

**ANDERSON BARBOSA EVARISTO**

**CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA E POTENCIAL BIOENERGÉTICO DE  
FRUTOS DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)**

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

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

E92c  
2015  
Evaristo, Anderson Barbosa, 1982-  
Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de  
frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) / Anderson Barbosa  
Evaristo. – Viçosa, MG, 2015.  
xix, 120f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: José Antonio Saraiva Grossi.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Macaúba - Armazenamento. 2. Macaúba - Conservação.  
3. *Acrocomia aculeata*. 4. Óleos vegetais como combustíveis.  
5. Biocombustíveis. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em  
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.851

**ANDERSON BARBOSA EVARISTO**

**CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA E POTENCIAL BIOENERGÉTICO DE  
FRUTOS DE MACAÚBA (*Acrocomia aculeata*)**

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

APROVADA: 04 de março de 2015.

---

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro  
(Coorientadora)

---

Benedito Rocha Vital

---

Maria Helena Cano de Andrade

---

Leonardo Duarte Pimentel  
(Coorientador)

---

José Antonio Saraiva Grossi  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia e ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade e ajuda para a realização deste curso.

À Petrobras, pelo financiamento dos estudos e pela bolsa de Pesquisador.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão das bolsas de estudos.

Ao Prof. José Antônio Saraiva Grossi, pela orientação, amizade, companheirismo e dedicação na realização deste projeto.

Ao Prof. Leonardo Duarte Pimentel, pela coorientação, amizade, companheirismo e pelos ensinamentos ao longo destes anos.

À Prof<sup>a</sup>. Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, carinhosamente Cassinha, pela coorientação deste projeto, amizade, ensinamentos, aprendizagem e compreensão.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), unidade da Fazenda Experimental Santa Rita (FESR), pela concessão da área experimental e colaboração na execução dos trabalhos.

À Prof<sup>a</sup>. Vera Lúcia e ao Laboratório de Microbiologia Aplicada do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), pela execução das análises de quantificação de microrganismos.

À Fazenda Capela, situada no município de Acaiaca, Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, pela coleta de material para execução dos experimentos.

Ao Prof Sérgio Motoike e à Dra. Kacilda Naomi Kuki, pela ajuda na execução do projeto e pelos ensinamentos sobre a palmeira macaúba.

Ao Laboratório de Biotecnologia e Pós-Colheita de Macaúba, do Departamento de Fitotecnia da UFV, e a todos os integrantes, em especial, ao Samuel, Neia, Tila, Gutierrez, Larissa, Adalvan, Elimarcio e Edmar.

Aos integrantes da Rede Macaúba de Pesquisa (Remape) e a todos os funcionários da UFV.

Aos Professores do Departamento de Zootecnia da UFVJM, pelo acolhimento e amizade.

À Universidad de Valladolid, em especial aos Professores Luis Manuel Nava, Jesús Martín-Gil, Adriana Correa Guimares e aos Doutores Luis Fernando S. Sastres e Norlan M. Ruiz, pela a oportunidade de realizar os estudos nesta universidade, pelos ensinamentos e amizade.

A todos os amigos que, durante este tempo, estiveram comigo para apoiar, ajudar e descontraír.

A todos os meus tios e tias, primos e primas, cunhada e sobrinhos, por sempre acreditarem em mim.

À família Bonafé, por todos os momentos de descontração e apoio.

Aos meus grandes amigos de Sete Lagoas, pelo apoio, amizades, festas, descontração e confiança.

Meu agradecimento especial ao meu pai Dário, minha mãe Glauce, meu irmão Hudson, minha filha Stella e Cris, por sempre estarem ao meu lado e acreditarem em mim, pelo companheirismo, força, amor, carinho e paciência. Sem vocês, eu não conquistaria este título acadêmico.

E ao Grande Arquiteto do Universo, por me iluminar todos os dias.

## **BIOGRAFIA**

ANDERSON BARBOSA EVARISTO nasceu em Florianópolis, SC, aos dois dias do mês de dezembro de 1982. Em fevereiro de 2001, iniciou o Curso de Agronomia, na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), concluindo em dezembro de 2005. Em dezembro de 2006, conclui o curso de Pós-Graduação (Lato Sensu) em Proteção de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa (UFV). Durante 3,5 anos, 2006 a 2009, trabalhou como Engenheiro Agrônomo, atuando nas áreas de avaliação e perícia de imóveis rurais, elaboração de projetos de bioenergia, gerente de produção e pesquisas. Em agosto de 2009, ingressou no Mestrado em Fitotecnia, na UFV, concluindo em julho de 2011. Em agosto de 2011, ingressou no curso de Doutorado em Fitotecnia pela mesma instituição.

## SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| Lista de figuras .....  | ix   |
| Lista de tabelas .....  | xii  |
| Resumo .....  | xiv  |
| Abstract.....   | xvii |
| 1    Introdução geral .....   | 1    |
| 2    Revisão de literatura .....  | 3    |
| 2.1  Clima e biocombustíveis.....   | 3    |
| 2.2  Macaúba.....   | 4    |
| 2.3  Pós-colheita dos frutos da macaúba.....  | 6    |
| 2.4  Energia da biomassa .....  | 7    |
| 2.5  Refêrencias.....   | 7    |
| Capítulo I.....   | 10   |
| I  Conservação pós-colheita dos frutos da macaúba.....  | 10   |
| Resumo .....  | 11   |
| Abstrac.....  | 13   |
| I    Introdução .....   | 15   |
| I.1  Experimento I .....  | 18   |
| I.1.1  Investigação das formas de colheita e adoção de medidas pós-colheita em frutos de macaúba..... | 18   |
| I.1.2  Objetivos.....   | 18   |
| I.1.3  Materiais e Métodos.....   | 18   |
| I.2.3.1  Local de coleta, montagem do experimento e delineamento estatístico.....                     | 18   |
| I.1.3.2  Análises.....  | 22   |
| I.1.3.3  Estabilidade à oxidação (EO) .....   | 22   |
| I.1.3.4  Índice de acidez (IA).....   | 23   |
| I.1.3.5  Teor de água no óleo.....  | 23   |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| I.1.3.6 | Teor de óleo do mesocarpo (TO).....   | 24 |
| I.1.3.7 | Quantificação de microrganismos no epicarpo e mesocarpo do fruto.....         | 24 |
| I.1.3.8 | Análises estatísticas .....   | 25 |
| I.1.4   | Resultados e Discussão.....   | 26 |
| I.1.4.1 | Índice de Acidez do óleo do mesocarpo(IA) .....                               | 26 |
| I.1.4.2 | Estabilidade a oxidação do óleo do mesocarpo(EO) .....                        | 31 |
| I.1.4.3 | Teor de água na polpa (TA).....   | 37 |
| I.1.4.4 | Teor de óleo na polpa (TO).....   | 42 |
| I.1.4.5 | Microrganismos no epicarpo e mesocarpo do fruto.....                          | 43 |
| I.1.5   | Discussão visando à aplicação do óleo para produção de biodiesel .....        | 44 |
| I.1.6   | Conclusão.....  | 45 |
| I.2     | Experimento II .....  | 46 |
| I.2.1   | Armazenamento de frutos de macaúba em silos do tipo secador-armazenador<br>46 |    |
| I.2.2   | Objetivo .....  | 46 |
| I.2.3   | Material e métodos.....   | 46 |
| I.2.3.1 | Local de coleta e montagem do experimento. ....                               | 46 |
| I.2.3.2 | Análises.....   | 49 |
| I.2.3.3 | Delineamento e análises estatísticas .....                                    | 49 |
| I.2.4   | Resultados e Discussão.....   | 50 |
| I.2.4.1 | Teor de umidade dos frutos, temperatura e umidade relativa.....               | 50 |
| I.2.4.2 | Teor de óleo do mesocarpo (TO).....   | 52 |
| I.2.4.3 | Índice de acidez no óleo do mesocarpo (IA) .....                              | 54 |
| I.2.4.4 | Estabilidade oxidativa no óleo do mesocarpo (EO).....                         | 56 |
| I.2.4.5 | Teor de água no óleo do mesocarpo (TA) .....                                  | 59 |
| I.2.5   | Conclusão.....  | 60 |
| 1.3     | Experimento III.....  | 61 |

