem acompanhado este crescimento e a comercialização de óleos vegetais para esse fim tem ficado sob dependência da cultura da soja (NAE, 2005). A palmeira macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius] tem sido intensamente estudada como cultura oleaginosa para atender a parte desta demanda. Porém, sua exploração comercial em grande escala depende de conhecimentos a cerca das características do fruto e de métodos de conservação em pós-colheita que permitam manter a qualidade do óleo durante o armazenamento dos frutos.

A macaúba é uma palmeira com ampla distribuição geográfica no Continente americano, de ocorrência natural em quase toda a América Tropical e Subtropical, principalmente da região sul do México ao Paraguai (HENDERSON et al., 1995). Apesar de ser encontrada em quase todos os estados brasileiros, maiores concentrações são encontradas em Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. Entretanto, macaúba com alto teor de óleo predominam no estado de Minas Gerais em comparação com as outras regiões do país (PIMENTEL et al., 2011).

Os frutos da macaúba são compostos por: epicarpo (casca); mesocarpo (polpa carnosa); endocarpo e amêndoa ou semente. O epicarpo apresenta casca lenhosa e cerosidade externa. O mesocarpo é carnoso, fibroso, de coloração amarelada e com alto teor de óleo. O endocarpo é escuro, rígido e possui elevado poder calorífico. A amêndoa, contida pelo endocarpo, apresenta alto teor proteico e lipídico e o óleo é rico em ácido láurico. Esses frutos são esféricos, do tipo drupa globosa e de coloração marrom-amarelada (HENDERSON et al., 1995).

A cadeia produtiva do óleo da macaúba compreende diversas fases que vão desde a produção e colheita do fruto até o beneficiamento final dos produtos derivados. A etapa de pós-colheita do fruto é ainda pouco estudada e a extração do óleo é feita aplicando-se tecnologias adaptadas de outras oleaginosas. Estes fatores contribuem para a baixa qualidade do óleo comercializado pelas indústrias extrativistas no cerrado brasileiro (SILVA, 2009). Após a colheita o óleo da macaúba pode atingir elevados valores de ácidos graxos livres em poucos dias. Esta rápida degradação do óleo é um dos fatores mais limitantes na exploração econômica da cultura, pois reflete em produtos (óleo) de baixa qualidade e conseqüentemente de baixo valor agregado. Para

superar este problema é preciso desenvolver sistemas de armazenamento e/ou tratamentos dos frutos que mantenham a qualidade do óleo no fruto e permitam ampliar o período de processamento industrial.

Métodos químicos e físicos podem ser empregados com a finalidade de prolongar a vida útil dos produtos agrícolas. O primeiro constitui-se na utilização de compostos químicos que interfiram na fisiologia e/ou controle de microrganismos deteriorantes. Os métodos físicos podem atuar diretamente sobre os patógenos, bem como, de modo indireto, sobre a fisiologia do fruto, retardando o amadurecimento, a senescência dos frutos e prolongando a manutenção de sua qualidade (BENATO, 1999). Vários agentes físicos podem ser utilizados; os principais são a temperatura, a radiação, a ventilação e a luz (GHINI & BETTIOL, 1995).

O tratamento com radiação gama é uma tecnologia já estabelecida e recomendada pela Organização Mundial de Saúde como um método eficaz para a redução da contaminação por microrganismos e para melhorar a estabilidade dos produtos alimentares (EHLERMANN, 2002). Sua aplicação garante a interrupção dos processos orgânicos que levam o alimento ao apodrecimento. Raios gama, raios x ou feixe de elétrons são absorvidos pela água ou outras moléculas constituintes dos alimentos, com as quais entram em contato. Neste processo são rompidas células microbianas, tais como bactérias, leveduras e fungos, promovendo a sanitização do material. Além disso, parasitas, insetos e seus ovos e larvas são mortos ou se tornam estéreis (CDTN, 2002).

Outro ponto positivo do processo de irradiação é o benefício econômico para a agricultura, através da redução de perdas pós-colheita. Estudos conduzidos por Marin et al. (1981) revelaram redução de perdas pós-colheita de 30-45% em cebolas e 12-22% em leguminosas, durante 6 a 8 meses sob condições ambientais, quando as mesmas foram submetidas à irradiação.

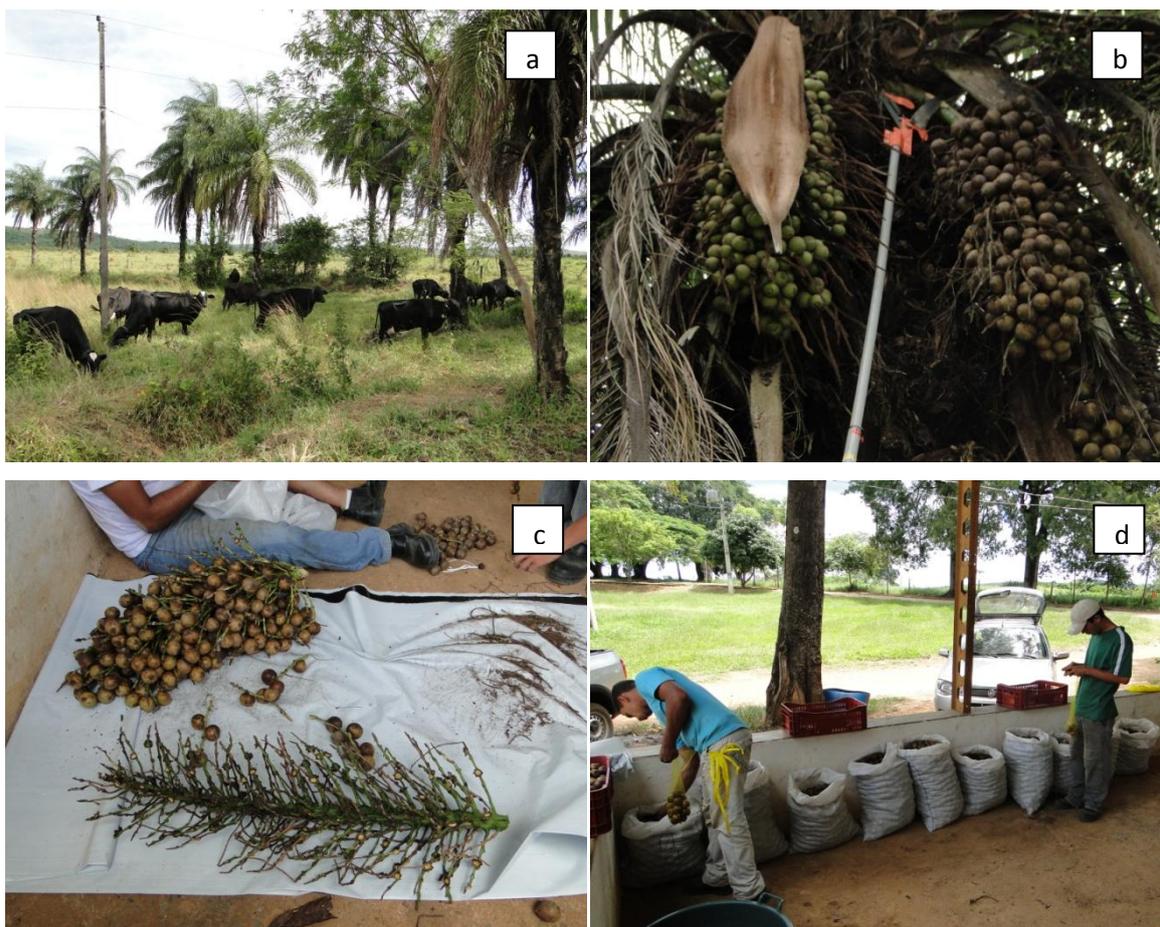
Neste contexto, é possível que o tratamento de frutos de macaúba com radiação gama possa aumentar a vida pós-colheita, mantendo a qualidade do óleo extraído por maior período de tempo. Com base nessa hipótese, os objetivos desse trabalho foram avaliar o efeito de diferentes doses de radiação gama na manutenção da qualidade e no teor de óleo dos frutos de macaúba durante o período de armazenamento dos frutos à temperatura ambiente.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos de macaúba utilizados no experimento foram coletados na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, em Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. O clima da região segundo a classificação de Köppen-Geiger (1928) é temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa), situada a 19°46' de latitude sul e 44°25' de longitude oeste, à 712 m de altitude.

Para compor as amostras foram selecionadas cerca de 20 plantas adultas. As palmeiras foram previamente identificadas, georreferenciadas e os cachos com frutos maduros foram colhidos no dia 25 de janeiro de 2012 (final do período de produção), época em que os frutos estavam se desprendendo naturalmente dos cachos. Durante a colheita, utilizou-se colchão equipado com redes laterais para amortecer a queda do cacho e minimizar os danos mecânicos nos frutos. Após a colheita, os frutos foram debulhados, selecionados e homogeneizados para composição das unidades experimentais (Figura 1). Os frutos permaneceram por aproximadamente 24 horas, em local coberto, dentro de redes plásticas, com 24 frutos em cada, sendo cada rede, uma unidade experimental.

O tratamento dos frutos com radiação gama foi realizado no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN, localizado no Campus da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Os frutos foram acondicionados em seis caixas de papelão, cada uma delas para aplicação de uma dose. Essas caixas com os frutos foram levadas para uma sala especial para receberem a radiação gama. Os frutos foram tratados com as seguintes doses de radiação gama: 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10,0 kGy (Figura 2). Após o tratamento com radiação, os frutos foram transportados, por aproximadamente 4 horas, para o Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, onde ficaram armazenados por 0, 15, 30, 45 e 60 dias, em um galpão sob condição ambiente. Após cada período de armazenamento, procedeu-se o processamento dos frutos para avaliação do teor e qualidade do óleo no Laboratório de Biotecnologia, Melhoramento Vegetal e Pós-colheita de Macaúba.



**Figura 1:** Processo de colheita, seleção e composição das amostras: a) Plantas de macaúba; b) Colheita dos cachos; c) Debulha e seleção dos frutos; d) Composição das amostras.



**Figura 2:** Tratamento dos frutos com radiação gama: a) Unidades experimentais nas caixas de papelão, prontas para serem irradiadas; b) Caixas de papelão acondicionando os frutos e identificadas de acordo com a respectiva dose de radiação.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, num esquema fatorial 6 x 5, com 4 repetições e 24 frutos em cada repetição, representando a unidade experimental, totalizando 2880 frutos e 120 unidades experimentais. O primeiro fator corresponde à dose de radiação gama utilizada no tratamento dos frutos e, o

segundo fator ao tempo de armazenamento que os frutos foram submetidos após o tratamento com radiação.

## 2.1 - Extração do óleo

Promoveu-se o rompimento do epicarpo do fruto utilizando-se uma morsa. Em seguida os frutos foram despulpados manualmente com o auxílio de facas. Logo após, o mesocarpo e amêndoa foram levados a estufa, por 24 h e 48 h, respectivamente, a 65°C, com o objetivo de retirar o excesso de água, possibilitando o processo de prensagem e obtenção do óleo. Para a extração do óleo do mesocarpo e da amêndoa, utilizou-se uma prensa hidráulica com capacidade de 15 t de força. Em seguida os óleos foram acondicionados em frascos âmbar e congelados em freezer a -20°C, com a finalidade de evitar a degradação do óleo por ação da luz e temperatura (Figura 3).



**Figura 3:** a) Despulpamento dos frutos; b) Organização das amostras para prensagem; c) Prensagem do mesocarpo e acondicionamento do óleo em frascos âmbar, envoltos por papel alumínio.

## 2.2 - Características avaliadas

### 2.2.1 - Teor de óleo

A quantidade de material graxo presente na matéria seca do mesocarpo e da amêndoa, expressa em porcentagem, representa o teor de óleo. Do total de 24 frutos presente em cada amostra, 3 foram destinados para a quantificação do óleo. Esses frutos foram congelados até a realização da análise. Para determinação do teor de óleo utilizou-se a metodologia adaptada 032 / V IAL (1985). As amostras foram secadas em estufa, trituradas, colocadas em cartucho composto de papel filtro e o óleo extraído em extrator de óleos e gorduras do tipo “Soxhlet”, por meio do solvente orgânico *n-hexano*.

Durante o processo de extração, as amostras permaneceram mergulhadas no solvente por 2 horas à 80°C. Após o cozimento procedeu-se a lavagem das amostras com o hexano acumulado no condensador, em temperatura de 110°C. Este processo foi repetido por seis vezes. Finalizando a extração, os cartuchos foram levados para uma estufa, com circulação forçada de ar, a 65°C por 24 h, para evaporar o excesso de *n-hexano* na amostra. Em seguida, procedeu-se a pesagem dos cartuchos contendo a amostra em balança analítica. O teor de óleo foi calculado pela equação:

$$TO(\%) = \frac{(P1 - P2)}{(P1 - P)} * 100$$

em que:

TO(%) = teor de óleo em porcentagem;

P = peso do cartucho em g;

P1 = peso do cartucho contendo amostra antes da extração do óleo em g;

P2 = peso do cartucho contendo amostra após a extração do óleo em g.

### 2.2.2 - Índice de acidez

A qualidade do óleo e o seu estado de conservação podem ser expressos pelos valores de índice de acidez obtidos. Essa característica está diretamente relacionada com a natureza, pureza, qualidade do material, condições de processamento e conservação do produto (ISLAM & BEG, 2004).

A obtenção desse índice leva em consideração a quantidade de base necessária para neutralizar os ácidos graxos livres presentes nos óleos e gorduras. Para determinação desse índice utilizou-se o método Ca 5a – 40 (AOCS, 1994). Pesou-se cerca de 2,00 ± 0,10 g das amostras de óleo em Erlenmeyers de 125,0 mL; em seguida adicionou-se 25,00 mL da solução neutra de éter etílico–álcool (2:1). Adicionou-se duas gotas de indicador fenolftaleína 0,4% e realizou a titulação com solução padronizada de NaOH 0,1 M.

O índice de acidez foi calculado por meio da equação:

$$I.A = \left( 5,61 \frac{V_a f}{m} \right)$$

onde:

I.A: índice de acidez em mg KOH.g<sup>-1</sup>; o resultado obtido foi expresso em porcentagem de ácido oleico, para isso, dividiu-se o resultado do I.A em mg KOH.g<sup>-1</sup> por 1,99.

V<sub>a</sub>: volume da solução de hidróxido de sódio 0,1 M, padronizada, gasto na titulação da amostra, em mL;

f: fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 M, encontrado com a padronização, adimensional;

m: massa da amostra, em g.

Para o óleo da amêndoa, a solução de NaOH utilizada foi de 0,01 M, devido à baixa acidez do óleo, objetivando aumentar a precisão da análise. Para efeito de cálculo do índice de acidez, a constante utilizada no cálculo passou a ser 0,561.

### 2.2.3 - Estabilidade oxidativa

A estabilidade oxidativa refere-se à capacidade do óleo vegetal em resistir às reações de oxidação dos lipídios que ocorre quando o oxigênio atmosférico ou aquele que está dissolvido no óleo reage com ácidos graxos insaturados presentes (LIMA & GONÇALVES, 1995).

A estabilidade oxidativa foi obtida através da metodologia proposta pela *American Oil Chemistry Society* (AOCS, 1997), utilizando-se o equipamento 873 *Biodiesel Rancimat*® - Metrom.

Pesou-se 2,50 ± 0,01 g de óleo do mesocarpo e da amêndoa de frutos de macaúba em um tubo de ensaio. Em seguida os tubos foram acondicionados no aparelho medidor da estabilidade oxidativa. Esse equipamento foi programado para operar a

110°C, com velocidade de fluxo de ar de 10,0 L.h<sup>-1</sup>. A oxidação foi induzida pela passagem de ar pela amostra, mantida à temperatura constante. Os produtos voláteis da reação são coletados em água destilada e determinados pela mudança na condutividade elétrica desta. Esses produtos são expressos através de uma curva. Quando um pico de condutividade elétrica for registrado, o aparelho determina o tempo de indução, que caracteriza a perda da estabilidade oxidativa, que é calculado pela intersecção de duas linhas: a tangente de inclinação e a outra tangente nivelada à curva. Assim, quanto menor o tempo de indução, menor a estabilidade oxidativa do óleo.

#### **2.2.4 - Teor de água no óleo**

A avaliação do teor de água presente no óleo permite maior controle da qualidade do óleo extraído. Uma vez que, percentuais elevados de água podem acelerar os processos de deterioração do óleo, seja por processos enzimáticos ou por microrganismos. Além disso, altos teores de água diminuem a eficiência do processo de transesterificação do óleo na produção do biodiesel (ROLIM, 1981).

Essa característica foi mensurada com base na norma ASTM D 6304, por meio de um titulador automático modelo *870 KF Titrino plus* - Metrhom. A solução de Karl Fischer foi utilizada como solução titulante e para a solubilização das amostras utilizou-se uma mistura contendo metanol e clorofórmio na proporção de 1:1. Após a calibração e condicionamento do titulador, 2,00 ± 0,10 g de óleo de cada amostra foi injetado no vaso de titulação, contendo cerca de 25,00 ml da mistura dos solventes. O equipamento registra a massa de óleo pesada e o ponto final da titulação é identificado por um eletrodo de platina, fornecendo automaticamente o teor de água da amostra em porcentagem.

#### **2.2.5 - Perfil de ácidos graxos**

A composição dos ácidos graxos presentes no óleo vegetal caracteriza o perfil de ácidos graxos. Para esta característica, foi feita apenas uma caracterização de uma amostra de cada tratamento no início do experimento (aos 0 dias de armazenamento) e no final (aos 60 dias de armazenamento), com a finalidade de observar possíveis mudanças no perfil de ácidos graxos durante o armazenamento.

O óleo vegetal, composto de mono, di e triglicerídeos foi derivatizado a fim de separar o glicerol das cadeias de ácidos graxos, conforme descrito a seguir: adicionou-se em tubos de ensaio 100 µl de óleo da polpa ou da amêndoa de frutos de macaúba, 2 ml de ácido sulfúrico a 1% em metanol. Os tubos foram fechados e a mistura aquecida em banho-maria por 1 h a 70°C. Após esse processo esfriou-se os tubos em água corrente, 2 ml de água destilada foram adicionados em cada tubo. Adicionalmente fez-se duas extrações com 3 ml de hexano, separando as fases com pipeta de Pasteur. À fase orgânica sobrenadante extraída, adicionou-se sulfato de sódio anidro com a finalidade de eliminar a umidade, após 1 min. transferiu-se 0,5 ml da solução para eppendorfs de 2 ml, de onde se retirou 1 µl para leitura no cromatógrafo.

As amostras foram injetadas em cromatógrafo à gás, modelo GC 2010 Plus (Shimadzu), equipado com injetor SPLIT, coluna capilar Restek RT - 2560 de 100 m de comprimento e detectores de ionização de chama (FID). O método utilizado de injeção, consistiu na temperatura do injetor de 220°C, razão split de 1:20; temperatura inicial da coluna de 150°C durante 5 minutos, após esse tempo a temperatura é elevada para 180°C durante 10 minutos numa taxa de aquecimento de 3°C.min<sup>-1</sup> ; por último, numa taxa de aquecimento de 3°C.min<sup>-1</sup>; a temperatura final foi elevada a 220°C, permanecendo a essa temperatura por 30 minutos. A temperatura do detector FID utilizada foi de 240°C.

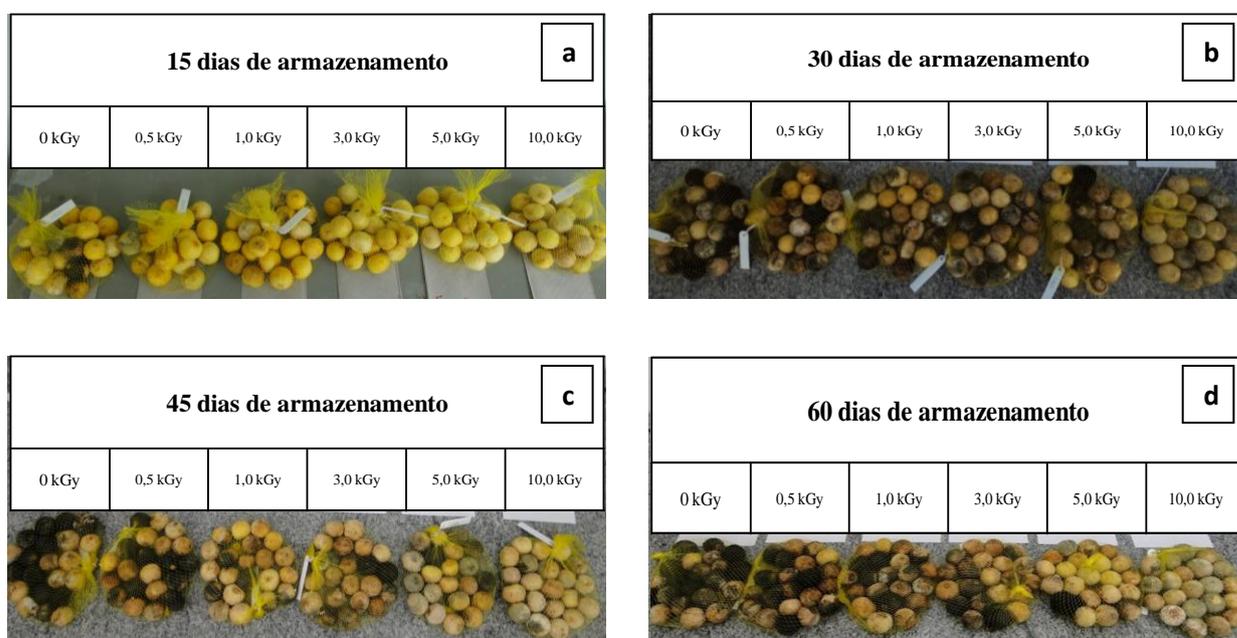
### **2.3 - Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão. Tais análises foram realizadas no software SAS<sup>®</sup>, versão 9.0. Os gráficos de superfície de resposta foram plotados utilizando-se o software SigmaPlot<sup>®</sup> 11.0. (O resumo da análise de variância pode ser consultado no ANEXO A e os valores médios observados no ANEXO B).

### 3 - RESULTADOS

#### 3.1 - Características visuais

O tratamento físico dos frutos com radiação gama influenciou a qualidade e o amadurecimento dos frutos, apresentando diferenças visuais na coloração dos frutos, que foi comprovada pelas análises de qualidade e teor de óleo. Esse tratamento retardou a deterioração dos frutos no período inicial de armazenamento, fato não observado após os 30 dias de armazenamento. A partir deste período apenas os frutos que receberam dose máxima de radiação (10 kGy) apresentaram melhor qualidade visual em relação aos demais (Figura 4).