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| I.3.1            | Influência da secagem artificial e do armazenamento dos frutos de macaúba na qualidade do óleo da polpa da macaúba para a produção de biodiesel ..... | 61 |
| I.3.2            | Objetivos.....  | 61 |
| I.3.3            | Materiais e Métodos.....  | 61 |
| I.3.3.1          | Local de coleta, montagem do experimento .....  | 61 |
| I.3.3.2          | Análises.....   | 63 |
| I.3.3.3          | Delineamento experimental e análises estatísticas .....   | 64 |
| I.3.4            | Resultados e Discussão.....   | 64 |
| I.3.4.1          | Cinética de secagem.....  | 64 |
| I.3.4.2          | Teor de óleo no mesocarpo .....   | 66 |
| I.3.4.2          | Índice de acidez do óleo do mesocarpo (IA) .....  | 67 |
| I.3.4.3          | Estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo.....  | 69 |
| I.3.4.4          | Teor de água no óleo do mesocarpo (TA) .....  | 70 |
| I.3.5            | Conclusão.....  | 71 |
| I.3.6            | Considerações Finais .....  | 73 |
| I.3.7            | Referências.....  | 75 |
| Capítulo II..... |   | 79 |
| II               | Potencial bioenergético do fruto da palmeira macaúba .....  | 79 |
| Resumo .....     |   | 80 |
| Abstract.....    |   | 82 |
| II.1             | Potencial energético do fruto da macaúba para a produção de biocombustíveis sólidos   | 86 |
| II.1.2           | Objetivos.....  | 86 |
| ii.1.3           | Material e Métodos .....  | 86 |
| II.1.3.1         | Material vegetal e local.....   | 86 |
| II.1.3.2         | Processamento dos frutos e determinação da produtividade.....   | 87 |
| II.1.3.3         | Estimativa da produtividade.....  | 88 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| II.1.3.4  | Caracterização física do fruto:.....                                 | 88  |
| II.1.3.5  | Composição química dos coprodutos.....                               | 89  |
| II.1.3.6  | Análise termogravimétrica (TG) .....                                 | 91  |
| II.1.3.10 | Delineamento experimental e análises estatísticas.....               | 91  |
| II.1.4    | Resultados e Discussão .....   | 91  |
| II.1.4.1  | Produtividade e constituição do fruto.....                           | 91  |
| II.1.4.2  | Caracterização química dos coprodutos .....                          | 94  |
| II.1.4.3  | Caracterização física dos resíduos.....                              | 96  |
| II.1.4.4  | Produtividade estimada .....   | 99  |
| II.1.5    | Conclusão.....   | 101 |
| II.2      | Experimento II .....   | 102 |
| II.2.1    | Coprodutos do fruto da macaúba para produção de carvão vegetal ..... | 102 |
| II.2.2    | Objetivo .....   | 102 |
| II.2.3    | Material e Métodos .....   | 102 |
| II.2.4    | Resultados e discussão .....   | 104 |
| II.2.5    | Conclusões .....   | 110 |
| II.2.6    | Considerações Finais .....   | 111 |
| II.2.7    | Referências.....   | 112 |
| 3         | Conclusão geral.....   | 120 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - População nativa de macaúba (A) fonte: Luciano Murta, arquivo pessoal; inflorescência em espádice (B); cachos (C); corte longitudinal do fruto (D).....   | 5  |
| Figura I-1 - Plantas de macaúba georreferenciadas, destinadas à coleta de frutos para condução de experimentos, localizadas na Fazenda experimental da Epamig em Sete Lagoas MG. Fonte: Google Earth. ....                   | 19 |
| Figura I-2 - Coleta dos frutos (2A e 2B), homogeneização dos frutos (2C) e unidade experimental (2D).....  | 20 |
| Figura I-3 Disposição das unidades experimentais de acordo com o delineamento empregado (3A , 3B e 3C) e aplicação de fungicida em pós-colheita (3D).....  | 21 |
| Figura I-4 - Processamento dos frutos (4A e 4B) e extração do óleo (4C). ....  | 22 |
| Figura I-5 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo em função do período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo. Gráficos A, B e C representam doses 0, 0,2 e 0,4% v/v, respectivamente. ....                        | 26 |
| Figura I-6 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo ao longo do armazenamento dos frutos no galpão. 0, 7, 14 e 21 dias de exposição dos frutos no solo, gráficos A, B, C e D respectivamente. ....                            | 28 |
| Figura I-7 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo ao longo dos dias de exposição dos frutos ao solo. 0, 10, 20, 30 e 40 dias de armazenamento dos frutos no galpão solo, gráficos 7A, 7B, 7C, 7D e 7E respectivamente. .... | 30 |
| Figura I-8 - Período de Indução (PI) do óleo do mesocarpo em função do armazenamento e exposição dos frutos ao solo. Gráficos A, B e C doses 0, 0,2 e 0,4% v/v respectivamente. ....   | 32 |
| Figura I-9 - Período de indução do óleo do mesocarpo ao longo do armazenamento dos frutos no galpão. 0, 7, 14 e 21 dias de exposição dos frutos no solo, gráficos A, B, C e D, respectivamente. ....                         | 35 |
| Figura I-10 - Período de indução do óleo do mesocarpo ao longo dos dias de exposição dos frutos ao solo. 0, 10, 20, 30 e 40 dias de armazenamento dos frutos no galpão solo, gráficos A, B, C, D e E, respectivamente. ....  | 36 |

|   |    |
|---|----|
| Figura I-11 - Teor de água no óleo do mesocarpo em função do período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo para frutos sem aplicação de fungicida (dose 0% v/v).....  | 38 |
| Figura I-12 - Teor de água no óleo em função do período de exposição dos frutos no solo em cada época de armazenamento e dose de fungicida. 0, 0,2 0,4% v/v de doses de fungicida , gráficos A, B e C, respectivamente. ....              | 40 |
| Figura I-13 - Teor de água no óleo em função do armazenamento dos frutos no galpão e cada época de exposição dos frutos no solo e dose de fungicida. 7 e 14 dias de exposição dos frutos no solo , gráficos A, B .....                    | 41 |
| Figura I-14 - Teor de óleo do polpa em função do período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo.....   | 42 |
| Figura I-15 - Silo Armazenador-secador (A), ventilador radial (B), Enchimento dos silos (C e D) .....   | 47 |
| Figura I-16 - Disposição dos frutos no silo utilizados para análises de qualidade do óleo ao longo do armazenamento (A,B e C) e amostras para determinação do teor de umidade dos frutos (D).....   | 48 |
| Figura I-17 - Teor de umidade dos frutos (base seca) nos silos do tipo secador-armazenador ao longo do armazenamento .....  | 50 |
| Figura I-18 - Valores de temperatura e umidade relativa do ar (UR) no ambiente e nos silos do tipo secador-armazenador ao longo do período de secagem-armazenamento dos frutos. S2(silo testemunha), S4 (silo com fluxo de secagem) ..... | 52 |
| Figura I-19 - Teor de óleo do mesocarpo (%) dos frutos da macaúba nos silos secador-armazenador.....  | 53 |
| Figura I-20 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo dos frutos de macaúba no sistema de secagem-armazenamento .....   | 54 |
| Figura I-21 - Período de indução do óleo (h) do mesocarpo dos frutos de macaúba no sistema de secagem-armazenamento.....  | 57 |
| Figura I-22 -Teor de água no óleo (%) do mesocarpo dos frutos de macaúba no sistema de secagem-armazenamento.....   | 59 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura I-23 - Plantas de macaúba georreferenciadas, destinada à coleta de frutos para condução de experimentos, localizadas Fazenda Capela, Acaiaca-MG. Fonte: Google earth .....   | 62  |
| Figura I-24 - Secador de camada fina (A), pesagem dos frutos (B).....   | 63  |
| Figura I-25 - Curva de secagem de frutos de macaúba em secador de camada fina a 60°C.....   | 65  |
| Figura I-26 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo em frutos não secos no secador durante o período de armazenamento dos frutos no galpão. ....  | 68  |
| Figura I-27 - Período de Indução do óleo do mesocarpo para frutos não secos no secador durante o período de armazenamento dos frutos no galpão. ....  | 70  |
| Figura I-28 - Teor de água no óleo do mesocarpo para frutos secos e não secos no secador durante o período de armazenamento dos frutos no galpão. ....  | 71  |
| Figura II-1 - Plantas de macaúba georreferenciadas, destinadas à coleta de frutos para condução de experimentos, localizadas no município de Mirabela-MG. Fonte: Google Earth. ....   | 86  |
| Figura II-2 - Palmeira macaúba (A), corte longitudinal do fruto (B), epicarpo (C), óleo do mesocarpo (D), farelo do mesocarpo (E), endocarpo (F), óleo da amêndoa (G) e farelo da amêndoa (H). ....   | 87  |
| Figura II-3 - Termogramas e perdas de massa dos resíduos em diferentes faixas de temperatura. ....  | 98  |
| Figura II-4 - Rendimento gravimétrico de carvão vegetal (RG), rendimento de gases condensáveis (RGC) e rendimento de gases não condensáveis (RGNC) da carbonização do endocarpo e do epicarpo oriundos do processamento dos frutos da macaúba. .... | 109 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela I-1 - Valores médios do índice de acidez do óleo do mesocarpo (%) em função da dose do fungicida em cada período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo. ....   | 27 |
| Tabela I-2 -Valores médios de período de indução, em horas, do óleo do mesocarpo em função da dose do fungicida em cada período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo.....  | 33 |
| Tabela I-3 - Valores médios do teor de água, em porcentagem, no óleo do mesocarpo em função da dose do fungicida em cada período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo. ....  | 39 |
| Tabela I-4 - Agrupamento de 24 tratamentos pelo método de otimização de Tocher modificado, com base na matriz de distâncias de Mahalanobis, em relação a oito parâmetros avaliados na quantificação dos microrganismos presentes no epicarpo e no mesocarpo dos frutos da macaúba. .... | 43 |
| Tabela I-5 - Valores médios do índice de acidez (%) do óleo do mesocarpo dos frutos da macaúba em diferentes formas de secagem-armazenagem em silos de alvenaria. ....  | 55 |
| Tabela I-6 -Valores médios do período de indução (h) do óleo do mesocarpo dos frutos da macaúba em diferentes formas de secagem-armazenagem em silos de alvenaria.....  | 58 |
| Tabela I-7 - Valores médios do teor de óleo do mesocarpo, em porcentagem, de frutos de macaúba submetidos à secagem a 60°C e à não secagem (testemunha) durante o período de armazenamento dos frutos no galpão. ....   | 66 |
| Tabela I-8 - Valores médios do índice de acidez, em porcentagem, do óleo do mesocarpo de frutos de macaúba submetidos à secagem a 60°C e à não secagem (testemunha) durante o período de armazenamento dos frutos no galpão. ....   | 67 |
| Tabela I-9 - Valores médios da estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo, mensurada pelo período de indução em horas, dos frutos de macaúba submetidos à secagem a 60°C e à não secagem (testemunha) durante o período de armazenamento dos frutos no galpão. ....                    | 69 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela II-1 - Produção de frutos em plantas de macaúba numa população nativa de Mirabela/ MG. ....   | 92  |
| Tabela II-2 - Teor de umidade e óleo, massa seca e proporção de coprodutos gerados em relação ao fruto (PCPF) de uma população nativa de macaúba, localizada em Mirabela-MG.....                                   | 93  |
| Tabela II-3 - Caracterização química dos coprodutos do processamento dos frutos da macaúba. ....   | 94  |
| Tabela II-4 - Densidade a granel (DG), poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) e densidade energética (DE) dos coprodutos gerados do processamento dos frutos da macaúba. ....            | 96  |
| Tabela II-5 - Perda de massa (%) e massa residual (%) dos resíduos do processamento dos frutos. ....   | 98  |
| Tabela II-6 - Produtividade estimada de frutos, óleos e coproduto do processamento dos frutos. Dados embasados em dois cenários de produtividade. ....   | 99  |
| Tabela II-7 - Energia primária (GJ/ha) dos frutos, dos coprodutos dos frutos da palmeira macaúba em dois cenários agrícolas de produtividade e do bagaço de cana-de-açúcar provenientes das usinas de etanol. .... | 100 |
| Tabela II-8 - Massa fresca (MF) e massa seca(MS) do fruto e proporção da parte constituinte do fruto (PPF) de macaúba. ....  | 105 |
| Tabela II-9 - Propriedades físicas e químicas dos coprodutos do processamento dos frutos da macaúba. Densidade a granel (DG), poder calorífico superior (PCS) e densidade energética (DE).....                     | 106 |
| Tabela II-10 - Propriedades químicas e físicas do carvões vegetais produzidos pela carbonização do epicarpo e endocarpo do fruto da macaúba. ....  | 107 |