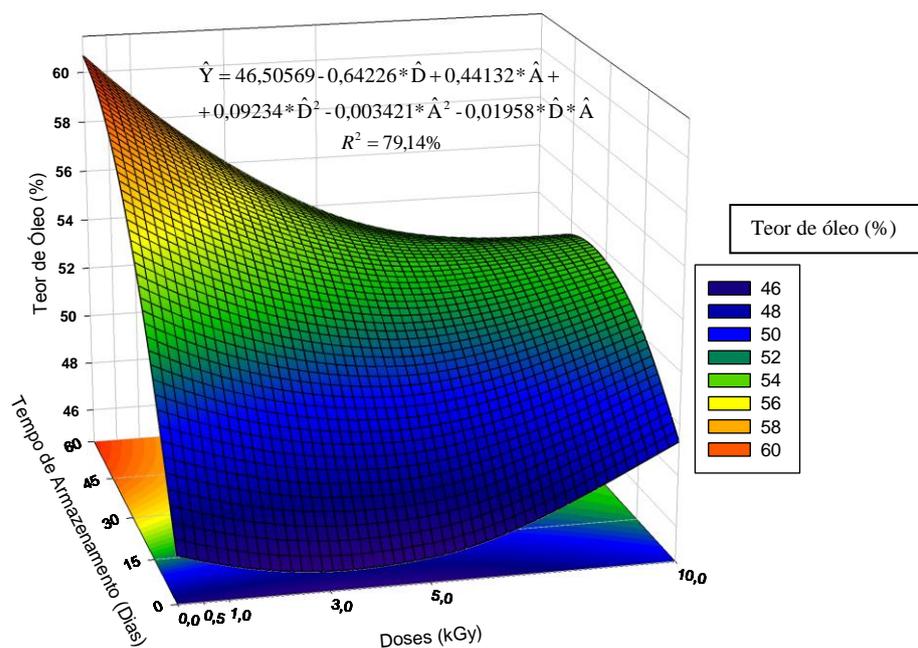
**Figura 4:** Qualidade visual dos frutos de macaúba submetidos às doses de 0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10,0 kGy de radiação gama, ao longo do armazenamento. a) 15 dias de armazenamento; b) 30 dias de armazenamento; c) 45 dias de armazenamento; d) 60 dias de armazenamento.

### **3.2 - Teor de óleo no mesocarpo**

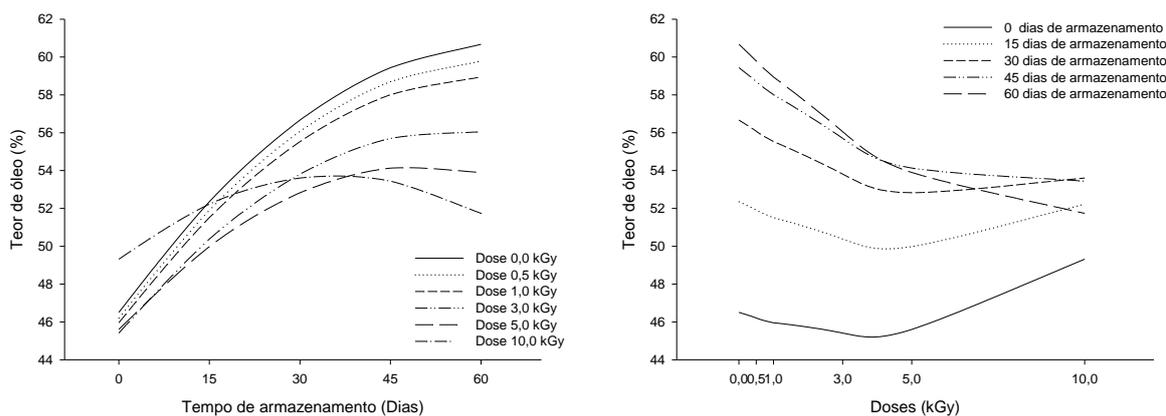
Houve efeito das doses de radiação gama e do período de armazenamento no teor de óleo do mesocarpo. O tratamento controle, dose 0 kGy, proporcionou maior acúmulo de óleo no período avaliado, com valores estimados iniciais de 46,51% de óleo em base seca, atingindo 60,70% de óleo aos 60 dias de armazenamento, aumentando 14,19% no período avaliado. Já no tratamento com 10,0 kGy de radiação gama, esse aumento foi consideravelmente menor, passando de 49,32% para 51,73% de óleo, com uma variação de apenas 2,4%. Com base nesses dados inferimos que o padrão de acúmulo de óleo intrínseco aos tratamentos aplicados pode ter sido fortemente influenciado pela aplicação da radiação gama. Houve interferência negativa desse tratamento físico no metabolismo dos frutos e acúmulo de óleo.

Apesar da diferença inicial no teor de óleo entre o tratamento controle e a dose de 10,0 kGy (46,51% ~ 49,32%), esta possivelmente não foi suficientemente expressiva, indicando uma mera diferença em decorrência da amostragem, no entanto, é necessário que se desenvolva estudos com o intuito de elucidar essa questão.

Observou-se incremento no teor de óleo do mesocarpo dos frutos durante o período de armazenamento, sendo que o ponto de conversão máxima foi em torno dos 30 dias. Esse incremento foi menor à medida que se aumentava a dose de radiação aplicada, ou seja, o acúmulo de óleo foi inversamente proporcional à dose de radiação aplicada. Frutos que não foram tratados com radiação gama acumularam mais óleo ao longo do armazenamento que os frutos tratados (Figura 5).



(a)



(b)

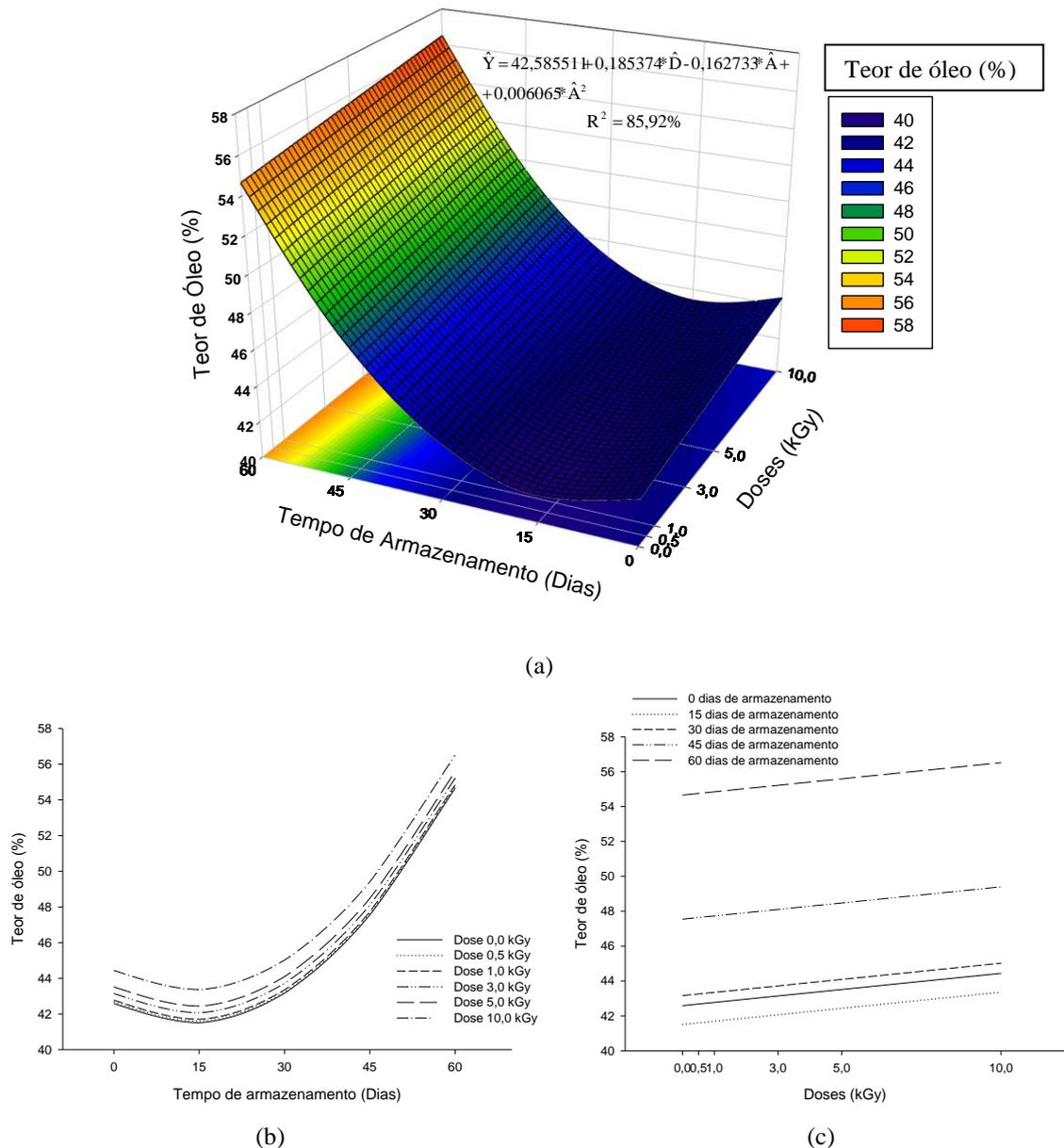
(c)

**Figura 5:** Teor de óleo no mesocarpo de frutos de macaúba: a) Teor de óleo (% em base seca) no mesocarpo em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta.

### 3.3 - Teor de óleo na amêndoa

Houve interação significativa entre doses de radiação gama e tempo de armazenamento. Os maiores teores obtidos ao longo do armazenamento foram na dose máxima de radiação, iniciando com 44,44% e atingindo valores de 56,51% de óleo aos 60 dias de armazenamento. No tratamento sem radiação gama essa variação foi de 42,58% para 54,65%.

Efeito contrário ao observado no teor de óleo do mesocarpo foi obtido para o teor de óleo na amêndoa, uma vez que, doses crescentes de radiação gama proporcionaram aumento do teor de óleo na amêndoa ao longo do armazenamento. Em torno dos 30 dias de armazenamento pode-se determinar o ponto de conversão máxima (Figura 6).

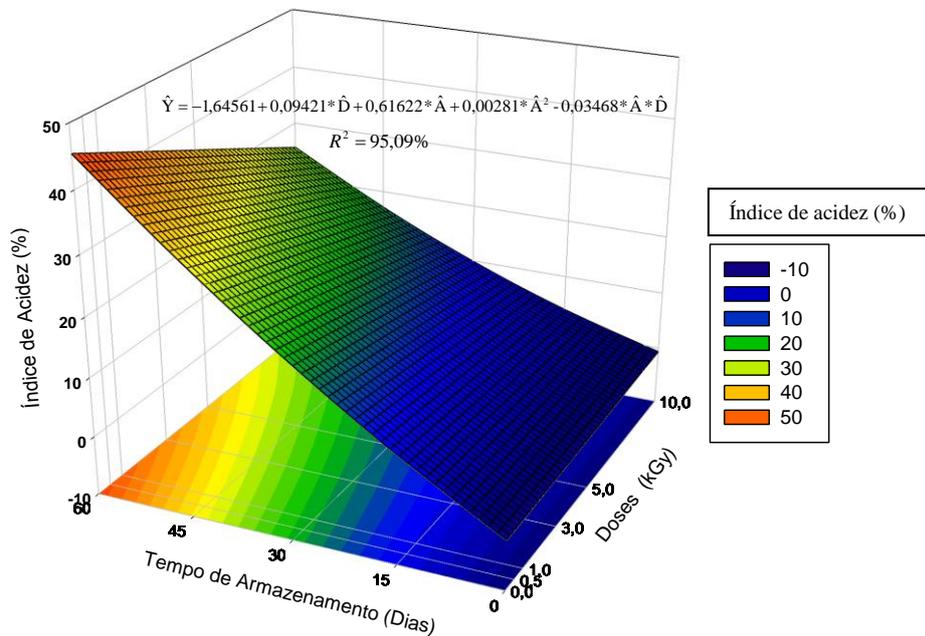


**Figura 6:** Teor de óleo na amêndoa de frutos de macaúba: a) Teor de óleo (% em base seca) da amêndoa em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta.

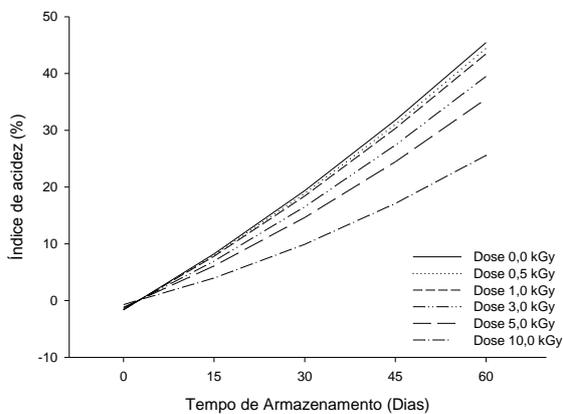
### **3.4 - Índice de acidez no óleo do mesocarpo**

Houve efeito entre as doses de radiação gama e o tempo de armazenamento no índice de acidez do óleo do mesocarpo. A dose de 10,0 kGy foi mais eficiente em evitar o aumento excessivo da acidez ao longo do armazenamento, atingindo aos 60 dias de armazenamento 25,58% de acidez em percentual de ácido oleico, enquanto que no tratamento controle esse valor chegou a 45,45%.

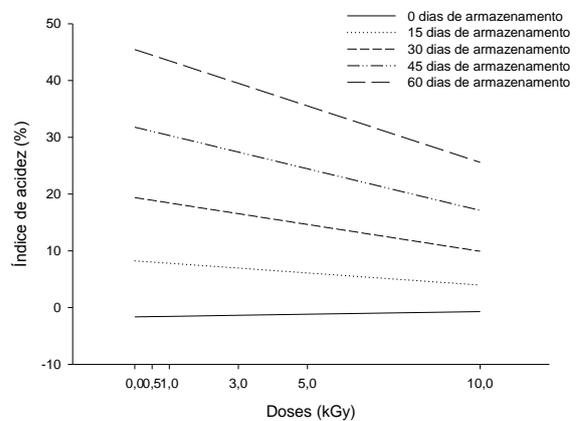
Na primeira avaliação, aos 0 dias, a diferença no índice de acidez entre as doses em estudo foi mínima. À medida que se aumentou as doses aplicadas, houve redução do índice de acidez ao longo do armazenamento dos frutos. Apenas a dose de 10,0 kGy foi eficiente para manter a acidez próxima a 3% após 15 dias de armazenamento. Para as demais doses a acidez foi superior a 6% no mesmo período (Figura 7).



(a)



(b)



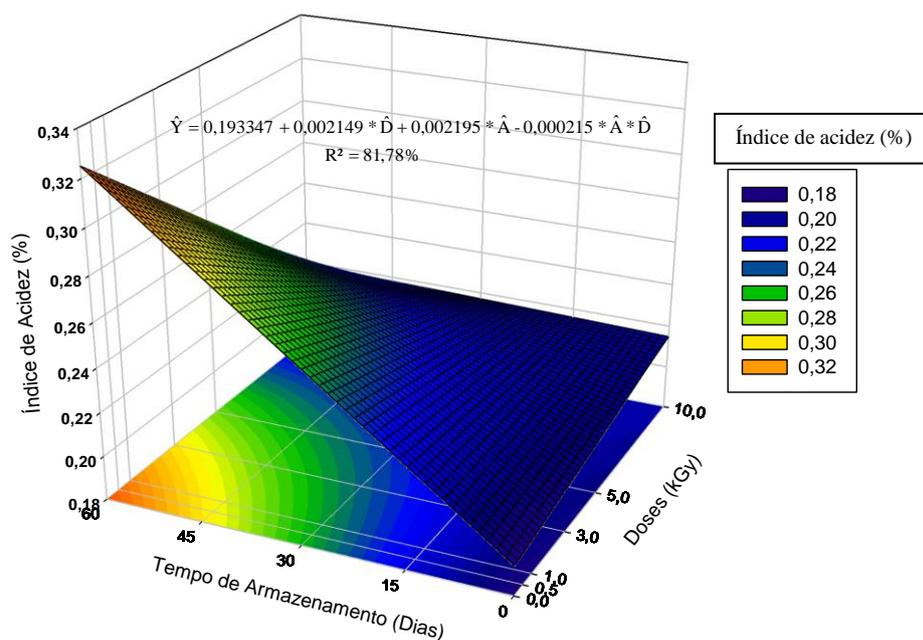
(c)

**Figura 7:** Índice de acidez do óleo do mesocarpo de frutos de macaúba: a) Índice de acidez (% de ácido oleico) do óleo do mesocarpo em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta.

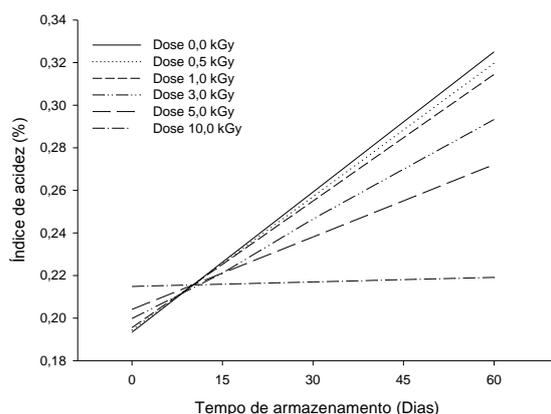
### **3.5 - Índice de acidez no óleo da amêndoa**

A variação observada no índice de acidez do óleo da amêndoa foi pequena em comparação ao óleo do mesocarpo. No tratamento controle essa variação foi de 0,13% para o óleo da amêndoa, contra 47% para o óleo do mesocarpo, ao longo do armazenamento. Houve interação significativa entre as doses de radiação gama aplicadas e o tempo de armazenamento. Assim como observado no óleo do mesocarpo, doses mais elevadas proporcionaram menor progresso no índice de acidez no período de armazenamento em estudo.

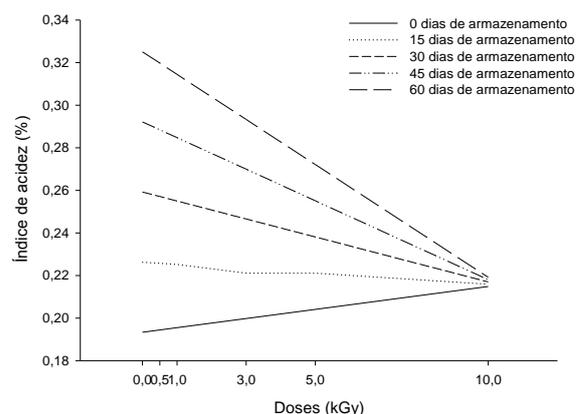
Com o decorrer do armazenamento, a evolução da acidez foi menor à medida que se aumentava as doses de radiação aplicadas. Na dose 10,0 kGy essa variação foi de apenas 0,004%, enquanto que no tratamento controle a variação no índice de acidez no tempo de armazenamento avaliado foi de 0,13%. Pode-se inferir que na dose 10,0 kGy praticamente não houve atividade microbiológica, a curva apresentada no gráfico para essa característica não se alterou ao longo do armazenamento (Figura 8).



(a)



(b)



(c)

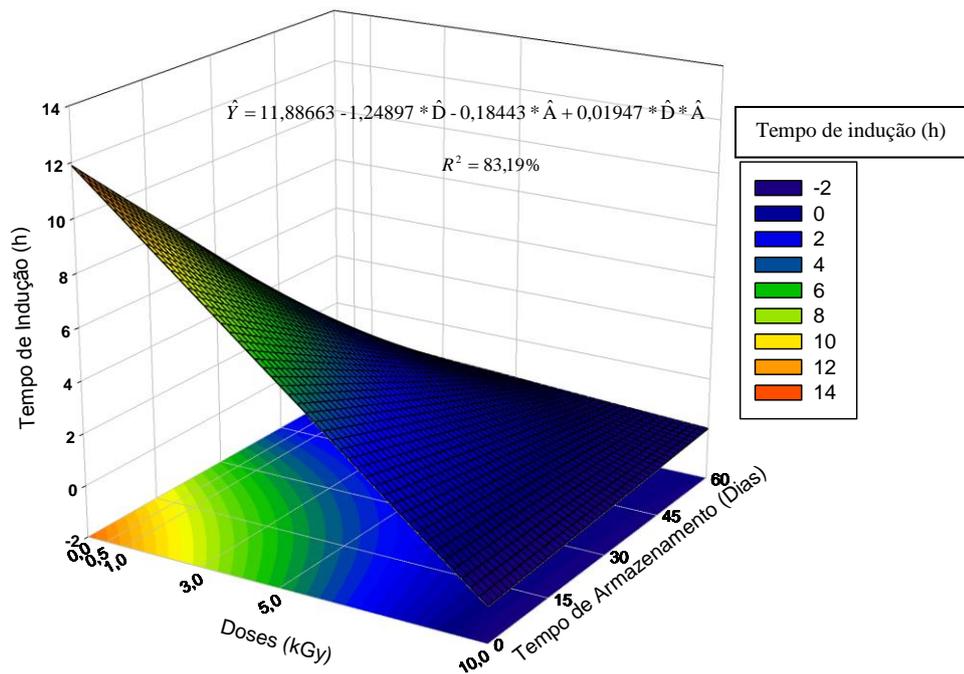
**Figura 8:** Índice de acidez do óleo da amêndoa de frutos de macaúba: a) Índice de acidez (% de ácido oleico) do óleo da amêndoa em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta.

### 3.6 - Estabilidade oxidativa no óleo do mesocarpo

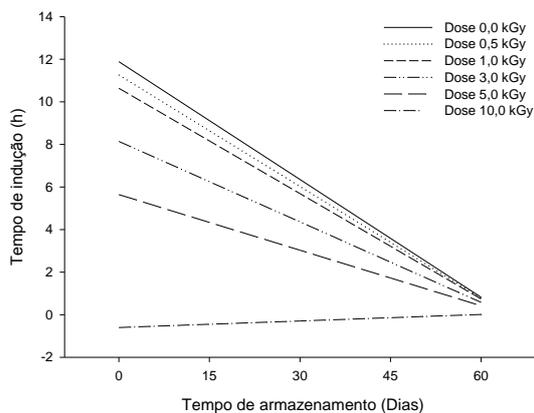
Houve interação significativa entre doses de radiação gama e tempo de armazenamento para a estabilidade oxidativa do óleo. A radiação apresentou efeito sobre a estabilidade do óleo na primeira avaliação, aos 0 dias de armazenamento. Frutos que não foram expostos à radiação apresentaram tempo de indução inicial estimado igual a 11,89 h, atingindo ao final do período de armazenamento 0,82 h. Enquanto que

para as doses de 5,0 e 10,0 kGy, já na primeira avaliação, o tempo de indução obtido foi menor que 6 h.

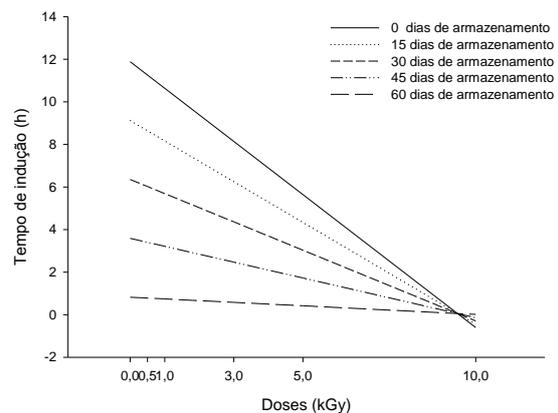
O tempo de indução à perda da estabilidade oxidativa foi menor à medida que se aumentava a intensidade da dose aplicada. O mesmo efeito foi observado em relação à época de avaliação, ou seja, maiores tempos de armazenamento promoveram a redução da estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo (Figura 9).