## RESUMO

EVARISTO, Anderson Barbosa, D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, Março 2015. **Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. Orientador: José Antônio Saraiva Grossi. Coorientadores: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, Leonardo Duarte Pimentel e Sebastião Martins Filho.

Desde o início do século XXI, o interesse pelos biocombustíveis vem crescendo em todo o mundo. O Brasil segue com essa mesma tendência, principalmente para o biodiesel, que apresentou aumentos expressivos em sua produção nos últimos anos. Esse crescimento tem promovido a busca por novas oleaginosas como a macaúba (*Acrocomia aculeata*). A macaúba é uma palmeira nativa do Brasil com elevado potencial de produção de óleo e coprodutos de alto valor energético. Essa palmeira produz cachos volumosos, cujos frutos apresentam elevado teor de óleo. O processamento dos frutos da macaúba para extração do óleo vegetal produz grande quantidade de coprodutos: casca (epicarpo), torta da polpa (mesocarpo), endocarpo e torta da amêndoa. Os conhecimentos das características físico-químicas e do volume produzido destes coprodutos ainda são incipientes. Em relação à colheita e conservação pós-colheita, há poucos trabalhos. Além disto, normalmente, os frutos são armazenados em lugares inadequados e sem controle fitossanitário, o que resulta em sua má conservação e, por consequência, em baixa qualidade do óleo do mesocarpo. O objetivo deste trabalho foi estudar técnicas de conservação pós-colheita dos frutos da macaúba e avaliar seu potencial bioenergético. Para isso, foram conduzidos cinco experimentos inéditos, sendo três na área de conservação pós-colheita e dois avaliando o potencial bioenergético dos coprodutos e a produção de biocombustíveis a partir desses coprodutos. Em relação aos experimentos sobre conservação pós-colheita, o primeiro experimento avaliou: forma de colheita dos frutos (colhidos diretamente da planta, e após 7, 14 e 21 dias de exposição dos frutos ao solo), uso de fungicida (nas doses 0, 0,2 e 0,4% v/v) em pós-colheita e o armazenamento dos frutos em galpão até 40 dias. Os resultados mostraram que há um acúmulo natural no teor de óleo do mesocarpo da macaúba após a colheita dos frutos e que o uso de tratamento químico (fungicida) é eficaz na manutenção da qualidade do óleo do mesocarpo por até 20 dias de armazenamento, quando os frutos foram colhidos na planta. Quando os frutos são

coletados aos 7 dias de exposição ao solo, deve-se processar imediatamente os frutos para obter uma qualidade do óleo do mesocarpo. No segundo experimento, foram avaliados o processo de maturação natural dos frutos e a qualidade do óleo do mesocarpo dos frutos de macaúba armazenados em silos do tipo secador-armazenador. O óleo do mesocarpo manteve qualidade satisfatória por aproximadamente 20 dias de armazenamento, independentemente do sistema de secagem-armazenagem (silos). No terceiro experimento, avaliou-se a associação de métodos químicos (fungicidas) e físicos (secagem) no tratamento de frutos de macaúba, visando à manutenção da qualidade do óleo do mesocarpo e o seu acúmulo natural após armazenamento à temperatura ambiente. Frutos secos em estufa a 60°C mantiveram baixa acidez do óleo do mesocarpo durante todo o tempo do seu armazenamento, 90 dias, tendo ocorrido perda significativa da estabilidade à oxidação do óleo. No estudo para investigar o potencial bioenergético dos coprodutos produzidos no processamento do fruto, estimou-se a produtividade de frutos em dois cenários: cenário 1, produtividade média de uma população nativa; e cenário 2, 10% das plantas nativas que obtiveram os maiores números de cacho por planta, simulando um cultivo comercial. Quantificou-se a produtividade de óleos e dos resíduos e foi feita uma caracterização físico-química dos resíduos com foco na produção de bioenergia. Os resultados desse experimento mostraram que algumas características físicas e químicas dos coprodutos são iguais e/ou superiores, havendo alguns resíduos agrícolas e florestais comumente utilizados como matéria-prima para a produção de biocombustíveis. Coprodutos como endocarpo apresentam alta densidade energética, elevados teores de lignina e alto carbono fixo e baixo teor de cinzas, que conferem vantagens adicionais em sua utilização para a produção de biocombustíveis sólidos. No segundo experimento, foi feita a carbonização da casca e do endocarpo do fruto da macaúba. O carvão de ambos os coprodutos apresentou alta densidade aparente e carbono fixo. O rendimento gravimétrico é semelhante a outros produtos utilizados para a produção de carvão vegetal, o que mostra seu potencial. Conclui-se que, para a manutenção do óleo do mesocarpo do fruto da macaúba para utilização como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel, é aconselhável que a colheita dos frutos seja na planta. Para promover acúmulo de óleo no mesocarpo e boa conservação dos frutos em pós-colheita, sugere-se aplicação de fungicida logo após a colheita e que o armazenamento seja feito por até 20 dias, em galpão ou em silos do tipo secador-armazenador. Além disto, os coprodutos dos frutos

da macaúba apresentaram boas características para a produção de biocombustíveis sólidos.

## ABSTRACT

EVARISTO, Anderson Barbosa, D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, March 2015. **Post-harvest conservation and bioenergetic potential of macaúba fruits (*Acrocomia aculeata*)**. Advisor: José Antônio Saraiva Grossi. Co-advisors: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, Leonardo Duarte Pimentel and Sebastião Martins Filho.

Since the beginning of the 21<sup>st</sup> century, interest in biofuels is growing throughout the world. Brazil follows with that trend, especially for biodiesel, which showed significant increases in production in recent years. This growth has promoting the search for new oil-bearing as macaúba (*Acrocomia aculeata*). The macauba, also known as macaw palm, [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.] is a native tree from Brazil with high vegetable oil production potencial and high energy co-products. This plant produces voluminous bunches, whose fruits have high oil content. The processing of the fruits to vegetable oil extraction generates a lot co-products such as husks (epicarp), pulp pie (mesocarp pie), endocarp and kernel pie, all with potencial to produce biofuels. The knowledge of the physico-chemical characteristics and the production volume of these co-products are still incipient. For the harvest and post-harvest conservation, there are few studies. Furthermore, normally the fruits are stored in inappropriate place and without phytosanitary control, which results in a poor conservation, and therefore in poor quality of the mesocarp oil. This work aimed was study postharvest conservation techniques on macauba fruits and assess the bioenergetic potential of the fruits. For this there were performed unpublished five experiments, three in the post-harvest conservation area and two evaluating the energetic potential of co-product and production of biofuels from this co-product. Regarding experiments on post-harvest conservation, the first experiment investigated : harvest form of the fruits (harvested directly from the plants and after 7, 14 and 21 days of exposure to the ground), use of fungicide (at dosages of 0, 0.2 and 0.4% v / v) in post-harvest and stored of the fruits and fruits of storage in warehouse until 40 days. The results show that there is a natural oil accumulation in the macauba pulp after harvest and the use of chemical treatment (fungicide) is effective in maintaining the oil quality for up to 20 days of storage when the fruits were harvested in the plant. When the fruits are collected at 7 days of exposure to the soil, the fruit must be processed immediately for a mesocarp oil quality. In the second experiment, were evaluated the natural maturation process and the conservation