(a)



(b)

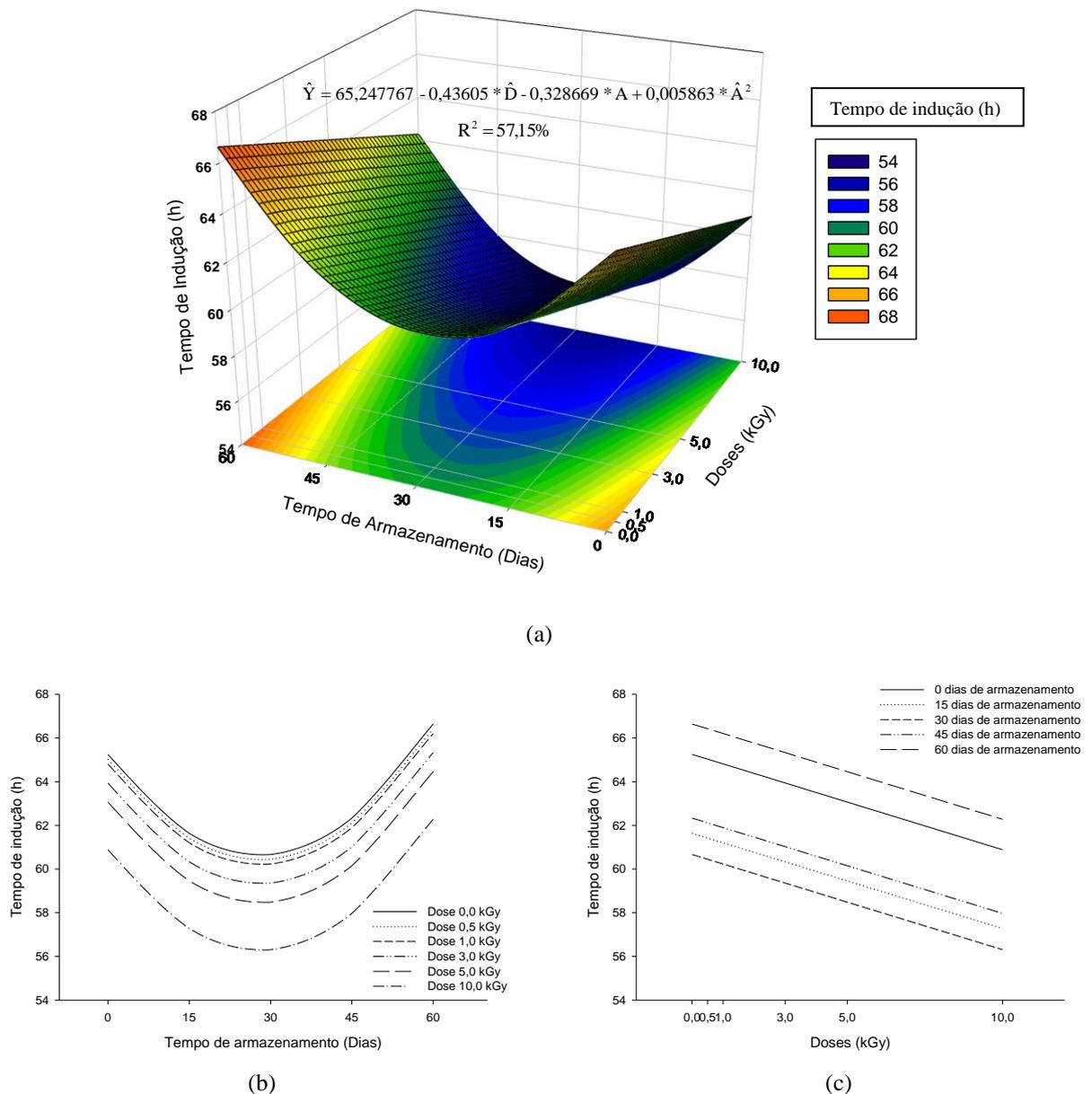


(c)

**Figura 9:** Estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo de frutos de macaúba: a) Estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo do mesocarpo em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta.

### 3.7 - Estabilidade oxidativa no óleo da amêndoa

Houve interação significativa entre as doses de radiação gama aplicadas e o tempo de armazenamento dos frutos para a estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa. Assim como no óleo do mesocarpo, o aumento das doses de radiação levou à diminuição da estabilidade do óleo logo na primeira avaliação. Houve diminuição da estabilidade oxidativa até aos 30 dias de armazenamento, após esse período, a estabilidade do óleo da amêndoa aumentou nas próximas avaliações (Figura 10).

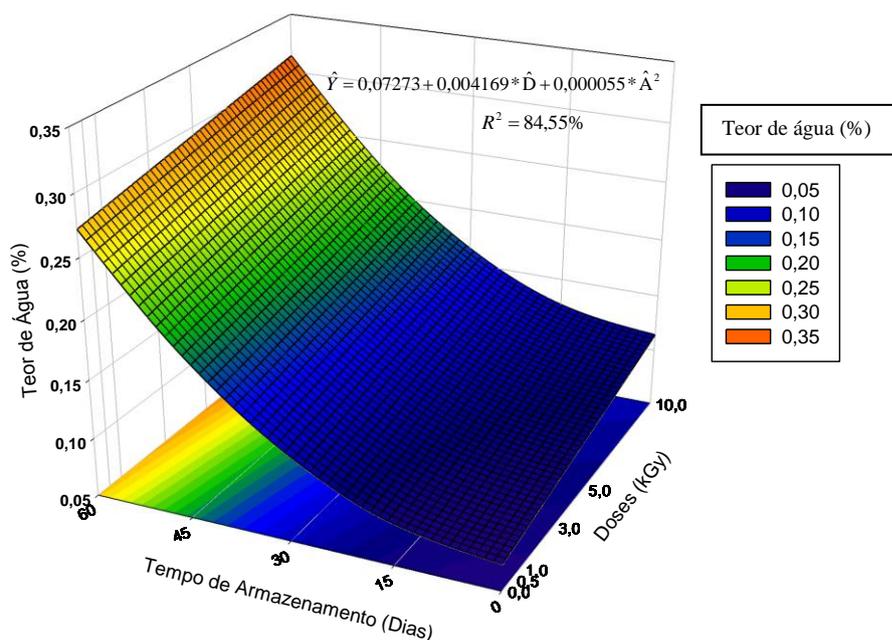


**Figura 10:** Estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa de frutos de macaúba: a) Estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo da amêndoa em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta.

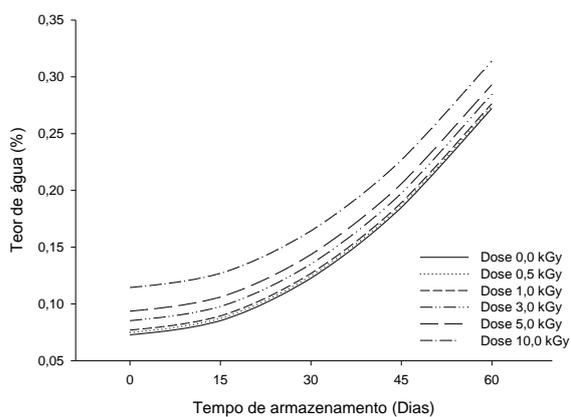
### **3.8 - Teor de água no óleo do mesocarpo**

Houve interação significativa entre as doses de radiação e o tempo de armazenamento dos frutos para o teor de água do óleo do mesocarpo. O tratamento com a dose 0 kGy de radiação gama apresentou os menores valores iniciais de teor de água, com valor médio estimado de 0,07% de água no óleo, enquanto que percentual de 0,11 foi obtido com a dose máxima para a mesma época de avaliação. Ao final do armazenamento os percentuais de água no óleo do mesocarpo foram superiores a 0,27% (Figura 11).

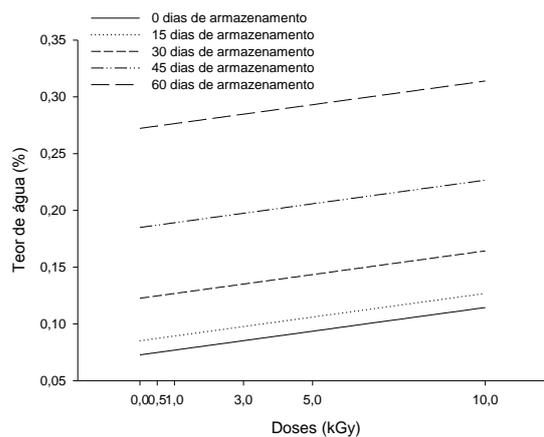
Maiores teores de água no óleo do mesocarpo foram observados à medida que se aumentava as doses de radiação. Efeito similar foi observado para o tempo de armazenamento. O teor de água no óleo aumentou no decorrer do armazenamento, independente da dose de radiação aplicada.



(a)



(b)



(c)

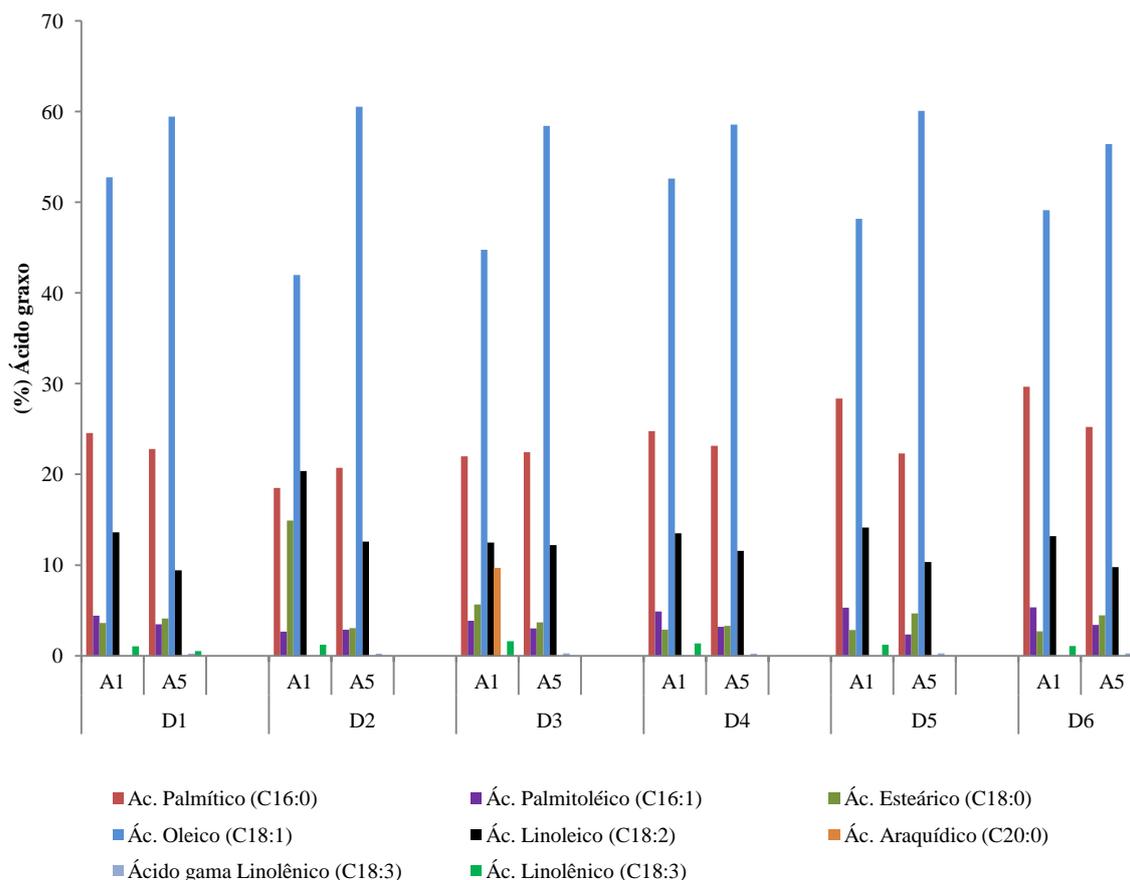
**Figura 11:** Teor de água do óleo do mesocarpo de frutos de macaúba: a) Teor de água (%) do óleo do mesocarpo em função das doses de radiação gama (representado pela letra D na equação) e do tempo de armazenamento (representado pela letra A na equação). Doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 e 10 kGy e tempo de armazenamento de 0, 15, 30, 45 e 60 dias. b) e c) Cortes da superfície de resposta.

### **3.9 - Teor de água no óleo da amêndoa**

Não houve interação significativa entre as doses e o tempo de armazenamento para o teor de água no óleo da amêndoa. Os fatores também não foram significativos isoladamente, mostrando que esses fatores não exerceram influência no teor de água do óleo da amêndoa em frutos de macaúba. O teor médio de água observado entre todos os tratamentos foi de 0,18%.

### **3.10 - Perfil de ácidos graxos do óleo do mesocarpo**

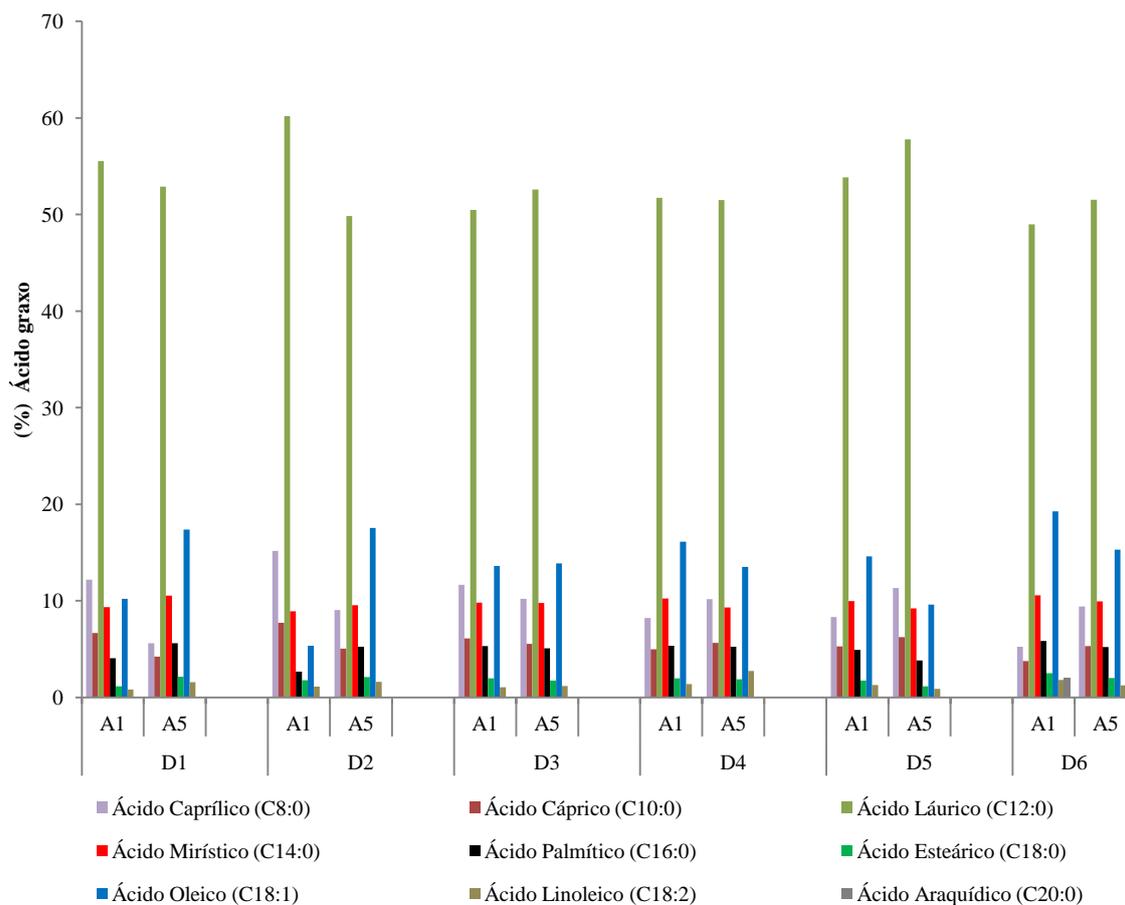
De acordo com os dados médios observados, o óleo do mesocarpo da macaúba apresentou maior proporção de ácidos graxos insaturados, sendo o ácido oleico o mais abundante, com percentuais superiores a 45% em todos os tratamentos, seguido pelo ácido palmítico e o ácido linoleico. Os demais ácidos graxos apresentaram percentuais menores que 5,8%. Aos 60 dias após o armazenamento, todos os tratamentos apresentaram teores de ácido oleico superiores ao observado na primeira avaliação, sendo a maior variação observada na dose de 0,5 kGy, com 18,5% de aumento, e a menor, na dose 3,0 kGy, com apenas 5,95% de aumento. Em contrapartida, os teores de ácido palmítico e linoleico diminuíram com o armazenamento, com exceção das doses 0,5 e 1,0 kGy para o ácido palmítico. Os tratamentos com as doses de 5,0 e 10,0 kGy apresentaram as maiores variações no ácido palmítico, reduzindo 6,04% e 4,41%, respectivamente. Para o ácido linoleico, essa redução foi maior no tratamento 0,5 kGy, com 7,77% de redução (Figura 12).



**Figura 12:** Perfil de ácidos graxos (%) do óleo do mesocarpo aos 0 (A1) e 60 (A5) dias de armazenamento. Doses de 0,0 (D1); 0,5 (D2); 1,0 (D3); 3,0 (D4); 5,0 (D5) e 10 (D6) kGy.

### 3.11 - Perfil de ácidos graxos do óleo da amêndoa

Ao contrário do observado para o óleo do mesocarpo de frutos de macaúba, o óleo da amêndoa apresentou maiores teores de ácidos graxos saturados. O ácido graxo láurico foi o mais abundante, apresentando percentuais superiores a 49% em todos os tratamentos. Os tratamentos com as doses de 0,0 kGy e 0,5 kGy apresentaram as maiores variações no percentual dos ácidos graxos láurico, oleico e caprílico, durante o armazenamento. A dose de 0,5 kGy mostrou uma redução de 10,34% de ácido láurico após 60 dias de armazenamento. Essa mesma dose apresentou aumento de 12,19% no teor de ácido oleico, seguida da dose de 0 kGy, com aumento de 7,16% na porcentagem desse ácido graxo. Para o ácido caprílico, a redução foi de 6,58% e 6,10% para as doses de 0,0 e 0,5 kGy (Figura 13).



**Figura 13:** Perfil de ácidos graxos (%) do óleo da amêndoa aos 0 (A1) e 60 (A5) dias de armazenamento. Doses de 0,0 (D1); 0,5 (D2); 1,0 (D3); 3,0 (D4); 5,0 (D5) e 10 (D6) kGy.

#### 4 - DISCUSSÃO

A vida de prateleira de muitos frutos perecíveis pode ser estendida pelo uso da radiação gama, através do controle da deterioração causada por microrganismos, promovendo o atraso do amadurecimento e da senescência propriamente dita (URBAIN, 1986). O melhor aspecto demonstrado pelos frutos de macaúba tratados pela radiação gama, e perceptível pela manutenção da coloração, pode ser atribuída a esta ação. No entanto, a dificuldade na manutenção da qualidade do fruto ao longo do armazenamento, pode ter sido influenciada pela reinfestação por microrganismos nos frutos tratados, uma vez que esses frutos não apresentavam nenhum tipo de proteção ao ataque de microrganismos durante o armazenamento. Feitosa et al. (2005) relata a eficiência da radiação gama na manutenção da qualidade visual dos frutos, seja pela preservação da cor ou firmeza dos mesmos. Em frutos de nectarinas, quando tratadas com 0,4 kGy foi observado a manutenção da qualidade visual, não sendo detectado nenhuma ocorrência de deteriorações ou podridões (NEVES et al., 2002). Santos (2008) observou que frutos de pequi que foram irradiados apresentaram perda de coloração em relação ao controle durante o período avaliado, sendo que a dose máxima, 10,0 kGy, foi a que registrou as menores alterações de cor, essa perda de coloração nas doses elevadas também foi visualmente observada nos frutos de macaúba.

Teores de óleo no mesocarpo semelhantes ao obtido nesse trabalho, para o tratamento controle, foram encontrados por Coimbra & Jorge (2011) em frutos de macaúba. Esses autores obtiveram 46,06% de óleo na matéria seca do mesocarpo, por outro lado, o teor de óleo na amêndoa, 28,94%, foi menor que o observado nesse trabalho, sem nenhum tratamento adicional. Percentuais superiores ao encontrado nesse trabalho foram obtidos pela CETEC (1983), com 59,8% de óleo no mesocarpo e 55,6% na amêndoa dos frutos. A divergência entre os valores podem estar associadas à região e época de coleta, à idade e tempo de processamento dos frutos e por diferenças entre os materiais genéticos.

A variação obtida no teor de óleo do mesocarpo entre as diferentes doses na primeira avaliação, não seguiu o mesmo comportamento observado em avelãs, nozes, amêndoas e pistache (GECGEL et al., 2011), amendoim (BHATTI et al., 2010), amêndoas (*Prunus amygdalus*) (SÁNCHEZ-BEL et al., 2008). Estes autores avaliaram o efeito de diferentes doses de radiação gama e não encontraram diferenças nos teores

de óleo entre o tratamento controle e as diversas doses de radiação aplicadas (variando de 1 a 10 kGy) . Nos frutos de macaúba é possível que a aplicação das doses mais elevadas de radiação tenham exercido efeito negativo no metabolismo do frutos, que culminou com a perceptível redução na taxa de acúmulo do óleo. Raios gama podem induzir aumento na produção de radicais livres, quando reage com a água presente no produto irradiado, os quais podem causar descontrolada oxidação dos lipídios livres ou danificar estruturas de membranas de organelas como mitocôndrias, plastídeos e oleossomos refletindo diretamente na quantidade de óleo acumulada (KILCAST, 1994).

O não comprometimento do acúmulo de óleo da amêndoa de macaúba, mediante exposição aos raios gama, indica que o metabolismo lipídico desta porção do fruto foi pouco afetada pelos tratamentos. De fato, o padrão de acúmulo de óleo é muito semelhante para todas as doses. A amêndoa de macaúba é revestida por um endocarpo altamente lignificado e espesso, o qual pode ter conferido uma proteção maior contra os raios, minimizando parcialmente o seu efeito deletério (NORIMOTO, 1975; KASPRZYK, 2008).

Uma das premissas para a utilização de óleos para fins industriais é que o mesmo apresente um determinado grau de estabilidade, que está diretamente associada à presença de ácidos graxos livres. Elevados índices de acidez podem ser gerados devido a processos inadequados de colheita, amadurecimento, armazenamento e extração de óleo, o que dificulta o processo de transesterificação na produção do biodiesel, por exemplo, induzindo a saponificação e resultando em menor eficiência do processo (MEHER, 2006).

A elevação da acidez é um processo inevitável para o mesocarpo da macaúba ao longo do período de estocagem. Entretanto, a aplicação da radiação gama em doses crescentes, e especialmente para a dose de 10,0 kGy é capaz de retardar o avanço da acidez no óleo do mesocarpo. Possivelmente, o incremento das doses de radiação gama diminui a atividade metabólica no mesocarpo de frutos de macaúba, retardando o processo de acidificação do óleo.

Os baixos índices de acidez obtidos nesse trabalho para o óleo do mesocarpo em condição natural, ou seja, sem a aplicação de nenhum tratamento, está de acordo com os resultados obtidos por Sanjinez-Argandoña & Chuba (2011), os quais obtiveram índice de acidez de 0,73% no óleo do mesocarpo de frutos de macaúba de diferentes regiões.

Farias (2010) avaliando a qualidade do óleo do mesocarpo e da amêndoa de macaúba, obteve acidez em porcentagem de ácido oleico de 0,96 e 0,29, respectivamente. Esse autor observou elevação do índice de acidez ao longo do armazenamento, em taxas mais elevadas para o óleo do mesocarpo, e menor progressão do índice de acidez do óleo da amêndoa, corroborando com os resultados obtidos nesse trabalho.