of oil quality in macauba fruit pulp storage in dryer-storer. The mesocarp oil maintained a satisfactory quality for approximately 20 days of storage, regardless of the dryer-storer system. In third experiment, were evaluated the association of chemical (fungicides) and physical (drying) techniques in the treatment of macauba fruit in order to maintain the oil quality and the natural accumulation of oil in the pulp after storage at room temperature. Drying at 60 °C promoted the maintenance of the low acidity of the mesocarp oil throughout the fruit storage time (90 days), but there is a significant loss of oil oxidation stability. In the experiments to investigate the energy potential of the fruit processing waste and its use in the production of biofuels, we first estimated the fruit yield in two scenarios (scenario 1: the average productivity of a native population and scenario 2: 10% of the native plants who obtained the highest number of bunches per plants, simulating a commercial crop), oil and co-products productivity was quantified and a physical-chemical characterization of co-products was carried focusing on bioenergy. The results of this experiment showed that some physical and chemical characteristics of byproducts are equal and / or superior, than a few agricultural and forestry residues commonly used as feedstock for production of biofuels. Co-products as endocarp feature high energy density, high lignin content, fixed carbon and low ash content which gives additional advantages in their use for the production of solid biofuels. No segundo experimento, foi feita a carbonização da casca e do endocarpo do fruto da macaúba. O carvão de ambos os coprodutos apresentou alta densidade aparente e carbono fixo. O rendimento gravimétrico é semelhante a outros produtos utilizados para a produção de carvão vegetal, o que mostra seu potencial. Conclui-se que, para a manutenção do óleo do mesocarpo do fruto da macaúba para utilização como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel, é aconselhável que a colheita dos frutos seja na planta. In the second experiment took place carbonization of co-products, endocarp and husks of the macauba fruit. The both charcoal showed high density and fixed carbon. The gravimetric yield is similar to other products used for charcoal production, which shows its potential. In conclusion, for the mesocarp oil maintenance of the fruit of macaúba for use as a source of raw material for biodiesel production, it is advisable to harvest the fruit is in the plant. To promote oil accumulation in the mesocarp and good conservation of fruit in post-harvest, suggested application fungicide just after harvest and storage to be made for up to 20 days in warehouse or in

the dryer-storer. Furthermore, the coproducts of fruit macaúba showed good characteristics for the production of solid biofuels.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Desde o início do século XXI, o interesse por biocombustíveis vem crescendo em todo o mundo e se refletindo no aumento da produção de biocombustíveis a cada ano, principalmente no Brasil, Estados Unidos e União Europeia. O etanol e o biodiesel são os principais biocombustíveis produzidos no mundo. No Brasil, o biodiesel apresentou aumentos expressivos em sua produção nos últimos anos (EPE, 2013). Esse crescimento tem promovido a busca por oleaginosas com altas produtividades de óleo para satisfazer as crescentes demandas por óleo vegetal e garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva. Neste contexto, o interesse por oleaginosas com alto potencial produtivo como a Macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart] é crescente.

A macaúba é uma palmeira oleífera, nativa das florestas tropicais e subtropicais da América Latina. No Brasil, é encontrada por todo país, principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (HENDERSON et al., 1995). Essa espécie é monoica, apresenta inflorescência em espádice e emite geralmente quatro cachos por planta/ano (MANFIO et al., 2011). Os frutos são do tipo drupa, esféricos, com coloração marrom, com peso médio de 66 g. São constituídos por epicarpo (casca), mesocarpo (polpa), endocarpo e amêndoa, com teor de óleo variando de 55 a 69% na matéria seca da polpa e 55 a 58% na matéria seca da amêndoa (CETEC, 1983). A macaúba destaca-se também pela alta produção de frutos, em torno de 62 kg/planta (MOTOIKE et al., 2013), e pelos diversos coprodutos produzidos quando a finalidade é a extração de óleos.

O óleo do mesocarpo do fruto da macaúba apresenta excelente qualidade como matéria-prima do biodiesel, por ter alta concentração de ácido graxo oleico, baixa acidez e boa estabilidade à oxidação (HIANE et al., 2005; COIMBRA; JORGE, 2011). Entretanto, o sistema de produção da macaúba adotado no momento tem por base o extrativismo, aproveitando-se os extensos povoamentos nativos desta planta no Brasil. Nesse sistema, a colheita dos frutos não é feita na planta, mas quando eles caem naturalmente no chão, geralmente no fim da safra, quando os frutos apresentam visível estágio de degradação por microrganismos. Além disso, os frutos são armazenados sem nenhum controle, resultando em pouco rendimento de óleo durante a extração e em baixa qualidade do óleo extraído.

Além do atual sistema rudimentar de colheita/coleta e conservação pós-colheita dos frutos, estudos para utilização energética dos coprodutos gerados no processamento dos frutos da macaúba são escassos e incipientes. Para utilização destes coprodutos

como fonte para produção de biocombustíveis, é necessário conhecer o volume gerado e suas propriedades físico-químicas, que podem influenciar nos processos de conversão da biomassa em biocombustíveis.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi estudar técnicas de conservação pós-colheita dos frutos da macaúba e avaliar seu potencial bioenergético. Para isso, foram conduzidos cinco experimentos inéditos, sendo três na área de conservação pós-colheita e dois avaliando o potencial bioenergético dos coprodutos e a produção de biocombustíveis a partir desses coprodutos.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Clima e biocombustíveis**

Nos últimos anos, o mundo e a sociedade vêm passando por diversas transformações ocasionadas pelas mudanças do clima. Essas mudanças climáticas globais e seus efeitos são considerados os maiores desafios da humanidade no início do século XXI (RIBEIRO et al., 2011). O último relatório, AR5, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), da Organização das Nações Unidas (ONU) mostra a influência humana na alteração do clima e as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa, que têm aumentando bastante durante a história. Esta recente mudança climática já promoveu impactos sobre os sistemas humanos e naturais (IPCC, 2014).

Em relação às emissões de gases de efeito estufa, o uso dos combustíveis fósseis tem grande impacto. Em 1990, 59% das emissões antropogênicas dos gases de efeito estufa foram ocasionadas pela utilização dos combustíveis fósseis e de processos industriais, chegando a 65% das emissões em 2010 (IPCC, 2014). O uso de combustível fóssil (petróleo, carvão mineral e gás natural) representa 80,1% do fornecimento de energia no mundo (GOLDEMBERG, 2007). Uma forma de atenuar a emissão de gases de efeito estufa, principalmente o CO<sub>2</sub>, é o uso de fontes de energias renováveis em substituição a fontes de energias provenientes dos combustíveis fósseis. O uso de biocombustíveis (sólido, líquido e/ou gasoso) é uma alternativa importante na redução da utilização de combustíveis não renováveis, principalmente os combustíveis derivados do petróleo.

O atual desafio do setor rural do Brasil e do mundo é desenvolver e implementar tecnologias que suprimam a demanda por produção de alimentos, fibra, energia, produtos madeireiros e não madeireiros, de forma que haja retornos econômicos, observando os aspectos ambientais, sociais e econômicos. Este desafio ainda se torna mais difícil pelas alterações do clima, crescimento populacional, atuais padrões de consumo da humanidade e pela necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Uma possível solução para este problema é a produção biocombustíveis a partir das culturas energéticas. Entretanto, a utilização dos biocombustíveis tem sido acompanhada de discussões sobre a sustentabilidade e a viabilidade financeira das cadeias produtivas. Logo, a utilização de oleaginosas de baixa produtividade (óleo/ha)

com práticas culturais que promovem elevada emissão de gases nocivos ao meio ambiente tem sido questionada por não contribuir de forma sustentável com a mitigação do aquecimento global. Este fato tem pressionado o setor produtivo a buscar matérias-primas oleaginosas perenes, que não sejam utilizadas tradicionalmente na agricultura com fins alimentícios, para atender a demanda de óleo vegetal na produção de biocombustíveis.

Neste contexto, as palmáceas têm sido intensamente pesquisadas em função da elevada produtividade de óleo por hectare cultivado, o que justifica a produção de óleo vegetal para produção de biodiesel e bioquerosene. Entre as palmáceas, destaca-se para este fim a macaúba (*Acrocomia aculeata*), espécie nativa da América Latina, encontrada em grandes maciços naturais no Brasil e no Paraguai.

## 2.2 Macaúba

A Macaúba [*Acrocomia aculeata*(Jacq.) Lodd.exMart] é uma palmeira oleaginosa que ocorre naturalmente nas Américas Central e do Sul, com maiores concentrações no Brasil, nas regiões do Sudeste e Centro-Oeste (HENDERSON et al., 1995). É uma planta arbórea, monoestipada, podendo chegar a 16m de altura (SCARIOT; LLERAS, 1991). Esta espécie tem adaptabilidade a condições climáticas diversas, encontrando maciços naturais, Figura 1A, no estado do Pará (clima equatorial) Minas Gerais e Paraná (clima subtropical) (PIMENTEL, L. D. et al., 2011). Segundo Motta et al. (2002), a macaúba ocorre naturalmente em áreas com fertilidade natural mais elevada e vegetação primitiva de fisionomia florestal, evitando extremos de deficiência de nutrientes e água.

A floração ocorre geralmente nos meses de agosto a novembro (SCARIOT; LLERAS, 1991). É uma planta monoica, inflorescência em espádice (figura 1B) e emite geralmente quatro cachos por planta/ano(MANFIO, C. E. et al., 2011). Os cachos são grandes e volumosos, Figura 1C, contendo de 300 a 500 frutos do tipo drupa, esféricos, com coloração marrom-amarelada quando maduros (figura 1D). Os frutos têm peso médio de 66 g, sendo constituídos pelo epicarpo (casca) (23% b.s.), mesocarpo (polpa) (46,7% b.s.), endocarpo (23,8% b.s.) e amêndoa (6,3% b.s.), com teor de óleo de 55-69% e 55-58% na polpa e amêndoa, respectivamente, nos maciços naturais encontrados no estado de Minas Gerais(CETEC, 1983).