A acidez no óleo da amêndoa foi maior à medida que se aumentava a dose de radiação gama na primeira avaliação. Badr (2006); Bhatti et al. (2010); Gecgel et al. (2011) também observaram o mesmo efeito em gema e clara de ovos, amendoim e variedades de amêndoas, respectivamente. Al-Bachir (2004), em sua pesquisa, também observou o aumento do índice de acidez em nozes tratadas com até 2,0 kGy. Além disso, assim como observado nesse trabalho, a taxa de evolução do índice de acidez ao longo do armazenamento foi menor nos tratamentos onde houve a aplicação da radiação em relação ao controle. Essa menor evolução ao longo do armazenamento pode ter ocorrido devido a diminuição da atividade metabólica nas nozes irradiadas durante o armazenamento. A elevação da concentração de ácidos graxos livres no óleo pode ocorrer devido à hidrólise rápida e aleatória de moléculas de triglicerídeos em ácidos graxos livres e diacilgliceróis (ANJUM et al., 2006; AL-BACHIR, 2004).

Durante o período pós-colheita, muitos frutos ou sementes oleaginosas podem ter suas características alteradas devido ao processo natural de oxidação lipídica. Este processo pode ser de maior ou menor velocidade dependendo da natureza ou constituição dos ácidos graxos e da maior ou menor exposição a estresses abióticos e bióticos. A diferença observada na estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo em relação ao óleo da amêndoa, deve-se ao grau de insaturação dos alquilésteres presentes nos diferentes óleos e à posição das duplas ligações na cadeia carbônica (MEHER et al., 2006; BOUAID et al., 2007). Coimbra & Jorge (2011) obtiveram menor estabilidade oxidativa no óleo do mesocarpo e da amêndoa de frutos da macaubeira, em relação ao tratamento controle desse trabalho, com valores de 4,87 h e 44,46 h, respectivamente.

A composição do óleo do mesocarpo, marcado pela presença de ácidos graxos insaturados, e o estresse sofrido pelo processo de irradiação, foram responsáveis pela grande perda da estabilidade oxidativa desse óleo, que foram proporcionais ao aumento das doses e do tempo de armazenamento. Lalas et al. (2007) reportaram que o uso da radiação gama, nas doses de 1, 2 e 3 kGy, provocou redução significativa no tempo de

indução à perda da estabilidade oxidativa, comparada ao tratamento controle, em amostras de óleo de soja, girassol e oliva, concordando com os resultados obtidos nesse trabalho. Gölge & Ova (2008) relataram que os raios gama interagem com as moléculas do óleo promovendo a oxidação, descarboxilação, desidratação e reações de polimerização levando ao aumento da oxidação lipídica. Essa oxidação lipídica, crescente com o incremento das doses de radiação gama, pode ser a responsável pelo menor acúmulo de óleo nos frutos irradiados.

A presença de altos teores de ácidos graxos saturados, associado à presença de um endocarpo lignificado e espesso, conferiu ao óleo da amêndoa maior estabilidade oxidativa que o óleo do mesocarpo, frente às doses de radiação gama utilizada e o tempo de armazenamento. Corroborando com os dados obtidos nesse trabalho, Camargo et al. (2012) relataram variação na estabilidade oxidativa do óleo de amendoim durante o armazenamento e em relação às doses de radiação gama aplicadas (0; 5; 7,5 e 10 kGy), apresentando diminuição do tempo de indução nos primeiros dias de armazenamennto e com o aumento das doses de radiação e elevação dessa estabilidade ao final do período de armazenamento, o que poderia ser explicado pelo conteúdo de tocoferol que age como antioxidante, inibindo a peroxidação lipídica.

A portaria 225 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2010) determina que o tempo de indução mínimo à perda da estabilidade oxidativa deve ser de 6,0 h para o biodiesel. Apesar desse valor se referir ao biodiesel, é desejável que a matéria-prima também tenha estabilidade oxidativa elevada, uma vez que a qualidade do biodiesel é dependente da qualidade do óleo utilizado (RAMOS, 2006). Quanto menor a estabilidade oxidativa, maior a formação de produtos insolúveis que ocasionam problemas de formação de depósitos em tanques e entupimento do sistema de injeção de combustível do motor (LÔBO et al., 2009).

No tratamento controle o teor de água no óleo é menor que os demais, ao longo do armazenamento. Com a aplicação da radiação gama houve incremento no teor de água do óleo acelerando a atividade metabólica (respiração), levando ao aumento da produção de radicais livres, aumentando a proporção de ácidos graxos livres no óleo e diminuição da estabilidade oxidativa do óleo.

Os teores de água obtidos nesse trabalho, variando de 0,07% a 0,31% para o óleo do mesocarpo e 0,18% para o óleo da amêndoa, estão de acordo com os teores obtidos

por alguns autores, porém, em alguns trabalhos os resultados divergem dos valores obtidos nesse trabalho, essas diferenças podem ser explicadas pelas divergências entre os processos de obtenção do óleo e pelas características intrínsecas dos frutos. Amaral (2007) obteve teores de água em óleos do mesocarpo e da amêndoa de frutos macaúba de 0,886% e 0,275%, respectivamente. Pimenta et al. (2012) encontraram 0,095% e 0,096% de água no óleo do mesocarpo e da amêndoa, respectivamente, de frutos da macaubeira, sendo o teor de água do óleo da amêndoa, menor que o observado nesse trabalho. Melo (2012) obteve níveis elevados de teor de água no óleo do mesocarpo e da amêndoa de frutos de macaúba, com percentuais de 6,04 e 1,99, respectivamente; tais valores estão associados ao processo de extração utilizado. Esse mesmo autor, realizando uma secagem prévia desses óleos e ao transformar esses óleos em biodiesel pelo processo de transesterificação, observou redução no teor de água para 1,13% no biodiesel produzido a partir do óleo do mesocarpo e 0,08% para a amêndoa, quando se utilizou um catalisador básico no processo, essa redução amplia a capacidade de utilização desses óleos vegetais na produção do biodiesel.

Teores de 0,05% de água no biodiesel são permitidos de acordo com a portaria 225 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2010). Tratando-se de óleo vegetal para a produção de biodiesel, a presença de umidade nos óleos pode influenciar negativamente no processo de transesterificação, desativando os catalisadores básicos, liberando moléculas de água diminuindo o rendimento (Amaral, 2007). Altos conteúdos de água podem favorecer reações de hidrólise dos triglicerídeos, transformando-os em ácidos graxos livres, o que contribui para o aumento do índice de acidez, diminuindo a estabilidade à oxidação do óleo através da rancidez hidrolítica (MORETTO & FETT, 1998).

As diferenças obtidas nos percentuais de ácidos graxos saturados e insaturados nessa pesquisa refletem os resultados das análises de qualidade do óleo. Os melhores índices de qualidade obtidos pelo óleo da amêndoa, em relação ao óleo do mesocarpo, está ligado à maior proporção de ácidos graxos saturados presentes nesse óleo, o que confere maior estabilidade química, reduzindo o efeito dos agentes químicos, físicos e biológicos de deterioração do óleo. Em contrapartida, a maior proporção de ácidos graxos insaturados encontrados no óleo do mesocarpo possibilita maiores variações no teor de determinados ácidos graxos, a exemplo do ácido oleico, além de justificar os maiores índices de acidez e menores valores de estabilidade oxidativa para esse óleo.

Coimbra & Jorge (2011), CETEC (1983), também encontraram maiores percentuais de ácidos graxos insaturados no óleo do mesocarpo de frutos de macaúba e maiores teores de ácidos graxos saturados no óleo da amêndoa desses frutos. Diferente dos valores comumente observados, Melo (2010) obteve maiores percentuais de ácidos graxos saturados que ácidos graxos insaturados no óleo do mesocarpo de macaúba.

Além da maior porcentagem de ácidos graxos insaturados presentes no óleo do mesocarpo, em relação ao óleo da amêndoa, as variações de maior intensidade observadas no óleo do mesocarpo podem ter ocorrido devido à quantidade de água presente nessas porções dos frutos. Em alimentos que apresentam elevado teor de água, radicais hidroxila formados após a irradiação dos alimentos podem provocar a oxidação do óleo e alterar a composição de ácidos graxos; já em alimentos secos, essas mesmas reações ocorrem mais lentamente (SANT'ANA & MANCINI-FILHO, 2000; BRITO et al., 2002).

Semelhante ao observado nesse experimento para o óleo do mesocarpo, Gecgel et al. (2011) estudando o óleo de avelãs, nozes, amêndoas e pistache, irradiadas com doses de 0, 1, 3, 5 e 7 kGy, encontraram maiores teores dos ácidos graxos palmítico, oléico, linoleico e esteárico. Esses autores observaram aumento dos teores dos ácidos graxos palmítico e esteárico à medida que se aumentava as doses de radiação, em contrapartida, os teores dos ácidos oléicos e linoleicos diminuíram. Mexis & Kontominas (2009) comprovaram que o efeito da radiação gama nos ácidos graxos palmítico, esteárico, oleico e linoleico foi estatisticamente significativa em castanha de caju. Relatam-se que houve diminuição relativa nos ácidos graxos monoinsaturados após irradiação, os poliinsaturados não foram afetados pela radiação, e a porcentagem relativa de ácidos graxos saturados foi aumentada. Os mesmos pesquisadores concluíram que a radiação provocou decomposição parcial de um pequeno número de triglicéridos. Gölge & Ova (2008) utilizando doses de radiação de 0, 1, 2 e 3 kGy em amêndoas de *Pinus pinea*, não observaram diferenças significativas no teor dos ácidos graxos oleico, palmítico, linoleico e esteárico em relação à dose e ao tempo de armazenamento em estudo.

## 5 - CONCLUSÕES

O tratamento com radiação gama melhora a qualidade visual dos frutos de macaúba nos primeiros 15 dias após a colheita, porém, a deficiência de um mecanismo de controle contra a reinfestação de microrganismos deteriorantes impede a manutenção da qualidade do fruto por um período de tempo maior.

O uso das doses mais elevadas de radiação gama (5,0 e 10,0 kGy) são mais eficientes no controle da velocidade com a qual o processo de acidificação do óleo ocorre, tanto para o óleo do mesocarpo quanto para o óleo da amêndoa. Em contrapartida, há redução do acúmulo natural de óleo, da estabilidade oxidativa e aumento do teor de água do óleo do mesocarpo, o que justifica a realização de estudos posteriores que venham contemplar menores amplitudes entre as doses, de maneira que se possa ajustar uma dose específica em que se tenha maior controle da deterioração e menor interferência no acúmulo de óleo. Esse controle possibilitaria o armazenamento do fruto por um tempo maior e maior eficiência na utilização desses frutos como fonte de óleo vegetal.

O ácido oléico e o ácido láurico são os ácidos graxos mais abundantes no óleo do mesocarpo e da amêndoa, respectivamente. O ácido oléico sofre as maiores variações em seu percentual para ambos os óleos, durante o armazenamento.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP, 2010. Disponível em: [http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2010/fevereiro/ranp%204%20-%202010.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$q=\\$x](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2010/fevereiro/ranp%204%20-%202010.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$q=$x). Acessado em 27/02/13.

AGRIANUAL. **Biocombustível**. p. 25 – 29, 2012.

AL-BACHIR, M. Effect of gamma irradiation on fungal load, chemical and sensory characteristics of walnuts (*Juglans regia* L.). **Journal of Stored Products Research**, v. 40, p. 355–362, 2004.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY (AOCS). **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. 4th Edition, Illinois, 1994.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY (AOCS). **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign, IL, 1997.

AMARAL, F. P. Estudo das características físico-químicas dos óleos da amêndoa e polpa da macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart]. **Dissertação de Mestrado**. Unesp, Botucatu, São Paulo, 2007.

ANJUM, F.; ANWAR, F.; JAMIL, A.; IQBAL, M. Microwave roasting effects on the physico-chemical composition and oxidative stability of sunflower seed oil. **Journal of the American Oils Chemist's Society**, v. 83, p. 777–784, 2006.

BADR, H. M. Effect of gamma radiation and cold storage on chemical and organoleptic properties and microbiological status of liquid egg white and yolk. **Food Chemistry** p. 285–293. 1997, 2006.

BENATO, E. A. Controle de doenças pós-colheita em frutos tropicais. **Summa phytopathologica**, v. 25, n1, p. 90-93, 1999.

BHATTI, I. A.; ASHRAF, S.; SHAHID, M.; ASI, M. R.; MEHBOOB, S. Quality index of oils extracted from g-irradiated peanuts (*Arachis hypogaea* L.) of the golden and bari varieties. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 68, p. 2197–2201, 2010.

BOUAID, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Long storage stability of biodiesel from vegetable and used frying oils. **Fuel**, v. 86(16), p. 2596-2602, 2007.

BRITO, M.S.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; MANCINI-FILHO, J. Effects of irradiation on trans fatty acids formation in ground beef. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 63, p. 337-340, 2002.

CAMARGO, A. C.; VIEIRA, T. M. F. de S.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; ALENCAR, S. M.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Gamma Radiation Induced Oxidation and Tocopherols Decrease in In-Shell, Peeled and Blanched Peanuts. **International Journal of Molecular Science**, v. 13, p. 2827-2845, 2012.

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. **Irradiação de Alimentos**. Belo Horizonte, 2002.

CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. **Relatório Final do Convênio STI– MIC/CETEC**, v. 1, 152 p., 1983.

COIMBRA, M. C., Jorge, N. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. **Food Research International**, v. 44, p. 2139–2142, 2011.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Characterization of the Pulp and Kernel Oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 8, 2011.

EHLERMANN, D.A.E. Current situation of food irradiation in the European Union and forthcoming harmonization. **Radiation Physics and Chemistry**. v. 63, p. 277–279, 2002.

FARIAS, T. M. Biometria e processamento dos frutos da macaúba (*Acrocomia sp*) para a produção de óleos. **Dissertação de Mestrado**. UFMG. Belo Horizonte. 108 p., 2010.

FEITOSA, H. DE O.; CONEGLIAN, R. C. C.; CASTRICINI, A.; SOUSA, C. M.; MARTINS, C. M.; VITAL, H. DE C. Efeito da radiação gama e de fitoregulador na

fisiologia pós-colheita de mamão (*Carica papaya* L.). **Revista Universidade Rural**, Sér. Ci. Vida. Seropédica, RJ, EDUR, v. 25, n. 1, Jan.-Jun., p. 06-11, 2005.

GECGEL, U.; GUMUS, T.; TASAN, M.; DAGLIOGLU, O.; ARICI, M. Determination of fatty acid composition of g-irradiated hazelnuts, walnuts, almonds, and pistachios. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 80, p. 578–581, 2011.

GHINI, R.; BETTIOL, W. Diagnose. In: KIMATI, H. (Ed.). Manual de fitopatologia. Controle cultural. 3 ed. São Paulo: **Agronômica Ceres**, v. 1, 39, p. 786-803, 1995.

GOLGE, E.; OVA, G. The effects of food irradiation on quality of pine nut kernels. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 77, p. 365–369, 2008.

HENDERSON, A.; GALEANO, G; BERNAL, R. Field guide to the palms of the Americas. **Princeton University Press**, 352 p., 1995.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL), Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 4a edição, São Paulo: IMESP, v. 1, p. 116 – 118, 1985.

ISLAM, M.; BEG, M. R. The fuel properties of pyrolysis liquid derived from urban solid wastes in Bangladesh. **Bioresource Technology**, v. 92, n. 2, p. 181-186, 2004.

KASPRZYK, H.; WICHLACZ, K.; BORYSIK, S. The effect of gamma radiation on the supramolecular structure of pine wood cellulose *in situ* revealed by x-ray diffraction. **Electronic Journal of Polish Agricultural Universities**, v. 7(1), 06, 2004.

KILCAST, D. Effect of irradiation on vitamins. London: **Food Chemistry**, v. 49, p. 157-164, 1994.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LALAS, S.; GORTZI, O.; TSAKNIS, J.; SFLOMOS, K. Irradiation Effect on Oxidative Condition and Tocopherol Content of Vegetable Oils. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 8, p. 533-540, 2007.

LIMA, J. R.; GONÇALVES, L. A. G. Avaliação analítica de óleos utilizados em processo de fritura. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 186-192, 1995.

- LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, 2009.
- MATIN, M. A., BHUIYA, A. D., AMIN, M. R., MALEK, M. A. *et al.* Irradiation of onions, pulses and dried fish: process control, storage, test marketing and economic analysis of the process. IAEA – TEC DOC 871, Vienna, Áustria, p. 19-49, 1996. OMS. Wholesomeness of Irradiated Food: (TRS 659). **World Health Organization**, Geneva, Switzerland, 1981.
- MEHER, L. C.; SAGAR, D. V.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 3, p. 248-268, 2006.
- MELO, M. A. M. F. Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais visando a Produção de Biodiesel. **Dissertação de mestrado**. UFPB. João Pessoa, Outubro, 2010.
- MELO, P. G. Produção e Caracterização de Biodieseis Obtidos a Partir da Oleaginosa Macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Uberlândia, 2012.
- MEXIS, S. F., KONTOMINAS, M. G. Effect of g-irradiation on the physicochemical and sensory properties of cashew nuts (*Anacardium occidentale* L.). **LWT-Food Science and Technology**, v. 42, p. 1501–1507, 2009.
- MORETTO, E.; FETT, R. Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais. **Varela Editora e Livraria Ltda.**, São Paulo, 150 p., 1998.
- NAE – Núcleo de assuntos Estratégicos da Presidência da República. Biocombustíveis. **Caderno NAE**, Brasília, n. 2, 233 p., 2005.
- NEVES, L. C.; MANZIONE, R. L.; VIEITES, R. L. Radiação gama na conservação pós-colheita da nectarina (*Prunuspersica* var. nucipersica) frigoconservada.. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 3, p. 676-679, dezembro, 2002.
- NORIMOTO, M. Dielectric properties of wood. **Wood research : bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University**, v. 59/60: p. 106-152, 1976.

PIMENTA, T. V.; ANDRADE, M. H. C.; ANTONIASSI, R. Extração, neutralização e caracterização dos óleos do fruto da macaúba (*Acrocomia aculeata*). **XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Búzios, RJ. 09 a 12 de setembro, 2012.

PIMENTEL, L. D.; DIAS, L. A. dos S.; PAES, J. M. V.; MOTOIKE, S. Y. Diversidade no gênero *Acrocomia* e proposta de subdivisão da espécie *Acrocomia aculeata*. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 81-87, 2011.

RAMOS, L. P. A. Qualidade da Matéria-Prima para a Produção de Biodiesel - Parte 2. 2006. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/colunistas/ramos/qualidade-materia-prima-producao-biodiesel-2.htm>. Acessado em 27/02/2013.

ROLIM, A. A. B. Óleos vegetais: usos gerais. **Informe Agropecuário**, v. 7, n. 82, p. 17-22, 1981.

SÁNCHEZ-BEL, P.; EGEA, I.; ROMOJARO, F. M.; MARTÍNEZ-MADRID, C. Sensorial and chemical quality of electron beam irradiated almonds (*Prunus amygdalus*). **LWT-Food Science and Technology**, v. 41, p. 442–449, 2008.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J. & CHUBA, C. A. M.. Caracterização biométrica, física e química de frutos da palmeira bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 33, n. 3, p. 1023-1028, setembro, 2011.

SANT'ANA, L. S.; MANCINI-FILHO, J. Influence of the addition of antioxidants in vivo on the fatty acid composition of fish fillet. **Food Chemistry**, v. 68, p. 175–178, 2000.

SANTOS, M. R. L. Efeitos da radiação gama do Cobalto-60 em frutos de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). Tese (Doutorado) – **Centro de Energia Nuclear na Agricultura**, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SILVA, I. Uso de processos combinados para o aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba. **Dissertação de Mestrado**. UFRJ. Rio de Janeiro, 99 p., 2009.

URBAIN, W.M. Food irradiation. **London: Academic**. p. 170-215, 1986.

## CAPÍTULO 2

### INFLUÊNCIA DA SECAGEM NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO ÓLEO EM FRUTOS DE MACAÚBA ARMAZENADOS À TEMPERATURA AMBIENTE.

#### RESUMO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) apresenta elevado potencial de utilização como fonte de matéria-prima para o biodiesel. Entretanto, existe carência de conhecimentos em processos que permitam o armazenamento dos frutos, mantendo a qualidade do óleo. O objetivo desse trabalho foi verificar a influência da temperatura e do tempo de secagem na qualidade e no teor de óleo do mesocarpo e da amêndoa de frutos de macaúba durante o período de armazenamento. Os frutos foram submetidos aos tratamentos: 1) frutos sem secagem (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8). Esses frutos foram armazenados por 0, 15, 30, 60 e 120 dias à temperatura ambiente. Houve influência do processo de secagem nas características avaliadas. A secagem dos frutos foi eficiente no controle da acidez do óleo da amêndoa e do mesocarpo ao longo do armazenamento. Entretanto, o acúmulo de óleo e a estabilidade oxidativa foram reduzidos pela secagem. O ácido oleico e o ácido láurico são predominantes no perfil de ácidos graxos do óleo do mesocarpo e da amêndoa, respectivamente. O ácido oleico é passível de maiores variações ao longo do armazenamento.

**Palavras-chave:** *Acrocomia aculeata*, teor de óleo, pós-colheita, biodiesel.

## 1 - INTRODUÇÃO

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), lançado em 2004 pelo governo federal, tem trazido incentivo para o desenvolvimento de pesquisas em plantas oleaginosas. Embora haja uma gama de espécies oleaginosas com potencial de produção de óleo vegetal, poucas são passíveis de imediato aproveitamento para a produção de biodiesel, o que torna necessário a realização de pesquisas com foco no desenvolvimento da cadeia produtiva dessas espécies potenciais (IEA, 2008).

Szpiz et al. (1989), Manfio et al. (2011) e Mota et al. (2011) citam a macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius] como uma fonte promissora para a obtenção de óleo vegetais, levando-se em consideração seu alto teor de óleo no mesocarpo (60 a 70%, em base seca) e na amêndoa (40 a 50%, em base seca) e sua elevada produtividade em relação às culturas anuais, como a soja, responsável pela maior parte do óleo vegetal utilizado na produção de biodiesel no Brasil. A macaúba tem potencial de produção de aproximadamente 5 ton de óleo por ha, podendo ser comparada à palma africana (*Elaeis guinnensis*), que é a cultura agrícola com maior produtividade de óleo por ha cultivado (PIMENTEL et al., 2011).

A macaúba pertencente à família Arecaceae, nativa de florestas tropicais e do Cerrado, mas apresenta populações naturais em praticamente todo o território brasileiro, sendo portanto considerada a palmeira de maior dispersão no Brasil (BONDAR, 1964; SILVA, 1994). Seus frutos podem ser aproveitados de diversas formas, sendo que óleo é o principal produto. No entanto, pouco se sabe sobre a pós-colheita desses frutos. Na prática, o óleo extraído nas indústrias extrativistas apresenta baixa qualidade em função da utilização de frutos deteriorados no processamento. Para contornar essa situação, é necessário que se desenvolva sistemas de tratamentos químicos e/ou físicos para viabilizar o armazenamento dos frutos, a fim de manter a qualidade do óleo e ampliar o período de processamento industrial.

A secagem dos produtos agrícolas é um dos processos físicos de conservação mais utilizados para assegurar a qualidade e estabilidade durante o armazenamento. A diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o período de pós-colheita. A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades.

Assim, a redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem, reduz a velocidade das reações químicas no produto, controlando também o desenvolvimento de microrganismos (CHRISTENSEN & KAUFMANN,1974).

A temperatura de secagem e tempo de exposição do produto à secagem também podem interferir na eficiência do processo e na qualidade do produto. De modo geral, altas temperaturas tendem a mudar a estrutura dos produtos agrícolas, podendo alterar cor, sabor, estabilidade, dentre outros, essas alterações podem ser de maior ou menor intensidade dependendo do tempo de exposição do produto à essa temperatura (BIAGI; VALENTINI; QUEIROZ, 1992; NOGUEIRA, 1992).

Guarte et al. (1996), Pathak et al (1991), Aquino (2009), Zuchi et al. (2009), Cämmerer & Kroh (2009), trabalhando com diversas temperaturas, métodos e tempos de secagem em coco, colza, pequi, mamona e amendoim, respectivamente, verificaram que o processo de secagem manteve a qualidade dos produtos por um período de tempo maior, comprovando a eficiência desse método de conservação para frutos e sementes das oleaginosas estudadas.

Levando-se em consideração a eficiência do processo de secagem na conservação de produtos agrícolas e a necessidade de manter a qualidade do óleo de frutos de macaúba após a colheita, levantou-se a hipótese de que a secagem dos frutos poderia prolongar a vida útil dos frutos. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes combinações entre tempo e temperatura de secagem, na qualidade e quantidade de óleo de frutos de macaúba ao longo do armazenamento à temperatura ambiente.

## **2 - MATERIAL E MÉTODOS**

Os frutos de macaúba foram coletados na Fazenda Capela, município de Acaiaca, Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, Brasil, situada geograficamente numa latitude de 20°45'36"S, longitude de 44°15'W. O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger (1928) é temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa).

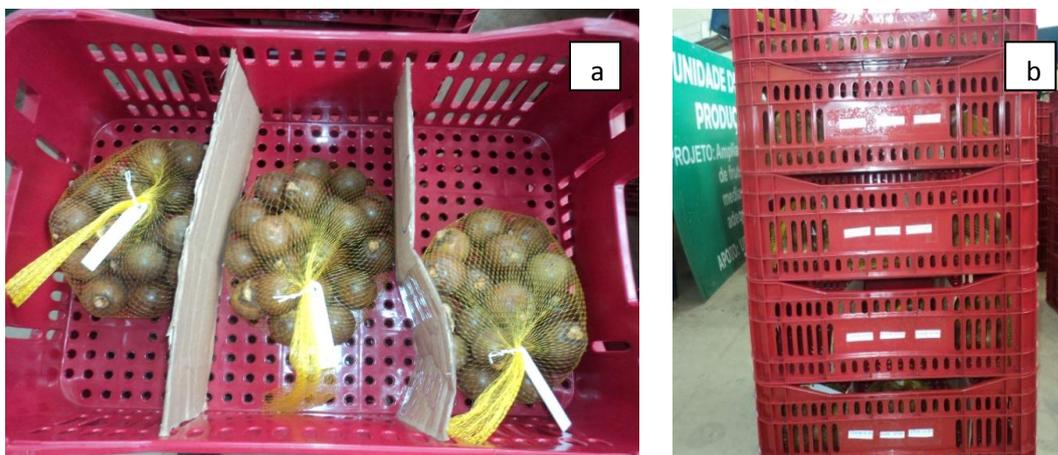
Para compor a amostra foram selecionadas cerca de 20 plantas adultas. As palmeiras foram previamente identificadas, georreferenciadas e os cachos com frutos maduros foram colhidos no dia 19 de janeiro de 2012, período em que os frutos estavam se desprendendo naturalmente dos cachos. Durante a colheita, utilizou-se colchão equipado com redes laterais para amortecer a queda do cacho e minimizar os danos mecânicos nos frutos. Após a colheita, os frutos foram debulhados, selecionados e homogêneos para composição das unidades experimentais (Figura 1).



**Figura 14:** Processo de colheita, debulha e seleção dos frutos para a composição das amostras: a) Corte dos cachos; b) Colchão utilizado para amortecer a queda dos frutos na colheita; c) Ensacamento dos cachos; d) Debulha e seleção dos frutos para composição das amostras.

As unidades experimentais foram separadas por tratamentos e acondicionadas em duas estufas com circulação de ar, a temperaturas de 45°C e 65°C, onde os frutos permaneceram por 4 ou 8 dias, dependendo do tratamento, com exceção do tratamento controle, em que não houve secagem. Após a secagem os frutos foram armazenados em redes plásticas e acomodados em caixas plásticas por 0, 15, 30, 60 ou 120 dias, em um

galpão sob condição ambiente (Figura 2). Completando-se o período de armazenamento, procedeu-se o processamento dos frutos para avaliação do teor e qualidade do óleo no Laboratório de Biotecnologia, Melhoramento Vegetal e Pós-colheita de Macaúba. A primeira avaliação foi realizada no dia 0 e a 5ª e última foi aos 120 dias de armazenamento.



**Figura 15:** Armazenamento dos frutos: a) Unidades experimentais; b) Caixas de armazenamento.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, num esquema fatorial duplo 5 x 5, com 4 repetições, totalizando 100 unidades experimentais. O primeiro fator foi a combinação da temperatura e do tempo de secagem em estufa com circulação de ar, que os frutos foram submetidos: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d). O segundo fator correspondeu ao tempo de armazenamento pós-secagem que os frutos foram submetidos.

## 2.1 - Extração do óleo

Os frutos foram processados em laboratório. Primeiramente, rompeu-se o epicarpo (casca) do fruto utilizando-se uma morsa. Em seguida os frutos foram despulpados manualmente com o auxílio de facas, separando-se o mesocarpo do endocarpo. O mesocarpo e amêndoa foram levados a estufa, por 24 h e 48 h, respectivamente, a 65°C, com o objetivo de retirar o excesso de água. Para prensagem e extração do óleo do mesocarpo e da amêndoa, utilizou-se uma prensa hidráulica com

capacidade de 15 t de força. Os óleos foram acondicionados em frascos âmbar de 25 mL e congelados em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$ , com a finalidade de evitar a degradação do óleo por ação da luz e temperatura (Figura 3).



**Figura 16:** a) Rompimento do epicarpo (casca) dos frutos; b) Frutos descascados; c) Despolpamento; d) Extração do óleo e acondicionamento em frascos âmbar, envoltos por papel alumínio.

## 2.2 - Características avaliadas

### 2.2.1 – Teor de umidade do fruto

Após a colheita e composição das unidades experimentais, 9 amostras independentes, sendo três para cada temperatura de secagem, com 12 frutos cada, foram pesadas e, em seguida, colocadas em estufas a  $45^{\circ}\text{C}$  e a  $65^{\circ}\text{C}$  e pesados aos 0, 4 e 8 dias de secagem, representando cada um dos tratamentos. As amostras permaneceram nas estufas até peso constante. A umidade foi determinada pelo método gravimétrico em

base úmida. O objetivo dessa análise foi caracterizar a umidade que os frutos foram submetidos ao armazenamento em cada um dos tratamentos.

### 2.2.2 - Teor de óleo

O teor de óleo refere-se ao percentual total de material graxo presente na matéria seca da amostra em questão (polpa e amêndoa). Do total de 24 frutos presente em cada amostra, 3 foram destinados para a quantificação do óleo presente. Esses frutos foram congelados até a realização da análise. Para determinação do teor de óleo do mesocarpo e da amêndoa utilizou-se a metodologia adaptada 032 / V IAL (1985). As amostras foram secas em estufa, trituradas, colocadas em cartucho composto de papel filtro e o óleo extraído em extrator de óleos e gorduras do tipo “Soxleth”, por meio do solvente orgânico *n-hexano*.

Durante o processo de extração, as amostras permaneceram mergulhadas no solvente por 2 horas à 80°C. Após o cozimento procedeu-se a lavagem das amostras com o hexano acumulado no condensador, em temperatura de 110°C. Este processo foi realizado por seis vezes consecutivas. Finalizando a extração, os cartuchos foram levados para uma estufa, com circulação forçada de ar, a 65°C por 24 h, para evaporar o excesso de *n-hexano* na amostra. Em seguida, procedeu-se a pesagem dos cartuchos contendo a amostra em balança analítica. O teor de óleo foi calculado pela equação:

$$TO(\%) = \frac{(P1 - P2)}{(P1 - P)} * 100$$

em que:

TO(%) = teor de óleo em porcentagem;

P = peso do cartucho em g;

P1 = peso do cartucho contendo amostra antes da extração do óleo em g;

P2 = peso do cartucho contendo amostra após a extração do óleo em g.

### 2.2.3 - Índice de acidez

De acordo com Islam & Beg (2004) o índice de acidez é uma característica dependente da natureza, pureza, qualidade do material, condições de processamento e

conservação do produto em análise. O valor obtido por essa análise expressa a qualidade do óleo e o seu estado de conservação.

O índice de acidez é determinado pela quantidade de base necessária para neutralizar os ácidos graxos livres presentes nos óleos e gorduras. Esse índice foi obtido seguindo o método Ca 5a – 40 (AOCS, 1994). Pesou-se cerca de 2 g das amostras de óleo do mesocarpo e amêndoa do fruto em Erlenmeyers de 125,0 mL; em seguida adicionou-se 25,00 mL da solução neutra de éter etílico–álcool (2:1). Adicionou-se duas gotas de indicador fenolftaleína 0,4% e realizou a titulação com solução padronizada de NaOH 0,1 M.

O índice de acidez foi calculado por meio da equação:

$$IA = \left( 5,61 \frac{V_a f}{m} \right)$$

onde:

I.A: índice de acidez em mg KOH.g<sup>-1</sup>; o resultado obtido foi expresso em porcentagem de ácido oleico, para isso, dividiu-se o resultado do I.A em mg KOH.g<sup>-1</sup> por 1,99.

V<sub>a</sub>: volume da solução de hidróxido de sódio 0,1 M, padronizada, gasto na titulação da amostra, em mL;

f: fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 M, encontrado com a padronização, adimensional;

m: massa da amostra, em g.

Para o óleo da amêndoa, a solução de NaOH utilizada foi de 0,01 M, devido à baixa acidez do óleo, objetivando aumentar a precisão da análise. Para efeito de cálculo do índice de acidez, a constante utilizada no cálculo passou a ser 0,561.

#### **2.2.4 - Estabilidade oxidativa**

A estabilidade oxidativa refere-se à capacidade do óleo vegetal em resistir às reações de oxidação dos lipídios que ocorre quando o oxigênio atmosférico ou aquele

que está dissolvido no óleo reage com ácidos graxos insaturados presentes (LIMA e GONÇALVES, 1995).

A estabilidade oxidativa foi obtida através da metodologia proposta pela *American Oil Chemistry Society* (AOCS, 1997), utilizando-se o equipamento 873 *Biodiesel Rancimat*® - Metrhom.

Pesou-se  $2,50 \pm 0,01$  g de óleo do mesocarpo e da amêndoa de frutos de macaúba em um tubo de ensaio. Em seguida os tubos foram levados para o Rancimat. Esse aparelho foi programado para operar a 110°C, com velocidade de fluxo de ar de 10,0 L.h<sup>-1</sup>. A oxidação foi induzida pela passagem de ar pela amostra, mantida à temperatura constante. Os produtos voláteis da reação foram coletados em água destilada e determinados pela mudança na condutividade elétrica desta. Esses produtos são expressos através de uma curva. Quando um pico de condutividade elétrica for registrado, o aparelho determina o tempo de indução, que caracteriza a perda da estabilidade oxidativa, é calculado pela intersecção de duas linhas: a tangente de inclinação e a outra tangente nivelada à curva. Assim, quanto menor o tempo de indução, menor a estabilidade oxidativa do óleo.

#### **2.2.5 - Teor de água no óleo**

O teor de água dissolvida no óleo das amostras foi realizado com base na norma ASTM D 6304, por meio de um titulador automático modelo 870 *KF Titrino plus* - Metrhom. A solução de Karl Fischer foi utilizada como solução titulante e para a solubilização das amostras utilizou-se uma mistura contendo metanol e clorofórimo na proporção de 1:1 (v/v).

Após a calibração e condicionamento do titulador, pesou-se aproximadamente 2,0 g de óleo de cada amostra e injetou no vaso de titulação, contendo cerca de 25 ml da mistura dos solventes, a massa pesada é registrada no equipamento, o ponto final da titulação é identificado por um eletrodo de platina, fornecendo o aparelho automaticamente o teor de umidade da amostra em porcentagem.

### **2.2.6 - Perfil de ácidos graxos**

O perfil de ácidos graxos refere-se à composição percentual de ácidos que compõem o óleo vegetal. Para esta característica, foi feita apenas uma caracterização das análises no início do experimento (aos 0 dias de armazenamento) e no final (aos 120 dias de armazenamento). Assim, uma amostra de cada tratamento da primeira e última avaliação foram caracterizadas de acordo com o seu perfil graxo.

O óleo vegetal, composto de mono, di e triglicerídeos foi derivatizado a fim de separar o glicerol das cadeias de ácidos graxos, conforme descrito a seguir: adicionou-se em tubos de ensaio 100 µl de óleo do mesocarpo ou da amêndoa de frutos de macaúba, 2 ml de ácido sulfúrico a 1% em metanol. Os tubos foram fechados e a mistura aquecida em banho-maria por 1 h a 70°C. Os tubos foram esfriados sob água corrente, 2 ml de água destilada foram adicionados em cada tubo. Adicionalmente fez-se duas extrações com 3 ml de hexano, separando as fases com pipeta de Pasteur. À fase orgânica sobrenadante extraída, adicionou-se sulfato de sódio anidro com a finalidade de eliminar a umidade, após 1 min. transferiu-se 0,5 ml da solução para eppendorfs de 2 ml, de onde se retirou 1 µl para leitura no cromatógrafo.

As amostras foram injetadas em cromatógrafo à gás, modelo GC 2010 Plus (Shimadzu), equipado com injetor SPLIT, coluna capilar Restek RT - 2560 de 100 m de comprimento e detectores de ionização de chama (FID). O método utilizado de injeção, consistiu na temperatura do injetor de 220°C, razão split de 1:20; temperatura inicial da coluna de 150°C durante 5 minutos; após esse tempo a temperatura é elevada para 180°C em 10 minutos numa taxa de aquecimento de 3°C.min<sup>-1</sup>; por último, a temperatura será elevada a 220°C, novamente à taxa de 3°C.min<sup>-1</sup>, permanecendo nessa temperatura por 30 minutos. A temperatura do detector FID utilizada foi de 240°C.

### **2.3 - Análise estatística**

Os dados foram analisados no software estatístico Sisvar versão 5.3. Foram realizadas análises de variância, análise de regressão para o tempo de armazenamento e teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para os tratamentos de temperatura e tempo de secagem. (O quadro de resumo da análise de variância encontra-se no ANEXO C).

### 3 - RESULTADOS

#### 3.1 - Umidade

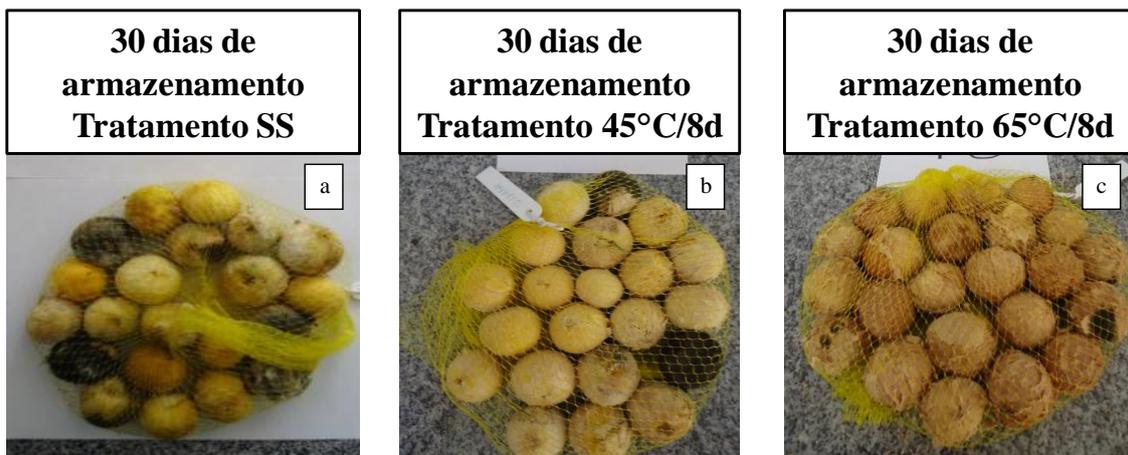
Após os tratamentos de secagem os frutos foram conduzidos ao armazenamento com as respectivas umidades mostradas na Tabela 1. O tratamento 65°C/8d apresentou o menor teor de umidade nos frutos após a secagem, seguido pelos tratamentos 65°C/4d, 45°C/8d, 45°C/4d e SS, em ordem crescente de umidade.

**Tabela 1:** Umidade dos frutos ao serem submetidos ao armazenamento. Sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Tratamento	Umidade (%)
SS	48,67
45°C/4d	37,18
65°C/4d	17,24
45°C/8d	19,62
65°C/8d	8,24

#### 3.2 - Características visuais

A secagem dos frutos influenciou a qualidade e o processo de deterioração dos frutos, apresentando diferenças visuais na coloração e contaminação por microrganismos nos frutos, que foi comprovado pelas análises de qualidade e teor de óleo. Os frutos do tratamento SS deterioraram numa velocidade superior aos frutos secados em estufa, devido à maior presença de microrganismos deteriorantes. Os frutos secados em estufa apresentaram coloração amarronzada em comparação ao tratamento SS. A presença de microrganismos contaminantes nesses frutos era menor, o que possibilitou a preservação da qualidade visual desses frutos por mais tempo. Sendo que o surgimento de infecções microbiológicas nos tratamentos com os menores teores de umidade, 65°C/4d e 65°C/8d, só foram identificadas no final do período de armazenamento (Figura 4).

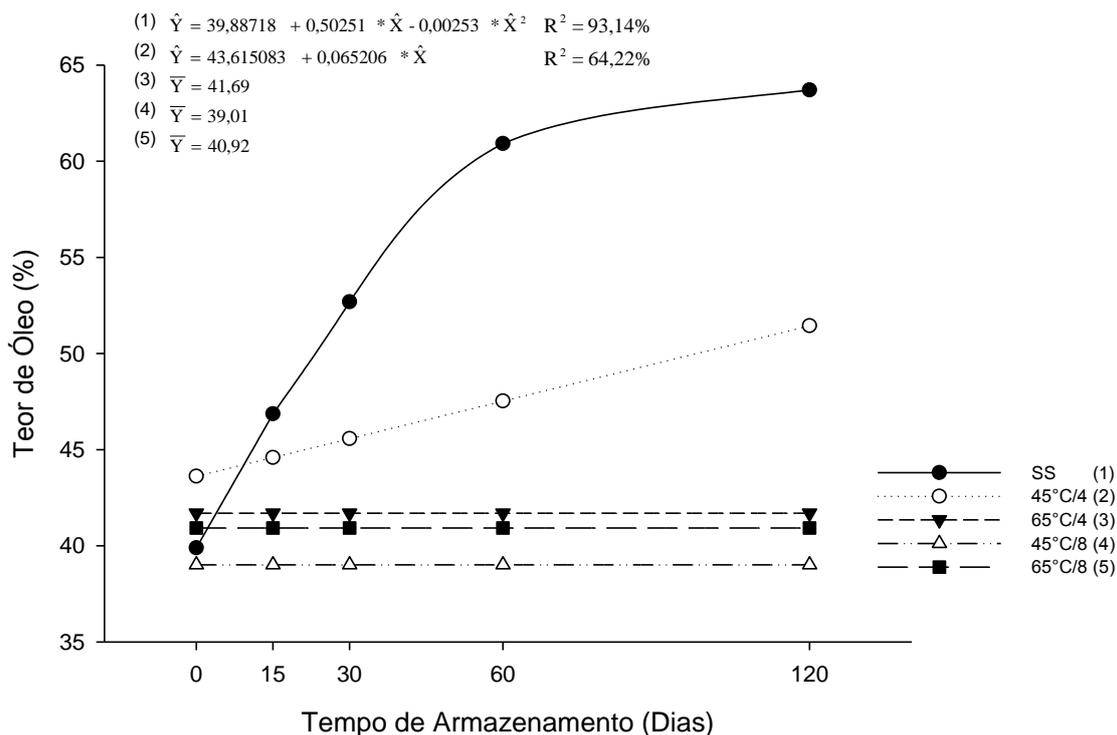


**Figura 17:** Características visuais dos frutos de macaúba aos 30 dias de armazenamento: a) sem secagem dos frutos (SS); b) secagem a 45°C por 8 dias; c) secagem a 65°C por 8 dias.

### 3.3 - Teor de óleo no mesocarpo

Houve interação significativa entre as combinações de temperatura e tempo de secagem e o tempo de armazenamento. Após a colheita dos frutos verificou-se incremento no teor de óleo do mesocarpo. Esse incremento foi mais expressivo no tratamento SS. Avaliando-se a progressão do acúmulo de óleo ao longo do armazenamento, para cada tratamento de secagem, observou-se comportamento quadrático e linear para os tratamentos SS e 45°C/4d, atingindo aos 120 dias de armazenamento teores estimados de 63,70% e 51,44% de óleo, respectivamente. Os tratamentos 65°C/4, 45°C/8 e 65°C/8, não se ajustaram a um modelo matemático, evidenciando o não acúmulo de óleo nesses tratamentos, sendo plotados no gráfico apenas as médias observadas desses tratamentos (Figura 5).

Com base no gráfico, pode-se afirmar que a influência exercida pelo tempo de armazenamento no acúmulo de óleo foi mais pronunciada no tratamento SS, já os tratamentos 65°C/4d, 45°C/8d e 65°C/8d não foram influenciados por esse fator.



**Figura 18:** Efeito do tempo de armazenamento no teor de óleo (%) do mesocarpo para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Nenhuma distinção entre os tratamentos de secagem foi observada para os dias 0 e 15 de armazenamento. Diferenças entre as médias desses tratamentos só foram consideradas a partir dos 30 dias de armazenamento dos frutos. Nessas três últimas avaliações, o tratamento SS mostrou-se mais eficiente em acumular óleo no mesocarpo dos frutos que os demais (Tabela 2).