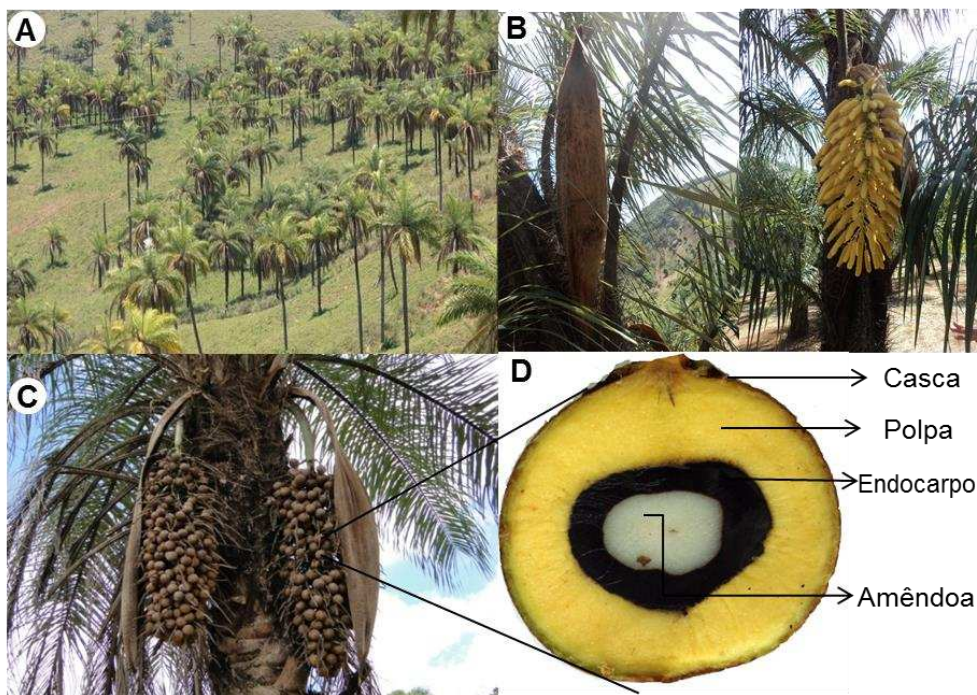


Figura 1 - População nativa de macaúba (A) fonte: Luciano Murta, arquivo pessoal; inflorescência em espádice (B); cachos (C); corte longitudinal do fruto (D).

Os óleos têm características distintas. Em relação ao perfil de ácidos graxos, o óleo do mesocarpo tem, em média, 27,10% de ácidos graxos saturados e 72,9% de ácidos graxos insaturados, com predominância do ácido oleico (18:1) (52,57%); enquanto amêndoa tem 59,92% de ácidos graxos saturados e 40,09% de ácidos graxos insaturados, sendo o ácido graxo predominante o ácido láurico (12:0) (43,6%). Tanto o óleo da polpa quanto o da amêndoa têm altos valores de estabilidade oxidativa, 11,32 e 30,39 horas, respectivamente (CETEC, 1983, COIMBRA et al., 2011).

Além da qualidade dos óleos e do seu alto teor na polpa e na amêndoa, macaúba se destaca pela alta produção de frutos, óleos e resíduos após o processamento. CETEC (1983) estima produtividade de 24t de frutos/ha/ano, o que equivale a 4,8tde óleo/ha/ano. Ciconini et al. (2013), estudando uma população nativa no bioma cerrado, Mato Grosso do Sul, estimaram uma produtividade de 25,52t de frutos.ha<sup>-1</sup>, 1,58t de óleos (polpa e amêndoa), 5,27t.ha<sup>-1</sup> de casca, 6,8t.ha<sup>-1</sup> de endocarpo, 11,05t.ha<sup>-1</sup> de torta da polpa e 0,81 t.ha<sup>-1</sup> de torta da amêndoa. Tanto os óleos quanto os coprodutos gerados no processamento dos frutos da macaúba podem ser utilizados na indústria alimentícia e de cosméticos, setor de energia, para alimentação animal e outros fins. Entretanto, vale ressaltar a importância da conservação pós-colheita dos frutos da macaúba para garantir a manutenção das suas propriedades físicas e químicas.

### 2.3 Pós-colheita dos frutos da macaúba

Frutos são produtos perecíveis e há necessidade de sua conservação em pós-colheita para manutenção das suas propriedades físicas e químicas. Coelho et al. (1994) relatam que grande parte das perdas em pós-colheita são devidas à falta de tratamento, manuseio adequado e vulnerabilidade ao ataque de microrganismos. As perdas em pós-colheita ocorrem entre 30-50% da produção nacional de frutos e legumes.

A exploração dos frutos da macaúba tem sido feita de forma extrativista, que, muitas vezes, proporciona baixa produtividade e má qualidade dos frutos (PIRES et al., 2013). No instante em que o órgão vegetal (fruto, que é parte comercial) é destacado da planta mãe, inicia-se o processo de deterioração (SIMSON, 2010). Este processo de deterioração resulta da combinação de fatores internos e externos aos órgãos vegetais. A temperatura e a umidade do ar são os fatores do meio mais importantes na determinação da extensão da vida pós-colheita. A respiração e a produção de etileno dos produtos hortícolas são influenciadas pela temperatura e, quando ocorrem em taxas elevadas, na maioria dos casos, há redução do período de conservação dos frutos. Além disto, a temperatura e a umidade do ar interferem na infecção e no desenvolvimento de microrganismos fitopatogênicos e saprofíticos. Estes microrganismos são responsáveis por grande parte das perdas pós-colheita em produtos hortícolas (CHITARRA; CHITARRA, 1990), sendo os fungos responsáveis por cerca de 80 a 90% do total de perdas (GULLINO, 1994).

Para reduzir as perdas em pós-colheita, principalmente por infestação de microrganismos, são empregados diversos métodos físicos, químicos e/ou biológicos, para aumentar a vida pós-colheita de produtos hortícolas. Os métodos químicos atuam na fisiologia e controle de microrganismos deteriorantes pela 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). Radiação, temperatura e ventilação são as principais ferramentas utilizadas nessa modalidade de controle (GHINI; BETTIOL, 1995). Entre os métodos físicos para conservação pós-colheita, a secagem artificial é amplamente empregada, principalmente em sementes oleaginosas. Este método baseia no fato de microrganismos, enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitarem de água para suas atividades. A redução da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenagem leva à diminuição

da sua atividade, do desenvolvimento de microrganismos e, conseqüentemente, da velocidade de ocorrência de reações químicas de degradação do produto (CHRISTENSEN; KAUFMANN, 1974; GONELI et al., 2007).

## 2.4 Energia da biomassa

As plantas são capazes de transformar energia luminosa em energia química através da fotossíntese, o que permite o acúmulo de energia em sua biomassa. Em geral, a fotossíntese converte menos de 1% da energia solar interceptada em energia química, estocando em diversos compostos orgânicos. O acúmulo desta energia pode ser conservado em diversos compostos orgânicos como polissacarídeos (celulose e hemicelulose), proteínas, triglicerídeos (óleos), entre outros. O homem utiliza a energia provinda da biomassa há milhares de anos em forma de queima direta ou em processos de conversão. Há um milhão de anos A.C, o Homo erectus, nosso ancestral, aprendeu a dominar o fogo, cujo combustível eram arbustos, troncos e gravetos de árvores.

Nos dias de hoje, o uso da biomassa contribui com 13,2% da demanda total de energia primária (IEA, 2014). Na matriz energética nacional, algumas biomassas como a cana-de-açúcar e a lenha são as principais matérias-primas na produção de energia. Os produtos da cana-de-açúcar (bioetanol e bioeletricidade) representam 19,1% da matriz energética nacional, enquanto a lenha participa em 9,5% (EPE, 2014).

Existem diversos processos de transformação da biomassa em biocombustíveis líquidos, sólidos e/ou gasosos, podendo estes processos ser físicos, químicos, termoquímicos ou biológicos. Para conversão da biomassa em biocombustíveis, é fundamental que se faça sua caracterização quanto às propriedades físico-químicas destes materiais, que podem influenciar diretamente nos processos de conversão. Assim, uma vez caracterizado, pode-se prever a produtividade, fazer análises de viabilidades técnicas e econômicas e aprimorar tecnologias para conversão da biomassa de modo mais eficiente. Isto trará maior competitividade das matérias-primas no cenário energético, além da maior sustentabilidade destas cadeias produtivas em relação às fontes de energia não renováveis (BIAGINI et al., 2006; NAIK et al., 2010).

## 2.5 Referências

BENATO, E. A. Controle de doenças pós-colheita em frutas tropicais. **Summa phytopatológica**, v. 25, n. 1, p. 90-93, 1999.

BIAGINI, E.; BARONTINI, F.; TOGNOTTI, L. Devolatilization of biomass fuels and biomass components studied by TG/FTIR technique. **Industrial & engineering chemistry research**,v. 45, n. 13, p. 4486-4493, 2006.

CETEC, F. C. T. D. M. G. **Programa Energia. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Relatório final.** Belo Horizonte, p.152. 1983

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** Esal/Faepe Lavras, 1990.