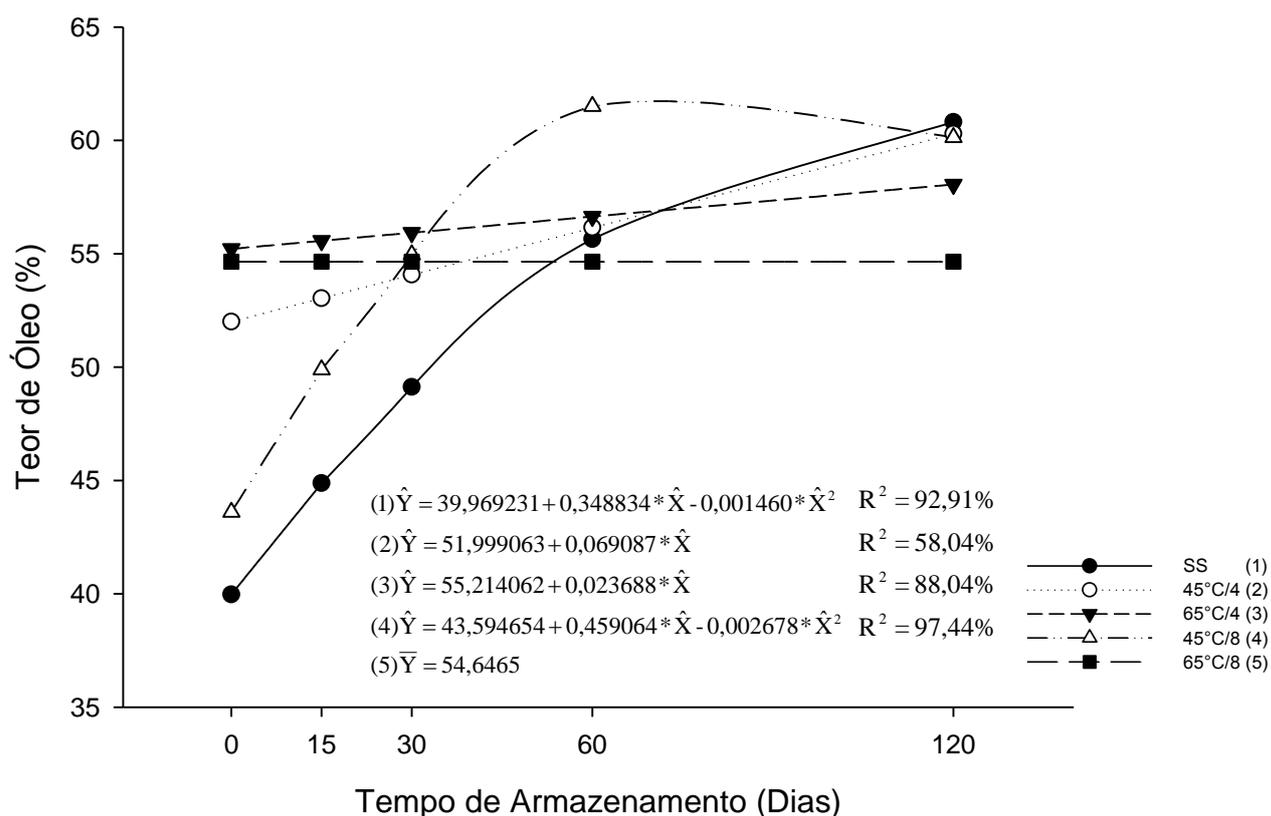
**Tabela 2:** Valores médios observados no teor de óleo (%) do mesocarpo para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)									
	0		15		30		60		120	
SS	43,22	ns	40,43	ns	55,02	a	61,97	a	63,39	a
45°C/4d	44,59	ns	39,32	ns	47,62	ab	51,74	ab	49,48	b
65°C/4d	41,81	ns	39,14	ns	42,77	bc	42,11	bc	42,62	b
45°C/8d	36,57	ns	40,80	ns	35,33	c	43,33	bc	39,01	b
65°C/8d	42,74	ns	38,05	ns	44,44	abc	35,01	c	44,36	b

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.3 - Teor de óleo na amêndoa

Houve efeito significativo dos diferentes tratamentos de secagem, associados a tempos de armazenamento distintos, para o teor de óleo na amêndoa. Diferentes progressões no teor de óleo foram observadas entre os tratamentos no decorrer do armazenamento. Os tratamentos SS e 45°C/8d seguiram um modelo quadrático para essa variável no armazenamento, apresentando maior influência do tempo de armazenamento no acúmulo de óleo. Comportamento linear foi obtido para os tratamentos 45°C/4d e 65°C/8d. Os tratamentos com maiores teores de umidade, SS, 45°C/4d e 45°C/8d, acumularam mais óleo, chegando ao final do armazenamento com teores de óleo estimados semelhantes, em torno de 60%. O tratamento 65°C/8d, com menor teor de umidade, não se ajustou a esses modelos, mostrando que não houve efeito do tempo de armazenamento para esse tratamento (Figura 6).



**Figura 19:** Efeito do tempo de armazenamento no teor de óleo (%) da amêndoa para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Diferenças médias no teor de óleo, entre os tratamentos de secagem, foram observadas desde a primeira avaliação. Até aos 30 dias de armazenamento, o tratamento SS apresentou os menores teores de óleo quando comparado com os demais. Aos 120 dias, apenas o tratamento 65°C/8d diferiu dos demais, apresentando menor teor de óleo, 54,62% (Tabela 3).

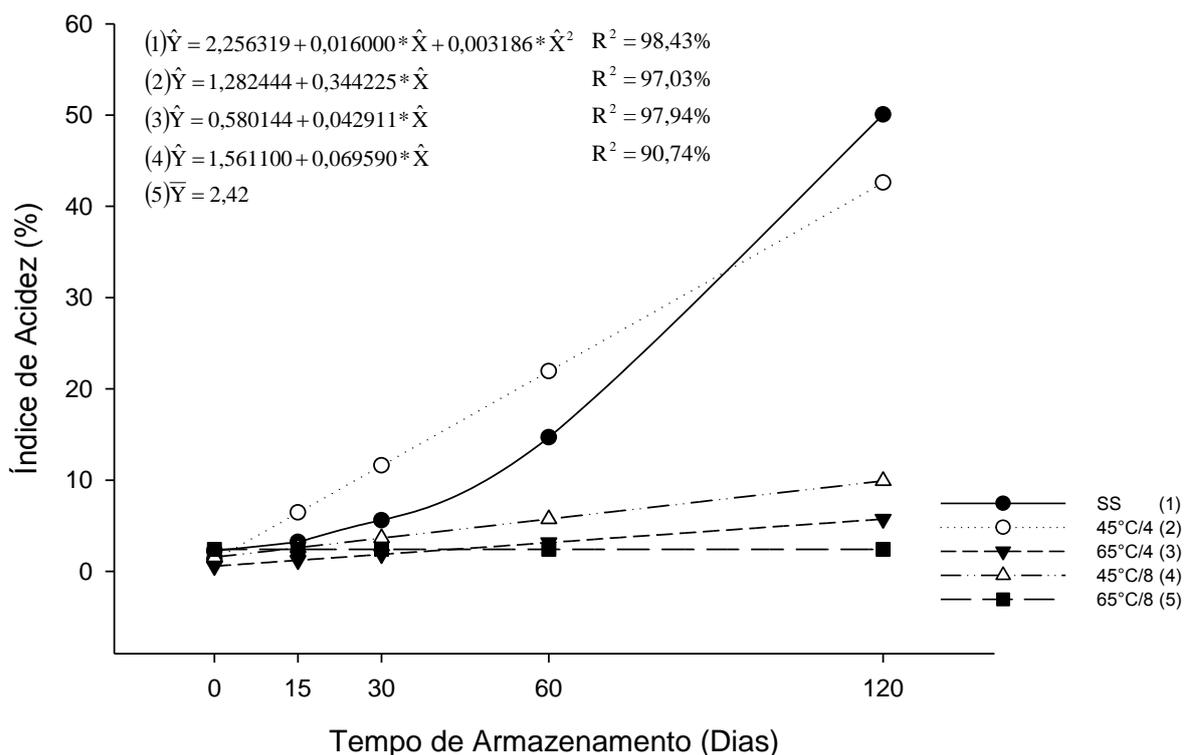
**Tabela 3:** Valores médios observados no teor de óleo (%) da amêndoa, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)									
	0		15		30		60		120	
SS	43,38	b	39,73	d	49,03	c	57,96	ab	60,31	a
45°C/4d	57,48	a	47,43	c	50,90	bc	59,75	a	59,98	a
65°C/4d	55,35	a	54,78	a	56,81	a	56,42	b	58,04	a
45°C/8d	42,30	b	50,53	b	57,28	a	59,48	b	60,48	a
65°C/8d	55,29	a	53,84	a	53,63	a	55,86	b	54,62	b

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.4 - Índice de acidez no óleo do mesocarpo

Houve interação significativa entre os tratamentos de secagem e o tempo de armazenamento para o índice de acidez. Os tratamentos 45°C/8d, 65°C/4d e 45°C/8d apresentaram comportamento linear crescente, marcados pela baixa intensidade de interferência do tempo de armazenamento sobre essa variável. Menores umidades apresentaram menores índices de acidez. O tratamento SS seguiu um comportamento quadrático crescente para essa variável, sendo o mais influenciado pelo tempo de armazenamento e atingindo maiores índices de acidez aos 120 dias de armazenamento, estimado em 50,06%. O tempo de armazenamento exerceu maior influência sobre o tratamento 45°C/4d até aos 60 dias, após esse período, o tratamento SS foi o que apresentou maior influência do tempo de armazenamento na elevação do índice de acidez. O tratamento 65°C/8d não se ajustou a nenhum desses modelos, mostrando que o índice de acidez manteve-se estável ao longo do armazenamento, com valor médio de 2,42%, assegurando a eficiência desse tratamento em evitar a progressão da acidez (figura 7).



**Figura 20:** Efeito do tempo de armazenamento no índice de acidez (% de ácido oléico) do óleo do mesocarpo para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Na primeira avaliação não houve diferença entre os tratamentos de secagem para o índice de acidez. Aos 15 dias de armazenamento, o tratamento 45°C/4d (%) diferiu-se dos demais, apresentando maiores índices de acidez. A partir dos 30 dias de armazenamento, os tratamentos SS e 45°C/4d (%) apresentaram os maiores incrementos no índice de acidez, atingindo valores observados de 11,41% e 8,23%, respectivamente, aos 30 dias. Em contrapartida, os tratamentos com menores teores de umidade, 65°C/4d e 65°C/8d, mantiveram os menores índices de acidez no decorrer do armazenamento, 6,05% e 3,24% aos 120 dias de armazenamento (Tabela 4).

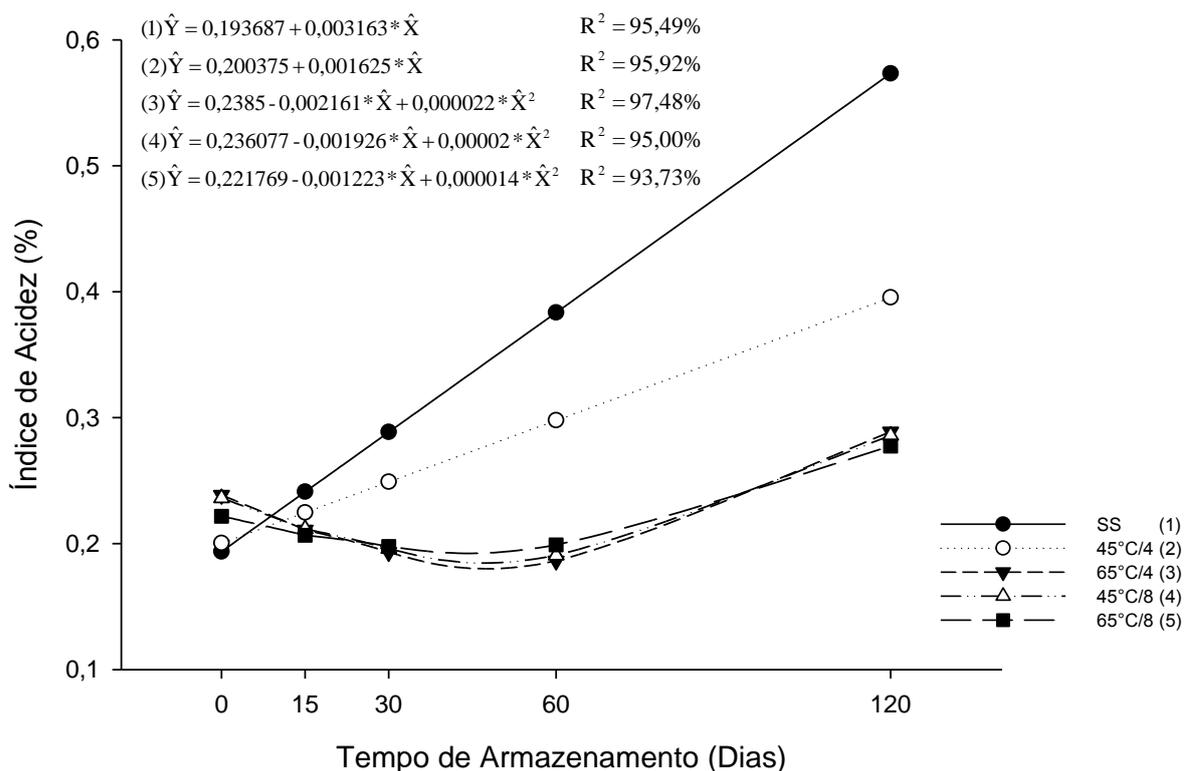
**Tabela 4:** Valores médios observados no índice de acidez (% de ácido oleico) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)									
	0		15		30		60		120	
SS	0,84	ns	2,05	b	11,41	a	10,84	b	50,68	a
45°C/4d	0,95	ns	5,77	a	8,23	a	28,86	a	40,06	b
65°C/4d	1,02	ns	1,04	b	1,91	b	2,54	c	6,05	cd
45°C/8d	0,77	ns	1,32	b	4,80	b	7,83	b	8,74	c
65°C/8d	2,03	ns	2,01	b	2,33	b	2,46	c	3,24	d

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.5 - Índice de acidez no óleo da amêndoa

Houve interação significativa entre os tratamentos de secagem e o tempo de armazenamento. O aumento da acidez apresentou diferentes comportamentos ao longo do armazenamento, mostrados pela regressão. Comportamento linear, na elevação do índice de acidez do óleo da amêndoa, foi observado para os tratamentos SS e 45°C/4d, sendo que a influência do tempo de armazenamento foi maior no tratamento SS que no 45°C/4d. Os tratamentos com teores de umidade menores que os primeiros, 65°C/4d, 45°C/8d e 65°C/8d, seguiram um modelo quadrático de variação desse índice. Além disso, esses tratamentos tiveram pequeno incremento no índice de acidez no decorrer do armazenamento, na ordem de 0,05% em relação à primeira avaliação, apresentando pouca influência do tempo de armazenamento na acidez do óleo da amêndoa (Figura 8).



**Figura 21:** Efeito do tempo de armazenamento no índice de acidez (% de ácido oléico) do óleo da amêndoa para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4); 4d) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

O óleo da amêndoa mostrou-se mais estável que o óleo do mesocarpo. Ao se avaliar o efeito de cada tratamento de secagem para cada tempo de armazenamento, não se verificou diferenças entre os tratamentos de secagem, no índice de acidez, até aos 30 dias de armazenamento. Aos 60 e 120 dias de armazenamento, o tratamento SS apresentou os maiores valores de índice de acidez. Já os tratamentos 65°C/4d, 45°C/8d e 65°C/8d não diferiram entre si e apresentaram menores incrementos no índice de acidez. Situação intermediária foi observada para o tratamento 45°C/4d (Tabela 5).

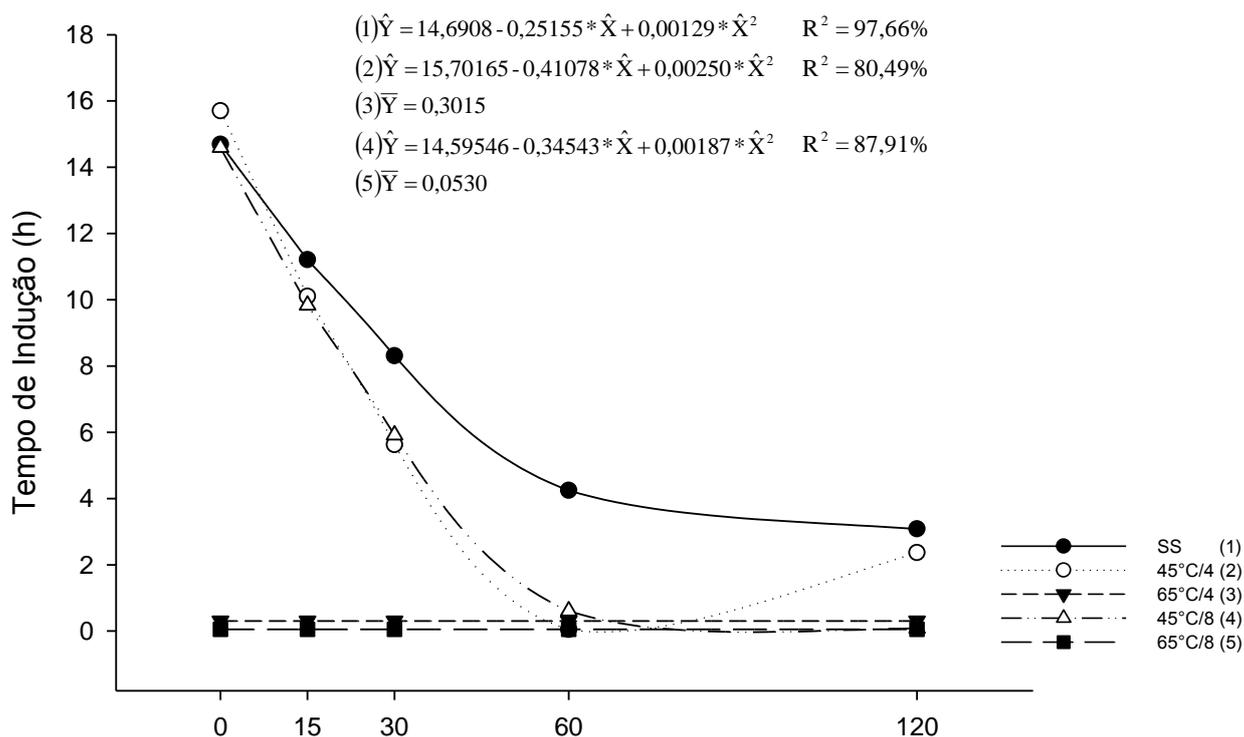
**Tabela 5:** Valores médios observados no índice de acidez (% de ácido oleico) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Tratamento	Tempo de armazenamento (dias)									
	s	0	15	30	60	120				
SS	0,25	ns	0,21	ns	0,23	ns	0,42	a	0,57	a
45°C/4d	0,23	ns	0,22	ns	0,22	ns	0,31	b	0,40	b
65°C/4d	0,24	ns	0,22	ns	0,18	ns	0,20	c	0,29	c
45°C/8d	0,23	ns	0,23	ns	0,18	ns	0,20	c	0,29	c
65°C/8d	0,21	ns	0,22	ns	0,21	ns	0,19	c	0,28	c

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.6 - Estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo

Houve interação significativa entre os tratamentos de secagem e o tempo de armazenamento para a estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo. A variação na estabilidade oxidativa ao longo do armazenamento seguiu um modelo quadrático para os tratamentos SS, 45°C/4d e 45°C/8d, correspondendo aos tratamentos mais influenciados pelo tempo de armazenamento. Os tratamentos com maiores temperaturas e menor teor de umidade, 65°C/4d e 65°C/8d, não se ajustaram a um modelo matemático, apresentando valores bastante reduzidos, menores que 0,95 h, desde a primeira avaliação, mostrando que a estabilidade do óleo foi prejudicada logo na primeira avaliação e não foi influenciada pelo tempo de armazenamento (Figura 9).



**Figura 22:** Efeito do tempo de armazenamento na estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Os tratamentos 65°C/4d e 65°C/8d apresentaram médias de tempo de indução à perda da estabilidade oxidativa menores que os demais em todas as épocas de avaliação. Aos 0, 15 e 30 dias, os tratamentos com maiores estabilidade oxidativa foram 45°C/4d, 45°C/8d e SS, respectivamente. Aos 60 dias não houve diferença entre os tratamentos 65°C/4d, 45°C/8d e 65°C/8d, que apresentaram menor estabilidade oxidativa quando comparados com os tratamentos SS e 45°C/4d. Não se verificou diferenças entre as médias dos tratamentos de secagem aos 120 dias de armazenamento (Tabela 6).

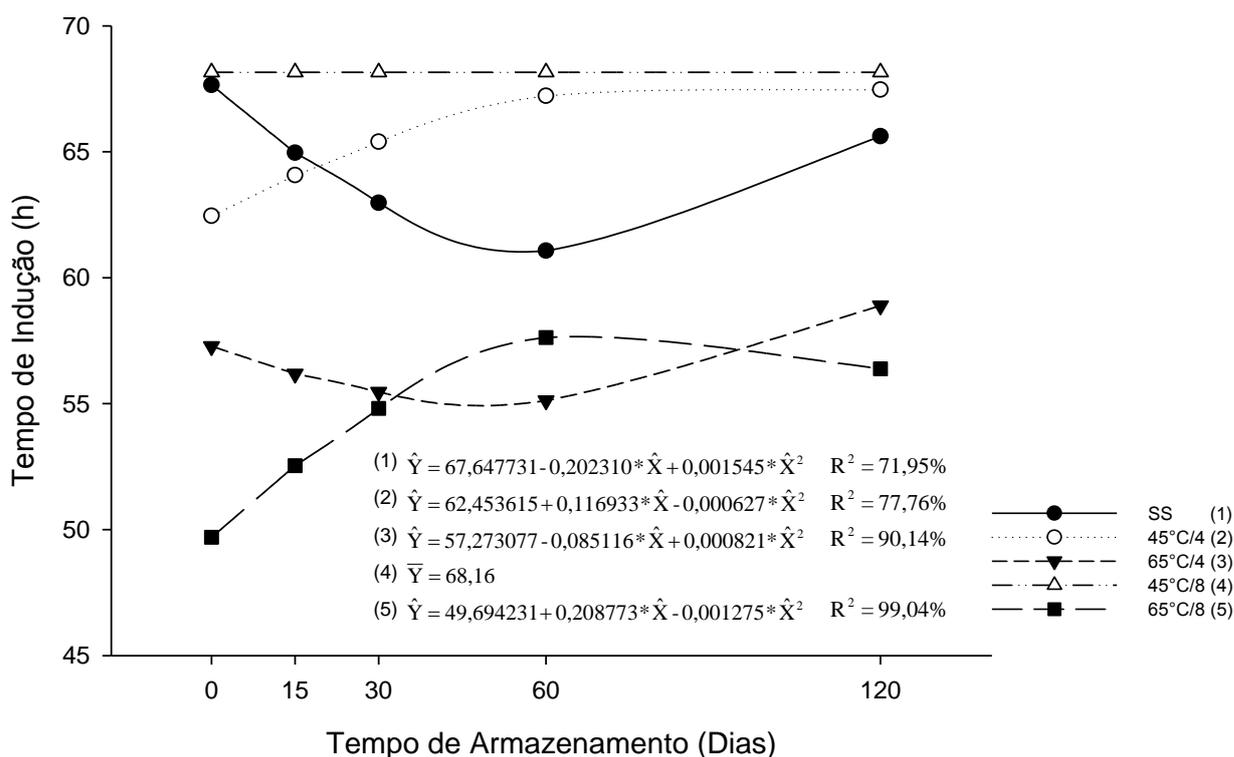
**Tabela 6:** Valores médios observados na estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)									
	0		15		30		60		120	
SS	15,67	b	10,37	b	7,16	a	5,47	a	2,86	ns
45°C/4d	20,55	a	3,90	c	3,55	b	4,32	a	1,53	ns
65°C/4d	1,26	c	0,06	d	0,06	c	0,05	b	0,08	ns
45°C/8d	12,38	b	15,16	a	2,52	bc	0,82	b	0,16	ns
65°C/8d	0,03	c	0,05	d	0,05	c	0,06	b	0,08	ns

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.7 - Estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa

Assim como observado na estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo, a interação entre os tratamentos de secagem e o tempo de armazenamento foi significativa. Com exceção do tratamento 45°C/8d, todos seguiram um modelo quadrático de variação da estabilidade oxidativa ao longo do armazenamento. Apenas o tratamento 45°C/8d não seguiu o modelo, apresentando valores médios de 68,16 h no decorrer do armazenamento, sem influência do tempo de armazenamento na estabilidade oxidativa do óleo da amêndoa (Figura 10).



**Figura 23:** Efeito do tempo de armazenamento na estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Os tratamentos 65°C/4d e 65°C/8d foram os mais afetados pela temperatura e tempo de secagem, apresentando menores valores de tempo de indução à perda da estabilidade oxidativa em todas as épocas de armazenamento. O tratamento 45°C/8d mostrou-se superior em todas as épocas de avaliação, não diferindo dos tratamentos SS e 45°C/4d aos 120 dias de armazenamento (Tabela 7).