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

COELHO, A. Qualidade pós-colheita de pêssegos. **Informe Agropecuário**,v. 17, n. 180, p. 31-39, 1994.

CICONINI, G.; FAVARO, S.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C.; TAPETI, C.; MIYAHIRA, M.; BEARARI, L.; GALVANI, F.; BORSATO, A.; COLNAGO, L. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**,v. 45, p. 208-214, 2013.

EPE -EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional (BEN).** EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Rio de Janeiro–RJ, Brasil. 2014.

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

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, p. C1156-C1161, 2011.

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

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a Sustainable Energy Future. **Science**,v. 315, p. 808-810, 2007.

GULLINO, M. L. Lotta biologica a funghi agenti di marciumi della frutta in post-raccolta. **Informatore Fitopatologico**, 1994.

HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. Field guide to the palms of the Americas. New Jersey: Princeton University Press, 1995.

HIANE, P.; RAMOS FILHO, M.; RAMOS, M.; MACEDO, M. Bocaiúva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: characterization and fatty acid composition. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 3, p. 256-259, 2005.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistic**. IEA. Paris, France. 2014

MANFIO, C. E.; RESENDE, M. D. V. D.; SANTOS, C. E. M. D.; MOTOIKE, S. Y.; LANZA, M. A.; PAES, J. M. V. Melhoria genética da Macaúba. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte. 32: 32-40 p. 2011.

MOTTA, P. D.; CURI, N.; OLIVEIRA-FILHO, A. D.; GOMES, J. B. V. Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 7, p. 1023-1031, 2002.

NAIK, S.; GOUD, V. V.; ROUT, P. K.; JACOBSON, K.; DALAI, A. K. Characterization of Canadian biomass for alternative renewable biofuel. **Renewable energy**, v. 35, n. 8, p. 1624-1631, 2010.

PIMENTEL, L.; MANFIO, C.; MOTOIKE, S.; PAES, J.; BRUCKNER, C. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. In. **Macaúba: potencial e sustentabilidade para o biodiesel**. Belo Horizonte. 32: 20-30p. 2011.

PIRES, T. P.; DOS SANTOS SOUZA, E.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, 2013.

RIBEIRO, R. M.; DIAS, L. A. D. S.; BERGER, P. G.; DIAS, D. C. F. D. S. **AGROENERGIA na mitigação das mudanças climáticas globais, na segurança energética e na produção social** 2011.

SCARIOT, A. O.; LLERAS, E. Reproductive Biology of the Palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**, v. 23, n. 1, p. 12-22, 1991.

SIMSON, S. P. **Post-harvest technology of horticultural crops**. Oxford Book Company, 2010.

# **CAPÍTULO I**

## **I CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DOS FRUTOS DA MACAÚBA**

## CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DOS FRUTOS DA MACAÚBA

### RESUMO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira adaptada a diversas condições edafoclimáticas, com alta produtividade, sendo estudada ultimamente como matéria-prima para a produção de biocombustíveis. Seus frutos têm elevado teor de óleo de boa qualidade para a produção do biodiesel. Entretanto, a exploração comercial dessa espécie ainda hoje ocorre de forma extrativista, proporcionando, por sua vez, baixa produtividade e má qualidade dos frutos. Este capítulo objetivou avaliar técnicas de pós-colheita com intuito de garantir a manutenção da qualidade do óleo do mesocarpo durante o armazenamento dos frutos. Foram conduzidos três experimentos. O primeiro investigou o uso de fungicida (0, 0,2 e 0,4% v/v) em pós-colheita em frutos da macaúba colhidos diretamente das plantas até 21 dias de exposição dos frutos ao solo. Avaliou-se a qualidade do óleo durante o armazenamento em galpão, em temperatura ambiente, até 40 dias. O segundo experimento avaliou o processo de maturação natural dos frutos e a manutenção da qualidade do óleo do mesocarpo de frutos de macaúba armazenados em silos secador-armazenador, influenciado pelo fluxo de ar e tratamento de frutos com fungicida aplicado após a colheita, durante 65 dias de armazenamento em silos do tipo secador-armazenador. O último experimento avaliou a associação de métodos químicos (fungicidas) e físicos (secagem) no tratamento de frutos de macaúba, visando à manutenção da qualidade do óleo e ao acúmulo natural do óleo na polpa após armazenamento à temperatura ambiente. Os frutos foram colhidos diretamente na planta. Foi feito tratamento químico com fungicidas, e os frutos foram mantidos durante 18 dias em temperatura controlada para acúmulo natural de óleo na polpa. Em seguida, foi feita uma secagem a 60°C em um secador de camada fina. Logo após a secagem, os frutos foram armazenados em um galpão à temperatura ambiente durante 90 dias, avaliando-se a qualidade do óleo do mesocarpo. Os resultados dos experimentos mostraram acúmulo natural no teor de óleo do mesocarpo da macaúba após a colheita dos frutos e que o uso de tratamento químico (fungicida) foi eficaz na manutenção da qualidade óleo por até 20 dias de armazenamento quando os frutos foram colhidos na planta e por até 7 dias de armazenamento quando os frutos foram colhidos com até 7 dias de exposição no solo. O óleo do mesocarpo manteve qualidade satisfatória por 20 dias aproximadamente de armazenamento, independentemente do sistema de secagem-armazenagem (silos). A partir dos 30 dias de armazenamento dos frutos, o uso de ar

insuflado no silo (fluxo de ar de aeração ou secagem) não foi capaz de retardar os processos de degradação do óleo do mesocarpo. Frutos secos em estufa a 60°C mantiveram a baixa acidez do óleo do mesocarpo durante todo o tempo de armazenamento dos frutos (90 dias), tendo ocorrido redução significativa do período de indução do óleo do mesocarpo (estabilidade à oxidação). Os trabalhos apresentados neste capítulo contribuem para o desenvolvimento dos primeiros sistemas de conservação dos frutos de macaúba, visando à manutenção da qualidade do óleo do mesocarpo com baixo investimento inicial e baixo custo operacional, uma vez que trabalhos sobre conservação pós-colheita de frutos de macaúba ainda são incipientes.

**Palavras-chaves:** *Acrocomia aculeata*, fungicida, silo secador-armazenador, secagem, óleo.

## POST-HARVEST CONSERVATION OF MACAUBA FRUITS

### ABSTRACT

The macauba (*Acrocomia aculeata*) is a palm tree adapted to different climate conditions, with high productivity being studied lately as an important species as raw material for the production of biofuels. Its fruits have high oil content ideal for biodiesel production due to oil quality. However, the commercial exploitation of this species still occurs in extractive way, which in turn provides low productivity and poor quality of fruit. This chapter aimed to evaluate post-harvest techniques to ensure the maintenance of mesocarp oil quality during storage of fruits. For this, three experiments were carried out. The first one investigated the use of fungicide (at dosages of 0, 0.2 and 0.4% v / v) in fruits harvested directly from the plants and until 21 days of exposure to the ground. We evaluated the quality of the oil during the fruit storage at room temperature up to 40 days. The second experiment evaluated the natural maturation process and the conservation of oil quality in macauba fruit pulp during 65 days of storage in dryer-storer under airflow at room temperature or no air flow and the presence and absence of fungicide applied after harvest. In the third experiment, we evaluated the association of chemical (fungicides) and physical (drying) techniques in the treatment of macauba fruit in order to maintain the oil quality and the natural accumulation of oil in the pulp after storage at room temperature. For this fruits were harvested directly from the plant and treated with fungicides. Then the fruits were stored for 18 days under controlled temperature to promote the natural accumulation of oil in the pulp and then undergoes a drying treatment at 60 °C in a thin layer dryer. Immediately after drying, fruits were stored in a warehouse at ambient temperature for 90 days to evaluate the quality of the pulp oil. The results show that there is a natural oil accumulation in the macauba pulp after harvest. The use of chemical treatment (fungicide) is effective in maintaining the oil quality for up to 20 days of storage when the fruits were harvested in the plant and for up to 7 days of storage when the fruits were harvested with up to 7 days of soil contact. The mesocarp oil maintained a satisfactory quality for 20 days of storage, approximately, regardless of the dryer-stores system. From 30 days of fruit storage, the use of air flow into the dryer-stores system (aeration airflow or drying) was not able to slow the mesocarp oil degradation processes. Drying at 60 °C promoted the maintenance of the low acidity of the mesocarp oil throughout the fruit storage time (90 days), but there is a significant loss of oil oxidation stability. The experiments discussed

in this chapter contribute to the development of the first conservation systems for macauba fruits aiming the maintenance of mesocarp oil quality with low initial investment and low operating costs, since work on macauba postharvest are still incipient.

**Keywords:** *Acrocomia aculeata*, fungicide, dryer-storer, drying, oil

## I INTRODUÇÃO

A utilização dos biocombustíveis tem sido acompanhada de discussões sobre a sustentabilidade e a viabilidade financeira das cadeias produtivas. Neste contexto, a utilização de oleaginosas de baixa produtividade (óleo/ha), com elevado grau de mecanização e de emissão de gases nocivos ao meio ambiente, tem sido questionada, por não contribuir de forma sustentável com a mitigação do aquecimento global. Isto tem pressionado o setor produtivo a buscar matérias-primas oleaginosas perenes, que não são utilizadas tradicionalmente na agricultura com fins alimentícios para atender a demanda de óleo vegetal na produção de biocombustíveis.

Neste contexto, as palmáceas têm sido intensamente pesquisadas em função da elevada produtividade de óleo por hectare cultivado, justificando a produção de óleo vegetal para produção de biodiesel e bioquerosene. Entre as palmáceas, destaca-se para este fim a macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius], espécie nativa da América Latina, encontrada em grandes maciços naturais no Brasil e no Paraguai.

A macaúba é uma palmeira arborescente que pode atingir até 16 m de altura. Sua ocorrência natural está associada a áreas abertas (sem restrição luminosa) em biomas cuja vegetação natural é caracterizada por florestas tropicais e subtropicais, onde comumente é encontrada nas áreas antropizadas com pastagens ou associadas a lavouras (SCARIOT et al., 1995). Seu fruto é do tipo drupa, com diâmetro variando de 25 a 60 mm. O epicarpo é duro e fibroso, o mesocarpo tem textura oleosa e apresenta elevado teor de fibras. A castanha se subdivide em endorcapo e amêndoa. São observadas altas concentrações de óleo no mesocarpo e na amêndoa, sendo estes óleos de grande importância para a indústria oleoquímica e para o setor energético (MOTOIKE; KUKI, 2009). O óleo do mesocarpo apresenta excelente qualidade como matéria-prima na indústria de biodiesel em função da predominância de ácidos graxos insaturados ( $\pm 73\%$ ), com destaque para o ácido oleico ( $\pm 52\%$ ) (COIMBRA; JORGE, 2011). Além da qualidade do óleo, a macaúba apresenta alta produção de frutos por planta, cerca de 60 kg/planta, podendo atingir produtividade em plantios comerciais de 24 t.ha<sup>-1</sup> de frutos, o que corresponde, aproximadamente, a 4.8 t.ha<sup>-1</sup> de óleo (CETEC 1983, MOTOIKE; KUKI, 2009)

A exploração dos frutos da macaúba tem sido feita de forma extrativista, proporcionando, muitas vezes, baixa produtividade e má qualidade dos frutos (PIRES et

al., 2013). No instante em que o órgão vegetal (fruto, que é parte comercial) é destacado da planta mãe, inicia-se o processo de deterioração (SIMSON, 2010). Este processo de deterioração resulta da combinação de fatores internos e externos aos órgãos vegetais. A temperatura e a umidade do ar são os fatores do meio, mais importantes na determinação da extensão da vida pós-colheita. A respiração e a produção de etileno dos produtos hortícolas são influenciadas pela temperatura e, quando ocorrem em taxas elevadas, na maioria dos casos, há redução do período de conservação dos frutos. Além disto, a temperatura e a umidade do ar interferem na infecção e no desenvolvimento dos microrganismos fitopatogênicos e saprofíticos. Estes microrganismos são responsáveis por grande parte das perdas pós-colheita em produtos hortícolas (CHITARRA; CHITARRA, 1990), sendo os fungos responsáveis por cerca de 80 a 90% do total de perdas (GULLINO, 1994).

Perdas na quantidade e/ou na qualidade de produtos agrícolas ocorrem nas fases de produção, colheita, em pós-colheita e no transporte. Em pós-colheita, têm sido observadas perdas em diversos produtos hortícolas, que variam de acordo com a espécie e o local. De forma geral, cerca de um terço dos produtos hortícolas não são consumidos pelos seres humanos devido a perdas em pós-colheita (SIMSON, 2010).

Diversos métodos físicos, químicos, biológicos são empregados para manutenção da qualidade dos produtos hortícolas. Entretanto, em muitos destes métodos, são necessários altos investimentos, além da necessidade de elevado input energético, como o resfriamento, por exemplo. Estes métodos são inviáveis para uso em matérias-primas de médio a baixo valor de mercado. Para estes produtos, a utilização de agroquímicos, a secagem artificial e/ou a combinação destes métodos podem ser alternativas eficientes para produtos de menor valor agregado, produzidos em larga escala, a exemplo das matérias-primas destinadas à produção de biocombustíveis.

Os métodos químicos atuam na fisiologia e controle de microrganismos deteriorantes pela utilização de compostos químicos específicos. Os métodos físicos podem agir diretamente sobre os patógenos, além de atuar sobre a fisiologia do fruto, provocando alterações na respiração, produção de hormônios e na atividade enzimática, retardando o amadurecimento e provocando alterações na qualidade dos frutos (BENATO, 1999; SIMSON, 2010).

Estudos sobre colheita e armazenamento dos frutos da macaúba são escassos, apesar da importância do conhecimento desta área para viabilizar a produção de

macaúba em larga escala e, na sequência, produção de biocombustíveis. No sistema extrativista, praticado atualmente na exploração da macaúba, os frutos são coletados após a queda natural, geralmente no fim da safra. Neste sistema, pela exposição do fruto ao solo, os frutos são coletados com visível estágio de degradação por microrganismos. Além disso, os frutos são armazenados sem nenhum controle, resultando em baixo rendimento de óleo e baixa qualidade do óleo extraído na indústria processadora. Neste sentido, é fundamental estudar os impactos da forma de colheita, bem como os tratamentos pós-colheita, visando à manutenção da qualidade dos frutos ao longo do armazenamento. Sendo assim, foram conduzidos três experimentos com intuito de investigar as atuais formas de colheita, associadas a tratamentos físico-químicos de baixo custo operacional, visando ao armazenamento do fruto da macaúba mantendo a qualidade óleo do mesocarpo para sua utilização na produção de biodiesel.

## **I.1 EXPERIMENTO I**

### **I.1.1 INVESTIGAÇÃO DAS FORMAS DE COLHEITA E ADOÇÃO DE MEDIDAS PÓS-COLHEITA EM FRUTOS DE MACAÚBA.**

#### **I.1.2 Objetivos**

Investigar formas de colheita, período de armazenamento e utilização de produtos fitossanitários na conservação dos frutos de macaúba em pós-colheita para a manutenção da qualidade do óleo do mesocarpo.

#### **I.1.3 Materiais e Métodos**

I.2.3.1 Local de coleta, montagem do experimento e delineamento estatístico.

Os frutos avaliados neste trabalho foram coletados na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), situada no município de Sete Lagoas, estado de Minas Gerais, Brasil, limitado pelas coordenadas plano-retangulares  $19^{\circ}26'57,53''S$  -  $44^{\circ}09'25,16''O$ ;  $19^{\circ}26'29,09''S$  -  $44^{\circ}09'17,69''O$ , datum WGS 84. Na safra 2011/2012, foram selecionadas e georreferenciadas 100 plantas de macaúba (Figura I-1). Destas plantas, foram colhidos em uma única colheita cachos fisiologicamente maduros, utilizando uma estrutura protetora (colchão) para evitar danos mecânicos (Figuras I-2A e I-2B).

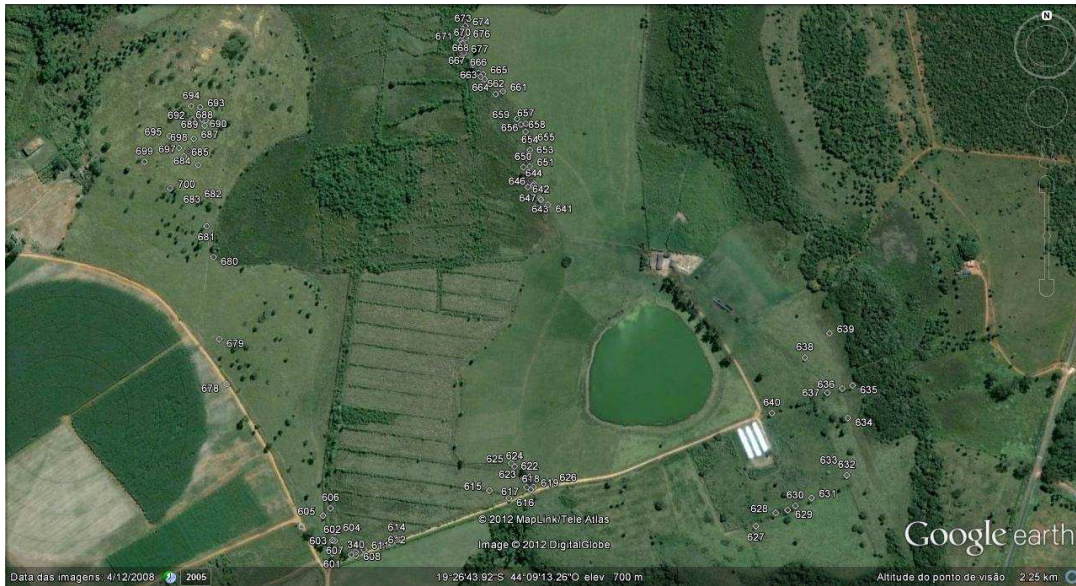


Figura I-1 - Plantas de macaúba georreferenciadas, destinadas à coleta de frutos para condução de experimentos, localizadas na Fazenda experimental Epamig em Sete Lagoas MG. Fonte: Google Earth.

Após a colheita, os frutos foram selecionados (retirados os frutos danificados, e visivelmente contaminados por microrganismos) e homogêneos ( todos os frutos coletados foram misturados) para compor as unidades experimentais dos tratamentos (Figura I-2C). Cada unidade experimental foi composta por 20 frutos, os quais foram individualizados em sacos de polietileno tipo rede (Figura I-2D). O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, no esquema fatorial  $4 \times 3 \times 5$ , sendo 4 períodos de exposição dos frutos ao solo (0, 7, 14 e 21 dias), 3 doses de fungicida no tratamento que antecedeu o armazenamento (0, 0,02 e 0,04 %v/v ) e 5 períodos de armazenamento dos frutos em galpão de alvenaria à temperatura ambiente (0, 10, 20, 30 e 40 dias).