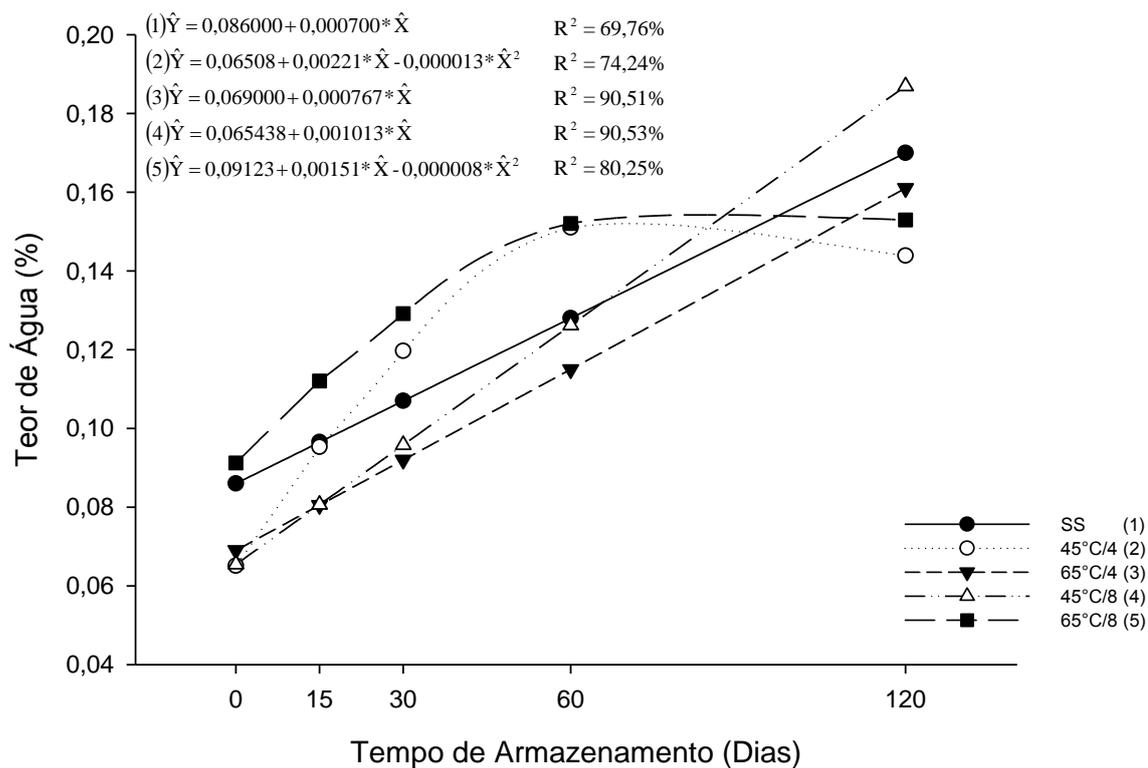
**Tabela 7:** Valores médios observados na estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)									
	0		15		30		60		120	
SS	70,05	a	62,54	b	60,81	b	63,75	b	65,12	a
45°C/4d	62,95	b	61,91	b	67,85	a	66,32	b	67,57	a
65°C/4d	57,44	c	55,31	c	56,55	c	54,69	d	58,94	b
45°C/8d	69,27	a	69,83	a	65,80	a	69,54	a	66,35	a
65°C/8d	49,65	d	53,00	c	54,13	c	57,94	c	56,34	b

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.8 - Teor de água no óleo do mesocarpo

Houve interação significativa entre os tratamentos de secagem e o tempo de armazenamento para o teor de água no óleo. Os tratamentos 45°C/4d e 65°C/8d seguiram modelos quadráticos de incremento no teor de água do óleo do mesocarpo, apresentando maior influência do tempo de armazenamento para essa variável. Já nos tratamentos SS, 65°C/4d e 45°C/8d, o modelo linear crescente foi o que mais se ajustou aos dados (Figura 11). Houve aumento no teor de água ao longo do armazenamento para todos os tratamentos de secagem.



**Figura 24:** Efeito do tempo de armazenamento no teor de água (%) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

O tratamento SS apresentou os maiores teores de água no óleo do mesocarpo no dia 0 de armazenamento. Aos 15 e 120 dias de armazenamento não se observou diferenças entre os tratamentos. Os tratamentos 45°C/4d e 65°C/8d apresentaram maiores teores de água apresentados aos 30 e 60 dias (Tabela 8).

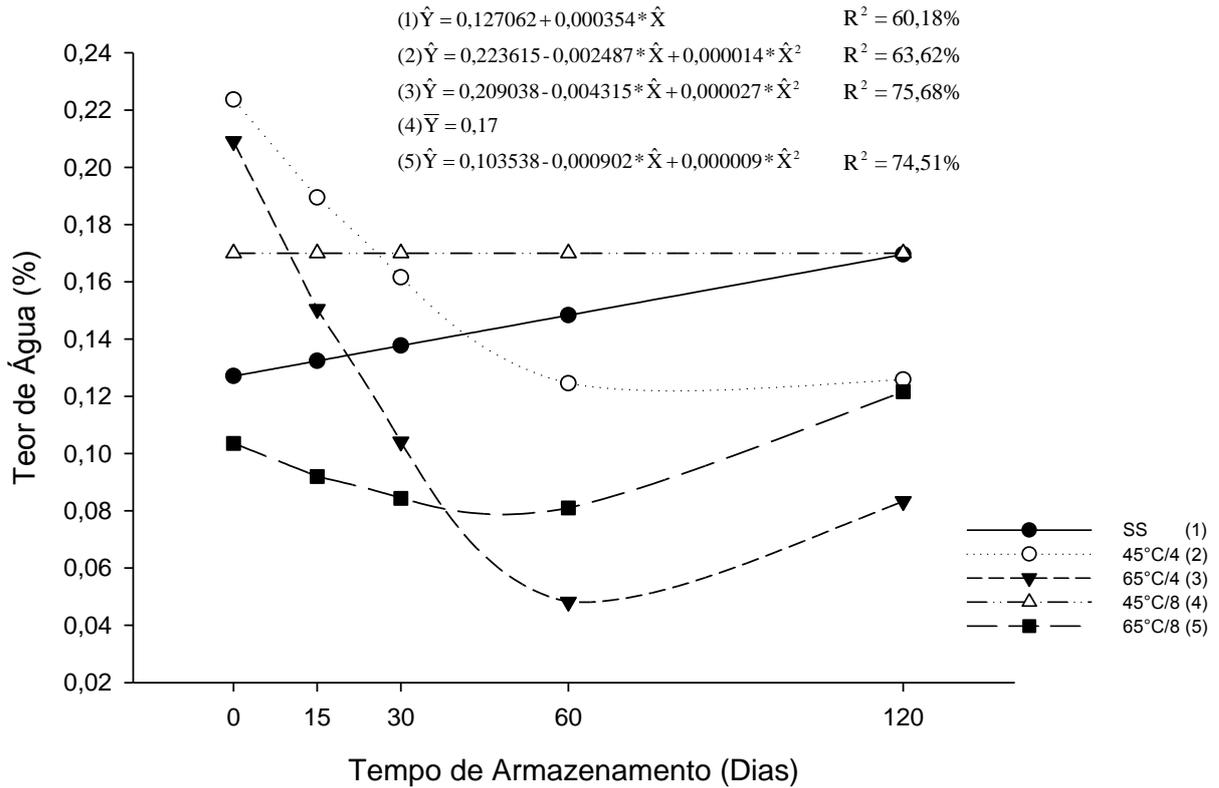
**Tabela 8:** Valores médios observados no teor de água (%) do óleo do mesocarpo, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)									
	0		15		30		60		120	
SS	0,11	a	0,07	ns	0,08	c	0,18	ab	0,16	ns
45°C/4d	0,10	ab	0,06	ns	0,10	bc	0,19	a	0,14	ns
65°C/4d	0,08	ab	0,06	ns	0,09	bc	0,14	bc	0,16	ns
45°C/8d	0,06	b	0,06	ns	0,14	ab	0,12	c	0,18	ns
65°C/8d	0,09	ab	0,09	ns	0,16	a	0,14	abc	0,16	ns

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.9 - Teor de água no óleo da amêndoa

Houve interação significativa entre os tratamentos de secagem e o tempo de armazenamento para o teor de água no óleo da amêndoa. O tratamento SS foi o único que apresentou um ajuste linear aos dados, mostrando menor interferência do tempo de armazenamento que os demais tratamentos. Os tratamentos 45°C/4d, 65°C/4d e 65°C/8d apresentaram comportamento quadrático na variação do teor de água no óleo da amêndoa no período de armazenamento, tendendo a diminuir até aos 60 dias de armazenamento. O tratamento 45°C/8d não foi influenciado pelo tempo de armazenamento, apresentando valor médio de 0,17% de água no óleo ao longo do armazenamento (Figura 12).



**Figura 25:** Efeito do tempo de armazenamento no teor de água (%) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem: 1) sem secagem dos frutos (SS); 2) secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); 3) secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); 4) secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); 5) secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

Apesar da diferença existente entre as médias dos tratamentos, não se observou um padrão de comportamento para os diferentes tratamentos de secagem, que se relacione com a temperatura e umidade dos frutos, para o teor de água no óleo da amêndoa. Os tratamentos 45°C/4d e 65°C/4d apresentaram maior teor de água no óleo na primeira avaliação, por outro lado esses tratamentos apresentaram os menores teores de água no óleo aos 120 dias de armazenamento (Tabela 9).

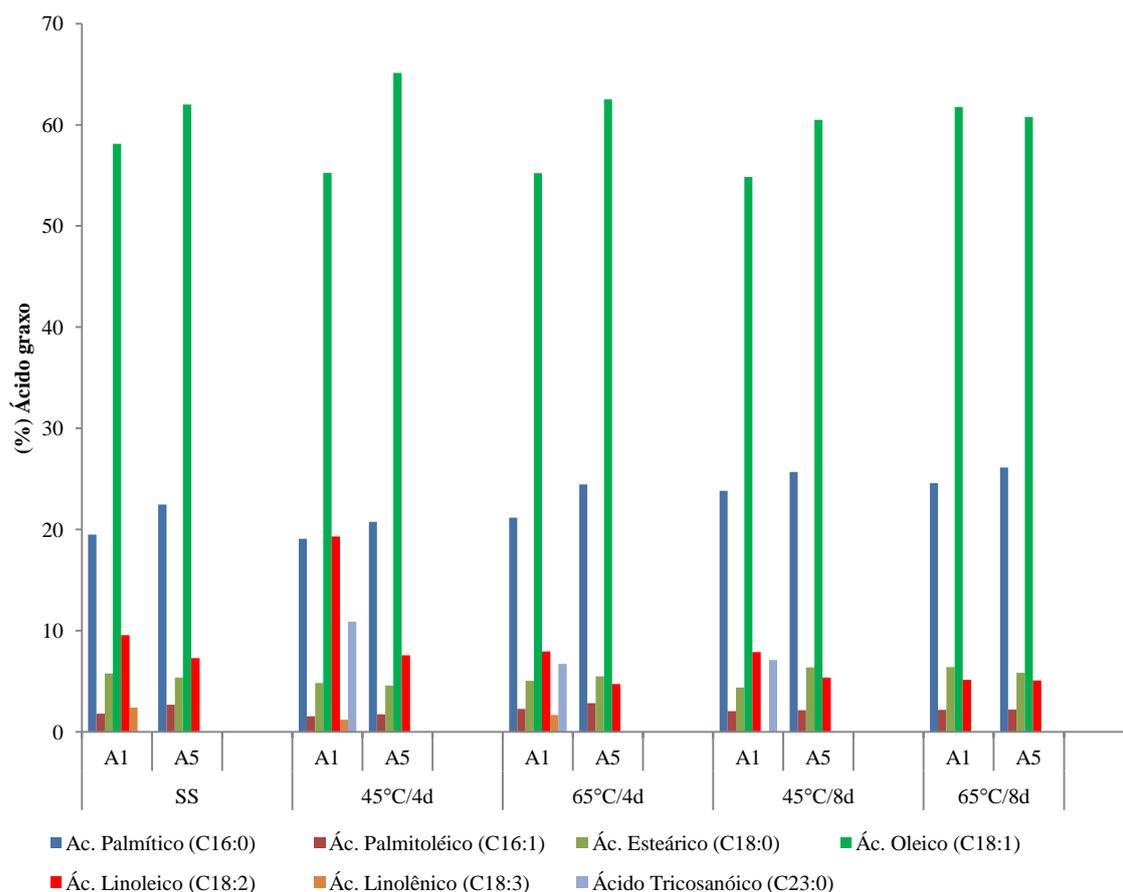
**Tabela 9:** Valores médios observados no teor de água (%) do óleo da amêndoa, para cada tratamento de secagem durante o armazenamento. Tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8).

Tratamentos	Tempo de armazenamento (dias)									
	0		15		30		60		120	
SS	0,15	b	0,12	b	0,11	ab	0,17	a	0,17	a
45°C/4d	0,28	a	0,11	bc	0,15	a	0,17	a	0,12	bc
65°C/4d	0,27	a	0,07	c	0,10	b	0,09	b	0,08	c
45°C/8d	0,17	b	0,19	a	0,13	ab	0,20	a	0,16	ab
65°C/8d	0,12	b	0,07	c	0,09	b	0,09	b	0,12	abc

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3.10 - Perfil de ácidos graxos do óleo do mesocarpo

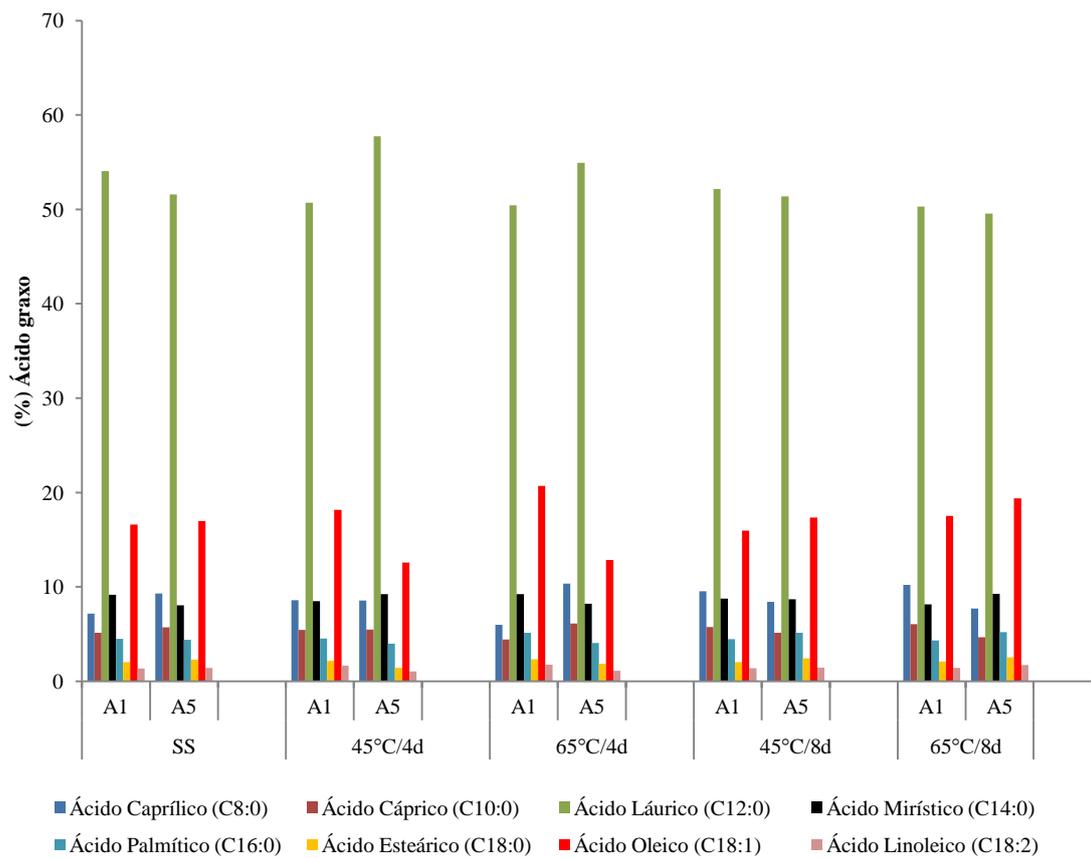
Ácidos graxos insaturados foram predominantes na composição desse óleo, variando entre 66 a 74% do total de ácidos graxos presentes no óleo, sendo o ácido oleico (C18:1) responsável por mais de 54% do total de ácidos graxos insaturados. Os ácidos oleico, palmítico e linoleico apresentaram os maiores teores nesse óleo. A maior variação observada após 120 dias de armazenamento foi no percentual de ácido oleico para o tratamento 45°C/4d, aumentando 11,90%. Seguido dos tratamentos 65°C/4d, 45°C/8d e SS, aumentando 7,32%, 5,64% e 3,88%, respectivamente. Para os demais ácidos graxos, a variação foi menor que 3% em relação ao dia 0 de armazenamento. entre o tratamento controle e os demais, em torno de 5% (Figura 13).



**Figura 26:** Perfil de ácidos graxos (%) do óleo do mesocarpo aos 0 (A1) e 60 (A5) dias de armazenamento, nos tratamentos: sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

### 3.11 - Perfil de ácidos graxos do óleo da amêndoa

Ao contrário do observado no óleo do mesocarpo, o óleo da amêndoa apresentou maiores proporções de ácidos graxos saturados, variando de 77 a 86% do total de ácidos graxos, sendo o ácido láurico (C12:0) o mais abundante, com porcentagens superiores a 50%, seguidos dos ácidos oleico (C18:1), mirístico (C14:0) e caprílico (C8:0). A variação na composição de ácidos graxos do óleo da amêndoa de frutos de macaúba foi menor que para o óleo do mesocarpo entre os tratamentos de secagem, durante o período de armazenamento avaliado. A maior variação obtida foi no teor de ácido oleico, reduzindo 7,84% no tratamento 65°C/4d. Esse tratamento apresentou as maiores variações nos teores dos ácidos graxos em relação aos demais, com exceção para o teor de ácido láurico no tratamento 45°C/4d, aumentando 7,02%, maior valor observado entre os tratamentos para esse ácido graxo (Figura 14).



**Figura 27:** Perfil de ácidos graxos (%) do óleo da amêndoa aos 0 (A1) e 60 (A5) dias de armazenamento, nos tratamentos sem secagem dos frutos (SS); secagem em estufa a 45°C por 4 dias (45°C/4d); secagem em estufa a 65°C por 4 dias (65°C/4d); secagem em estufa a 45°C por 8 dias (45°C/8d); secagem em estufa a 65°C por 8 dias (65°C/8d).

#### 4 - DISCUSSÃO

Os diferentes teores de umidade dos frutos obtidos nesse trabalho tiveram influência direta na vida pós-colheita e qualidade do óleo obtido. O grau de umidade influencia consideravelmente na qualidade do produto armazenado. Maiores teores de umidade mantêm a atividade fisiológica dos frutos, podendo culminar com a senescência além de criar ambiente propício para o desenvolvimento de microrganismos, que por sua vez, atuam na degradação do produto (PUZZI, 2000; LORINI et al., 2002; ELIAS, 2008).

Por se tratar de uma planta oleaginosa, menores umidades são requeridas para que se consiga armazenar o produto por um tempo maior. Apesar da dificuldade de interação química entre os lipídeos e a água, a reação entre eles promove a hidrólise de ligações ésteres, liberando ácidos graxos, levando à ocorrência de reações de rancificação (PUZZI, 2000).

A água é o principal constituinte do tecido vegetal e essencial como reagente no metabolismo vegetal (TAIZ & ZEIGER, 2009). As diferenças observadas nesse trabalho em relação ao acúmulo de óleo pelos frutos podem ser explicadas pela redução da umidade, que por sua vez reduz o metabolismo do fruto, explicando o não acúmulo de óleo nos tratamentos em que a secagem foi mais intensa e o maior acúmulo de óleo no tratamento SS, em que se tem alto teor de água disponível para que o fruto realize seus processos metabólicos. Porém, esse efeito da temperatura foi de menor intensidade no acúmulo de óleo na amêndoa dos frutos. A presença do endocarpo altamente lignificado possivelmente atenuou o efeito da temperatura no interior da amêndoa o que possibilitou a continuidade do processo de acúmulo de óleo na amêndoa, com exceção do tratamento 65°C/8d.

CETEC (1983) e Farias (2010) obtiveram 59,8% e 47,2% de óleo no mesocarpo, respectivamente e 55,6% e 47,3% na amêndoa de frutos de macaúba sem tratamento adicional. Esses teores foram maiores que os encontrados nesse trabalho para o teor de óleo no mesocarpo e estão dentro do intervalo de teores de óleo da amêndoa obtidos, levando em consideração o tratamento em que não houve a secagem prévia dos frutos. Carvalho (2010) encontrou teores médios de óleo no mesocarpo de frutos de macaúba, armazenados até 100 dias, de 67,14; 67,84; 67,04 e 67,52 % para os tratamentos em que os frutos de macaúba não foram secos, secos com temperaturas do

ar de secagem de 80, 70 e 60 °C, respectivamente. Esse autor concluiu que os tratamentos de secagem não influenciaram significativamente o teor de óleo dos frutos de macaúba ao longo do armazenamento, o que corrobora com os resultados obtidos nos tratamentos 65°C/4, 45°C/8 e 65°C/8 para o teor de óleo no mesocarpo e no tratamento 65°C/8 para o teor de óleo da amêndoa. É possível que os frutos utilizados por esse pesquisador, tenham sido processados num estágio de maturação mais avançado que os utilizados nesse trabalho, pelo fato de apresentarem um alto teor de óleo inicial e nenhum incremento nesse teor após o armazenamento, para o tratamento controle.

Zeni (2010) e Oliveira (2008), trabalhando com secagem de canola e soja, com temperaturas entre 20 a 80 °C e 20 a 100 °C e armazenamento até aos 300 e 365 dias, respectivamente, não observaram diferenças no teor de óleo até aos 100 e 120 dias de armazenamento, respectivamente, a temperaturas inferiores a 60 °C. Porém, reduções no teor de óleo foram observadas para ambos os experimentos, considerando todo o período de armazenamento e em todas as temperaturas avaliadas.

Os triglicerídeos são hidrolisados na presença de água, de microrganismos deteriorantes e de enzimas hidrolíticas como a lipase e fosfolipase, levando à formação e liberação de ácidos graxos livres, elevando a acidez do óleo, como observado no tratamento SS, em que o índice de acidez foi superior aos demais tratamentos ao final do armazenamento. A secagem diminui a atividade da água no material, causa a desnaturação das enzimas, minimizando ou impedindo o desenvolvimento dos microrganismos, o que permite maior controle na taxa de progressão do índice de acidez durante o armazenamento (AZEREDO, 2004; BASTOS, 2008). Isso explica os menores valores de acidez obtidos nesse trabalho, nos tratamentos em que a umidade dos frutos foi menor, tanto para o óleo do mesocarpo quanto para o óleo da amêndoa.

Teores variados de ácidos graxos livres foram observados por diferentes autores. Coimbra & Jorge (2011), Amaral (2007) e Silva (2009) encontraram índices de acidez para o óleo do mesocarpo de macaúba de 9,43%, 59,9%, 1,97%, respectivamente, para o óleo da amêndoa a acidez foi de 0,45% e 12,8%, segundo os dois primeiros autores citados. Tais resultados mostram a grande variabilidade existente entre materiais e, possivelmente, diferenças na idade, metodologia e época de processamento dos frutos.

Aquino et al. (2009) trabalhando com qualidade de óleo de pequi, secado ao sol e em estufa por tempos e temperaturas diferentes, verificaram que o tempo de secagem

influenciou a acidez do óleo somente na secagem em estufa e na maior temperatura (60°C). Guarte et al. (1996) trabalhando com qualidade de óleo de coco, secados a temperaturas variando de 40 a 100 °C, não obtiveram diferenças no índice de acidez em relação ao tratamento controle (20 °C).

O controle da acidez em óleos é de suma importância em suas unidades de produção, uma vez que a presença de ácidos graxos livres podem levar à corrosão e oxidação de recipientes, além de ser um indicativo de água no produto, de diminuir o potencial de transferência de calor do óleo e de torná-lo mais sensível à oxidação (MORETTO & FETT, 1998; FREGA et al., 1999; BOBBIO & BOBBIO, 2001; ARAUJO, 2004; O'BRIEN, 2004).

As diferenças observadas nesse trabalho para a estabilidade oxidativa do óleo podem ser explicadas pelo comportamento físico-químico do fruto em condições de temperatura elevada e baixo teor de água. O processo de secagem favorece reações físico-químicas nas moléculas dos alimentos, devido à remoção da água de hidratação protetora dos sítios reativos, permitindo a aproximação entre as moléculas, aumentando a probabilidade de interação entre elas. Essa remoção de água leva a formação de microcanais no alimento, facilitando o contato físico do oxigênio atmosférico, que aliado à temperatura utilizada no processo, aumenta a velocidade de reações químicas de oxidação e hidrólise, afetando a estabilidade (MORETTO & FETT, 1998; BOBBIO & BOBBIO, 2001; ARAUJO, 2004). Portanto, nos tratamentos em que o teor de água no fruto foi menor, a probabilidade de culminar em reações de oxidação foi maior, acarretando menores valores de estabilidade oxidativa.

Diferentes valores de estabilidade oxidativa foram obtidos por outros autores, em alguns casos esses valores foram semelhantes aos observados nesse trabalho, em outros houve divergência entre esses valores. Pimenta et al. (2012), Melo (2012), Coimbra & Jorge (2011) encontraram tempos de indução de 9,5 h, 25 h e 4,87 h para o óleo do mesocarpo, respectivamente, e maior que 34 h e 44,46 h para o óleo da amêndoa, de acordo com o primeiro e terceiro autores citados nesse parágrafo.

Silva et al. (2011) também observaram redução no tempo de indução à perda da estabilidade oxidativa ao longo do armazenamento, na fração lipídica de amêndoas de noz macadâmia, secadas em estufa. Esses autores verificaram que o processo convencional de secagem, feito por estufas, afetou negativamente, em maior

intensidade, a estabilidade oxidativa, em relação ao método de secagem por micro-ondas com ar quente.

O aumento da estabilidade oxidativa no óleo da amêndoa, ao longo do armazenamento, observado na maioria dos tratamentos, também ocorreu em pesquisa realizada por Cämmerer & Kroh (2011) com amendoim. Esses autores observaram que com o aumento do tempo e temperatura de torrefação, houve incremento na estabilidade oxidativa e prolongamento da vida pós-colheita do amendoim. Uma possível justificativa seria a formação de radicais antioxidantes, que ajudam na conservação do óleo.

Os maiores teores de água no óleo do mesocarpo e da amêndoa, observados no tratamento SS, ao final do armazenamento, podem ser atribuídos às condições de maior susceptibilidade à deterioração, que os frutos estavam sujeitos, como o maior teor de umidade e presença de microrganismos deteriorantes, o que facilita a degradação do óleo, resultando na produção de compostos hidrofílicos, como: ácidos, alcoóis, cetonas e aldeídos de cadeia curta, possibilitando maior absorção de água pelo óleo (CARVALHO, 2010).

Teores de água e voláteis, variando de 0,10 a 0,50% foram obtidos em óleo de soja, por Carvalho (2007). Amaral (2007), Melo (2012) e Pimenta et al. (2012) registraram teores de água no óleo do mesocarpo de macaúba de 0,89%, 6,04% e 0,095%, respectivamente. Para o óleo da amêndoa, esses valores foram de 0,275%, 1,99% e 0,096%, respectivamente.

É indesejável a presença de altos teores de água no óleo para a produção de biodiesel. A água leva à ocorrência de reação de saponificação, que consome o catalisador, aumenta a viscosidade, favorece a formação de géis e dificulta a separação do glicerol, reduzindo a eficiência do processo (MA & HANNA, 1999).

O balanço entre os diversos tipos de ácidos graxos que compõem o óleo determinam as propriedades e as possibilidades de uso desse óleo (Guarte et al., 1996). As variações no perfil graxo do óleo do mesocarpo e da amêndoa estão relacionadas à proporção de ácidos graxos saturados e insaturados existentes em sua composição. Os ácidos graxos insaturados são menos instáveis, mais susceptíveis a reações químicas de oxidação e hidrólise, como é observado no óleo do mesocarpo, com altos teores desse

tipo de ácido graxo. Enquanto que ácidos graxos saturados são mais estáveis, menos propensos a mudanças no perfil graxo, característica observada no óleo da amêndoa. Além da presença de ácidos graxos saturados em sua composição, a estabilidade química do óleo da amêndoa também está relacionada à presença do endocarpo lignificado, que confere proteção a agentes deteriorantes.

Durmaz & Gökmen (2011), Guarte et al. (1996) e Oliveira (2008) trabalhando com diferentes temperaturas e sistemas de secagem de *Pistacia terebinthus* (terebinto), coco e soja, respectivamente, não encontraram diferenças no perfil graxo do óleo desses produtos. Silva (2011) armazenando noz macadâmia por 180 dias, após secagem convencional em estufa, não observou variações no perfil de ácidos graxos ao longo do armazenamento. Concordando com os dados desse trabalho, Chiavaro et al., (2009) ao caracterizar o perfil de ácidos graxos de azeite de oliva extra-virgem, também obtiveram maiores proporções de ácido oleico, em torno de 76%, assim como observado no óleo do mesocarpo. A maior proporção do ácido graxo láurico, em relação aos demais ácidos graxos, obtida no óleo da amêndoa, também foi observada por Guarte et al. (1996). Esses autores registraram percentuais em torno de 50% desse ácido graxo em óleo de coco, o que confere grande importância econômica a esse óleo, pela elevada qualidade que apresenta.

## 5 - CONCLUSÕES

O processo de secagem é eficiente na conservação pós-colheita de frutos de macaúba, reduz a ploriferação de microrganismos deteriorantes nos frutos durante o armazenamento.

A secagem intensa dos frutos (65°C/8d) é altamente eficiente no controle da progressão do índice de acidez, ela paralisa o processo de acidificação do óleo para essa temperatura e tempo de secagem. Mesmo em menores intensidades de secagem há redução da velocidade em que a acidificação do óleo ocorre. Porém, todos os tratamentos com secagem, com exceção do tratamento 45°C/4d, restringem sobremaneira o acúmulo natural de óleo no mesocarpo do fruto durante o armazenamento. Para o óleo da amêndoa, apenas o tratamento 65°C/8d restringe esse acúmulo.

A temperatura de secagem dos frutos a 45°C apresenta menor interferência na redução da estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo, além de proporcionar menores índices de acidez e a continuidade do acúmulo natural de óleo, em relação ao tratamento controle. Apontando essa temperatura de secagem como promissora a ser utilizada em programas de conservação de frutos de macaúba.

Os ácidos graxos oleico e láurico estão presentes em maiores proporções no perfil de ácidos graxos do óleo do mesocarpo e da amêndoa, respectivamente. O ácido oleico é o ácido graxo mais susceptível a variações durante o armazenamento.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, F. P. Estudo das características físico-químicas dos óleos da amêndoa e polpa da macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart]. **Dissertação de Mestrado**, Unesp, Botucatu, São Paulo, 2007.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY (AOCS). **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society**. 4th Edition, Illinois, 1994.

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY (AOCS). **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign, IL, 1997.

AQUINO, L. P.; FERRUA, F. Q.; BORGES, S. V.; ANTONIASSI, R.; CORREA, J. L. G.; CIRILLO, M. A.. Influência da secagem do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na qualidade do óleo extraído. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29 (2), p. 354-357, abr.-jun, 2009.

ARAÚJO, J. M. A. Química de Alimentos: Teoria e Prática. UFV, 2. **Editora UFV**, 416 p., 2004.

AZEREDO, H. M. C.; Fundamentos de estabilidade de alimentos. **1º Ed. Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza, 195p., 2004.

BASTOS, M. S. R.; Ferramentas da ciência e tecnologia para a segurança dos alimentos. **1º Ed., Editora Embrapa**, Fortaleza, 438p., 2008.

BIAGI, J. D.; VALENTINI, S. R. T.; QUEIROZ, D. M. Secagem de Produtos Agrícolas. In: CORTEZ, L. A. B.; MAGALHÃES, P. S. G. (Eds.). **Introdução a Engenharia Agrícola**, Campinas: Unicamp, p. 245-265, 1992.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. Química do Processamento de Alimentos. **Livraria Varela**, 3. ed., 143 p., 2001.

BONDAR, G. Palmeiras do Brasil. São Paulo: Secretaria da Agricultura do estado de São Paulo. **Boletim**, n. 2, 159 p., 1964.

CÄMMERER, B.; KROH, L.W. Shelf life of linseeds and peanuts in relation to roasting. **LWT Food Science and Technology**, v. 42, p. 545–549, 2009.

CARVALHO, S. M. Efeito da Adição de Tocoferóis Sobre a Qualidade de Óleo de Soja Embalado em PET. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 103 p., 2007.

CARVALHO, F. M. Influência da temperatura do ar de secagem e da utilização do ácido etilenodiaminotetracético na qualidade do óleo e caracterização do fruto de macaúba. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 104 p., 2010.

CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. **Relatório Final do Convênio STI– MIC/CETEC**, v. 1, 152 p., 1983.

CHIAVARO, E. C. B.; VITTADINI, E.; RODRIGUEZ-ESTRADA, M. T.; CERRETANI, L.; BENDINI, A. Microwave heating of different commercial categories of olive oil: Part II. Effect on thermal properties. **Food Chemistry**, v. 115, p.1393–1400, 1983.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. Storage of cereal grain and their products. St. Paul: **American Association of Cereal Chemists**, p. 158-192, 1974.

COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Characterization of the Pulp and Kernel Oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 8, 2011.

DURMAZ,G.; GÖKMEN, V. Changes in oxidative stability, antioxidant capacity and phytochemical composition of *Pistacia terebinthus* oil with roasting. **Food Chemistry**, v. 128, p. 410–414, 2011.

ELIAS, M. C. Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos. **Editores Universitária / UFPel**, Pelotas, 363 p., 2008.

FARIAS, T. M. Biometria e processamento dos frutos da macaúba (*Acrocomia sp*) para a produção de óleos. **Dissertação de Mestrado**, UFMG, Belo Horizonte, 108 p., 2010.

FREGA, N.; MOZZON, M.; LERCKER, G. Effects of free fatty acids on oxidative stability of vegetable oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 76, p. 325-329, 1999.

GUARTE, R. C.; Werner Mfihlbauer, Manfred Kellert. Drying characteristics of copra and quality of copra and coconut oil. **Postharvest Biology and Technology**, v.9, p. 361-372, 1996.

IEA. Instituto de Economia Agrícola. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/OUT/verTexto.php?codTexto=9167>>. Acessado em: 18/03/2013.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL), Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, Vol. 1: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 4a edição, São Paulo: IMESP (1996), v.1, p. 116 – 118, 1985.

ISLAM, M.; BEG, M. R. The fuel properties of pyrolysis liquid derived from urban solid wastes in Bangladesh. **Bioresource Technology**, v. 92, n. 2, p. 181-186, 2004.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. Armazenagem de Grãos. Campinas, SP: **Instituto Biogeneziz**, 1000 p., 2002.

MA, F.; HANNA M. Biodiesel production: A review. **Bioresource Technology**, v. 70, p. 1-15, 1999.

MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; SANTOS, C. E. M. DOS; PIMENTEL, L. D.; QUEIROZ, V. DE; SATO, A. Y. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.1, p.70-76, jan, 2011.

MELO, P. G. de. Produção e Caracterização de Biodieseis Obtidos a Partir da Oleaginosa Macaúba (*Acrocomia aculeata*). **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

MORETTO, E.; FETT, R.; GONZAGA, L.V.; KUSKOSKI, E.M. Introdução à Ciência de Alimentos. **UFSC**, 1. ed., 255 p., 2002.

MOTA, C. S.; CORRÊA, T. R.; GROSSI, J. A. S.; CASTRICINI, A.; RIBEIRO, A. S. Exploração sustentável da macaúba para produção de biodiesel: colheita, pós-colheita e qualidade dos frutos. **Informe Agropecuário**, v. 32, n 265, p. 41 - 51, 2011.

NOGUEIRA, R. I. Secagem e desidratação de frutas e hortaliças. In: NOGUEIRA, R. I. (Ed.). **Curso de Processamento de Frutas e Hortaliças**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, p. 117-130, 1992.

O'BRIEN, R. D. Fats and Oils Formulating and Processing for Applications. Florida: **CRC Press**, Boca Raton, 616 p., 2004.

OLIVEIRA, M. Temperatura na secagem e condições de armazenamento sobre propriedades da soja para consumo e produção de biodiesel. **Dissertação de Mestrado**, UFPEL, Pelotas, v. 70 p., 2008.

PATHAK, P. K.; AGRAWAL, Y.C.; SINGH, B.P.N. Effect of Elevated Drying Temperature on Rapeseed Oil Quality. **Journal of the American Oil Chemistry Society**, v. 68, n. 8. August, 1991.

PIMENTEL, L. D.; MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; PAES, J. M. V.; BRUCKNER, C. H. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. **Informe Agropecuário**, v. 32, n 265, p. 61-69, 2011.

PUZZI, D. Abastecimento e armazenagens de grãos. **Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola**, 603 p., 2000.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagens de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 603 p., 2000.

SILVA, J. C. Macaúba: fonte de matéria-prima para os setores alimentício, energético e industrial. Viçosa: CEDAF/ DEF/ UFV, **Material não publicado**, 41 p., 1994.

SILVA, I. Uso de processos combinados para o aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba. **Dissertação de Mestrado**, UFRJ, Rio de Janeiro, 99 p., 2009.

SILVA, F. A.; GONÇALVES, L. A. G.; DAMIANI, C.; GONÇALVES, M. Á. B.; SOARES JÚNIOR, M. S.; MARSAIOLI JÚNIOR, A. Estabilidade oxidativa de

amêndoas de noz macadâmia secas por micro-ondas com ar quente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 286-292, abr./jun, 2011.

SZPIZ, R. R., LAGO, R. C. A., JABLONKA, F. H.; PEREIRA, D. A. Óleos de macaúba: uma alternativa para a oleoquímica. **Comunicado Técnico, Embrapa CTAA**, v. 14, p. 1-10, 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4. **Ed. Porto Alegre**: Artmed, 2009.

ZENI, D. B. Efeitos da temperatura na secagem e da umidade relativa no armazenamento sobre a qualidade dos grãos e do óleo de canola para biocombustível. **Dissertação (Mestrado)**. UFPE. Pelotas, 57 p., 2010.

ZUCHI, J.; PESKE, S. T.; BEVILAQUA, G. A. P.; SILVA, S. D. dos A. Retardamento de colheita, método de secagem e qualidade de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 3, p. 009-015, 2009.

## **CONCLUSÕES GERAIS**

Os tratamentos de secagem e de radiação gama ampliam o período de conservação do óleo de frutos de macaúba. Ambos os tratamentos restringem o acúmulo de óleo e a estabilidade oxidativa no mesocarpo dos frutos de macaúba.

Apesar dos tratamentos com radiação gama e secagem terem sido promissores no controle da taxa de evolução do índice de acidez, o tratamento com secagem foi o mais eficiente no controle desse índice.

As mudanças no perfil de ácidos graxos durante o armazenamento é maior no experimento de radiação gama em comparação ao experimento de secagem. A variação no percentual de ácido oleico é superior aos demais ácidos graxos, tanto para o experimento de radiação, quanto para o experimento de secagem.

O tratamento de secagem é o mais indicado para a conservação pós-colheita dos frutos de macaúba.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ambos os experimentos foram planejados com caráter exploratório, devido a ausência de conhecimento a respeito de sistemas de conservação de frutos de macaúba visando a manutenção da qualidade do óleo extraído. Sendo assim, os resultados obtidos nesses experimentos servem para nortear futuros estudos que contemplem essa linha de pesquisa, de modo que se possa determinar um método específico de conservação dos frutos que possibilite o armazenamento por um período de tempo maior, mantendo a qualidade do produto.

Tendo em vista os resultados dos experimentos com radiação gama e secagem, recomenda-se o desenvolvimento de estudos que explorem menores amplitudes de doses de radiação e a avaliação de diferentes métodos e temperaturas de secagem, explorando a questão da umidade dos frutos, que aparentemente apresentou grande influência nos resultados obtidos.

Sabendo-se que tais tratamentos físicos afetaram o metabolismo do fruto, principalmente na questão do acúmulo natural de óleo ao longo do armazenamento, torna-se interessante o desenvolvimento de pesquisas em que se possa colher os frutos e

aguardar alguns dias para que sejam submetidos aos tratamentos físicos ou até mesmo associar tratamentos físicos com tratamentos químicos, sendo que esse último citado tem apresentado pouca ou nenhuma interferência no quesito acúmulo de óleo, de acordo com experimentos paralelos realizados pelo mesmo grupo de pesquisa que desenvolveu o presente trabalho.

É importante destacar o grande potencial da macaúba como fonte de óleo vegetal e dos coprodutos gerados no processamento desses frutos, não apenas para a produção de biodiesel como também para a alimentação humana, animal e na indústria farmacêutica, o que justifica o investimento intensivo em pesquisas, para que se possa obter uma cadeia produtiva fundamentada em resultados científicos, de modo que haja a consolidação da macaúba como uma cultura que gera emprego e renda às famílias brasileiras.

**ANEXO A - Resumo da análise de variância do experimento de radiação gama (Capítulo 1).**

FV	GL	Quadrados Médios							
		TOM (%)	TOA (%)	IAM (%)	IAA (%)	EOM (h)	EOA (h)	TAM (%)	TAA** (%)
Dose (D)	5	47,5034	25,5780	273,2775	0,0055	150,5114	106,6315	0,0041	3,4509
Armazenamento (A)	4	368,5460	727,3489	6.399,1626	0,0341	238,0766	161,6400	0,1606	4,3181
D*A	20	24,3238	22,9680	71,1940	0,0032	26,2918	99,2481	0,0045	4,7316
Erro	90	9,0994	4,2029	11,4358	0,0004	2,0792	39,0486	0,0017	2,9357
Média Geral		53,2124	46,4937	17,5604	0,2451	4,1929	61,8840	0,1575	0,3382
C.V (%)		5,6688	4,4094	19,2575	7,8396	34,3896	10,0978	25,9292	50,66897

TOM = Teor de óleo no mesocarpo; TOA = Teor de óleo na amêndoa; IAM = Índice de acidez no óleo do mesocarpo; IAA = índice de acidez no óleo da amêndoa; EOM = Estabilidade oxidativa no óleo do mesocarpo; EOA = Estabilidade oxidativa no óleo da amêndoa; TAM = Teor de água no óleo do mesocarpo; TAA = Teor de água no óleo da amêndoa.

\*\*A interação entre os fatores e os fatores isoladamente não foram significativos para o teor de água no óleo da amêndoa.

**ANEXO B - Valores médios observados no experimento com radiação gama  
(Capítulo 1)**

Dose (kGy)	Armazenamento (dias)	TOM (%)	TOA (%)	IAM (%)	IAA (%)	EOM (h)	EOA (h)	TAM (%)	TAA** (%)
0	0	45,47	41,20	0,86	0,22	8,92	66,41	0,04	0,09
0,5	0	46,10	39,28	0,99	0,20	9,90	64,16	0,05	0,10
1	0	48,13	41,87	0,99	0,19	9,05	62,75	0,09	0,12
3	0	44,84	40,99	0,68	0,19	9,12	61,80	0,09	0,11
5	0	47,71	47,61	0,79	0,21	2,65	69,35	0,09	0,15
10	0	51,18	44,08	0,65	0,21	0,60	59,73	0,12	0,17
0	15	49,35	42,15	5,24	0,20	9,74	68,11	0,09	0,15
0,5	15	48,57	42,69	2,40	0,21	13,97	66,87	0,10	0,13
1	15	52,53	44,11	1,85	0,21	16,03	60,20	0,09	0,11
3	15	45,77	42,59	1,78	0,21	7,31	55,59	0,08	0,11
5	15	49,73	44,35	1,27	0,22	1,47	56,18	0,13	0,11
10	15	50,58	46,18	1,78	0,24	0,13	53,04	0,10	0,20
0	30	59,71	42,76	21,39	0,25	4,64	59,86	0,16	0,13
0,5	30	55,79	42,01	16,43	0,27	5,86	58,98	0,11	0,13
1	30	59,82	45,39	15,13	0,24	5,58	60,08	0,10	0,12
3	30	57,28	41,93	20,40	0,24	3,28	57,86	0,16	0,13
5	30	51,43	43,29	17,28	0,26	2,58	60,17	0,14	0,21
10	30	53,40	43,60	9,49	0,20	0,23	55,39	0,13	0,14
0	45	59,71	52,93	32,41	0,34	2,11	64,09	0,19	0,22
0,5	45	61,02	44,48	38,95	0,29	1,34	64,74	0,18	0,20
1	45	59,07	49,13	35,07	0,35	2,96	69,49	0,21	0,29
3	45	57,38	47,27	33,62	0,28	2,51	67,12	0,33	0,21
5	45	51,35	44,11	28,99	0,25	0,48	61,83	0,19	0,22
10	45	50,85	46,36	16,64	0,23	0,06	60,41	0,31	0,18
0	60	61,17	52,00	46,11	0,30	0,96	66,18	0,30	0,37
0,5	60	55,02	53,94	42,77	0,33	1,52	63,40	0,27	0,30
1	60	57,65	55,84	39,17	0,28	1,03	66,70	0,24	0,23
3	60	57,14	58,62	38,38	0,27	1,61	64,93	0,24	0,18
5	60	53,89	56,31	27,19	0,25	0,10	63,28	0,26	0,24
10	60	54,75	57,74	28,13	0,23	0,11	64,57	0,33	0,17

**ANEXO C - Resumo da análise de variância do experimento de secagem (Capítulo 2).**

FV	GL	Quadrados Médios							
		TOM (%)	TOA (%)	IAM (%)	IAA (%)	EOM (h)	EOA (h)	TAM (%)	TAA (%)
Secagem (S)	4	463,6671	110,9385	1.000,2502	0,0502	298,9787	722,9344	0,0016	0,0193
Armazenamento (A)	4	179,4233	351,4750	1.391,2843	0,0846	267,1142	18,9308	0,0302	0,0225
S*A	16	78,7867	84,4400	370,9024	0,0148	67,7243	31,7491	0,0025	0,0076
Erro	50	26,4811	1,9527	2,7685	0,0010	2,8424	2,6442	0,0006	0,0006
Média Geral		44,1951	54,0255	8,3112	0,2555	4,3270	61,7449	0,1149	0,1387
C.V (%)		11,6400	2,5900	20,0200	12,1000	38,9600	2,6300	21,7800	17,7300

TOM = Teor de óleo no mesocarpo; TOA = Teor de óleo na amêndoa; IAM = Índice de acidez no óleo do mesocarpo; IAA = índice de acidez no óleo da amêndoa; EOM = Estabilidade oxidativa no óleo do mesocarpo; EOA = Estabilidade oxidativa no óleo da amêndoa; TAM = Teor de água no óleo do mesocarpo; TAA = Teor de água no óleo da amêndoa.