Figura I-2 - Coleta dos frutos (2A e 2B), homogeneização dos frutos (2C) e unidade experimental (2D).

Após o empacotamento dos frutos, as amostras correspondentes ao tratamento em que a colheita foi na planta, zero dia de exposição ao solo (E0), foram separadas e as demais permaneceram no campo em diferentes períodos de tempo para simular a colheita após 7, 14 e 21 dias de exposição ao solo (E7, E14 e E21, respectivamente) com o objetivo de avaliar o efeito das intempéries (umidade, temperatura, contato com solo e sua microbiota, entre outros) (Figuras I-3A, I-3B e I-3C). As unidades experimentais foram aleatoriamente dispostas sob uma estrutura de tela construída sob a copa de duas plantas de macaúba adultas em área de pastagem, visando à proteção dos frutos contra ataques de bovinos e animais silvestres (Figuras I-3A, I-3B e I-3C).

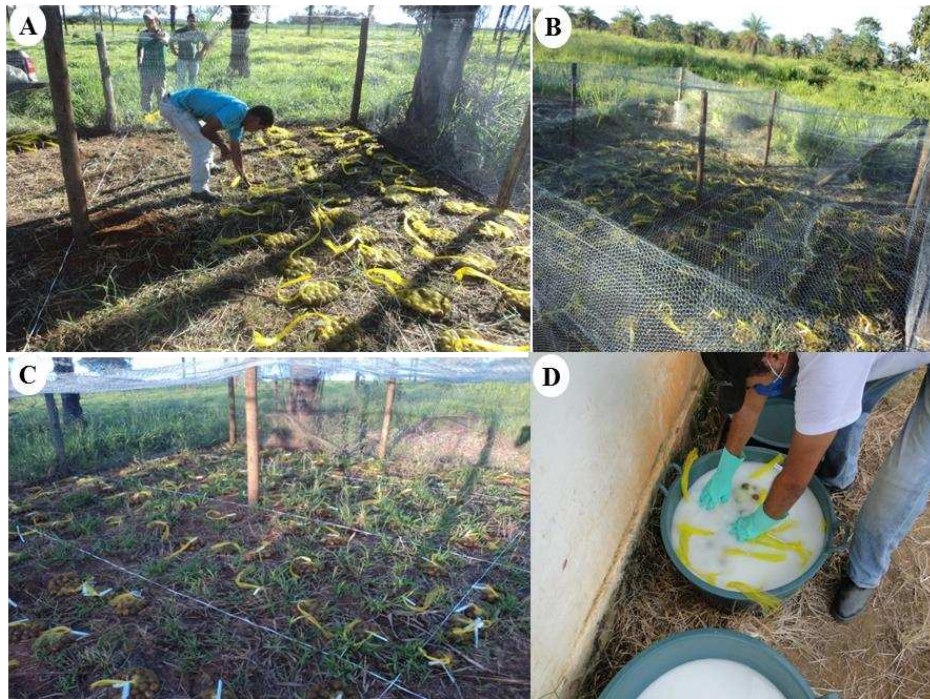


Figura I-3 - Disposição das unidades experimentais de acordo com o delineamento empregado (3A, 3B e 3C) e aplicação de fungicida em pós-colheita (3D).

Após cada tempo de exposição dos frutos no campo, 7, 14 e 21 dias, foi feito o tratamento com fungicida antes do seu armazenamento em galpão, à temperatura ambiente (Figura I-3D). O produto utilizado foi Tecto SC, princípio ativo Thiabendazol, nas concentrações de 0, 0,2 e 0,4% v/v (D0, D50 e D100, respectivamente). O volume da solução fungicida foi de 60 L, utilizando água como veículo. Para a dose 0% v/v (D0), os frutos permaneceram na água durante dois minutos, sendo mantido o mesmo período utilizado nos tratamentos com a aplicação de fungicida. A concentração de 0,4% v/v (D100) foi estabelecida por ser a dose sugerida pelo fabricante para a maioria das culturas utilizadas em pós-colheita. A aplicação do fungicida foi feita segundo orientações do fabricante.

Após a aplicação das doses de fungicida estabelecidas, as unidades experimentais (sacos de polietileno tipo redes contendo 20 frutos) foram levadas para o galpão de armazenamento de frutos do setor de Fruticultura da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, onde foram armazenados à temperatura ambiente. O armazenamento dos frutos foi feito em caixas plásticas de polietileno, distribuídas aleatoriamente dentro de um galpão de alvenaria coberto por telhas de zinco. Os períodos de armazenamento no galpão foram 0, 10, 20, 30 e 40 dias (A0, A10, A20, A30 e A40, respectivamente). As avaliações do tratamento A0, frutos que não foram

armazenados no galpão, foram feitas 24h após a aplicação de fungicidas. Este foi o tempo para o transporte dos frutos até o local onde foram feitas as análises.

### I.1.3.2 Análises

Os frutos foram processados no Laboratório de Biotecnologia e Pós-colheita de Macaúba do Departamento de Fitotecnia da UFV (Figuras I-4A e I-4B). Para avaliar a qualidade do óleo, primeiramente as polpas foram secas em estufa a 60°C por 24 h, na sequência, o óleo foi extraído por prensagem mecânica (Figura I-4C). O óleo obtido foi armazenado em frasco âmbar envolvido em papel alumínio e conservado à temperatura de -5°C até o procedimento das análises. Foram avaliados os seguintes parâmetros: estabilidade à oxidação do óleo do mesocarpo (polpa) (EO), índice de acidez do óleo do mesocarpo (IA), teor de água do óleo do mesocarpo (TA), teor de óleo no mesocarpo (TO) e quantificação de microrganismos no epicarpo e mesocarpo do fruto. Para a quantificação de microrganismo, as análises foram feitas imediatamente após o tempo predeterminado pelo tratamento.



Figura I-4 - Processamento dos frutos (4A e 4B) e extração do óleo (4C).

### I.1.3.3 Estabilidade à oxidação (EO)

A estabilidade à oxidação foi feita segundo o método Cd 12b-92(SOCIETY, 2005) utilizando o equipamento Rancimat® (modelo 873 BiodieselRancimat). Foram utilizados  $2,5 \pm 0,01$  g de óleo do mesocarpo aquecido à temperatura de 110°C, com velocidade de fluxo de ar de  $10,0 \text{ L.h}^{-1}$ . Os resultados obtidos foram expressos em horas, sendo o período de indução (PI) indicativo da estabilidade oxidativa do óleo. Ou seja, maiores valores de PI indicam maior estabilidade do óleo em relação aos processos de oxidação.

#### I.1.3.4 Índice de acidez (IA)

O índice de acidez é definido pela quantidade de base necessária para neutralizar os ácidos graxos livres presentes nos óleos e gorduras. Esse índice foi determinado segundo o método Ca 5a – 40 (AOAC, 1990). Foram pesadas cerca de  $2,00 \pm 0,10$  g das amostras de óleo em Erlenmeyers de 125,0 ml, na sequência, foram adicionados 25,00 ml da solução neutra de éter etílico-álcool (2:1), duas gotas de indicador fenolftaleína 0,4%, e feita a titulação com uma solução padronizada de NaOH 0,1 M.

O índice de acidez foi calculado pela equação:

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

Em que:

IA: índice de acidez expresso em mg KOH.g<sup>-1</sup>;

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; e

m: massa da amostra, em g.

O índice de acidez foi expresso em porcentagem de ácido oleico (dividiu-se o resultado do IA em mg KOH.g<sup>-1</sup> por 1,99).

#### I.1.3.5 Teor de água no óleo

O teor de água dissolvida no óleo das amostras foi mensurado com base na norma ASTM D 6304, por meio de um titulador automático modelo 870 KF Titrioplus - Metrom. 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,  $2,00 \pm 0,10$  g de óleo de cada amostra foram injetados no vaso de titulação, contendo cerca de 25,00 ml da mistura dos solventes. A massa pesada foi registrada no equipamento. O ponto final da

titulação é identificado por um eletrodo de platina, fornecendo o aparelho automaticamente o teor de água da amostra, em porcentagem.

#### I.1.3.6 Teor de óleo do mesocarpo (TO)

O teor de óleo no mesocarpo foi determinado por ressonância magnética nuclear (RNM). Utilizou-se o aparelho MQC NMR Analyser (marca Oxford), seguindo o método ISO 10565(ISO, 1999 ). A escolha deste método foi feita após a determinação de sua precisão em comparação aos resultados de teor de óleo obtidos usando extrator de óleos e graxas pelo método adaptado 032/ V IAL (IAL, 1985). Neste ensaio, avaliou-se o teor de óleo do mesocarpo de 20 amostras e verificou-se pelo teste F a 99% de confiança que não houve diferença estatística entre os instrumentos para mensuração do teor de óleo do mesocarpo do fruto da macaúba.

#### I.1.3.7 Quantificação de microrganismos no epicarpo e mesocarpo do fruto

Para a quantificação dos microrganismos, amostras de três frutos de cada tratamento foram enviadas ao Laboratório de Microbiologia Aplicada do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Foram avaliados os seguintes parâmetros: densidade de fungos filamentosos (FE) e leveduras na superfície do epicarpo (LE), bactérias na superfície do epicarpo (BE), fungos filamentosos (FM) e leveduras (LM) no mesocarpo e bactérias no mesocarpo (BM). Com respaldo nos dados obtidos, foram determinadas as densidades de fungos totais na superfície do epicarpo (FTE) e fungos totais na superfície do mesocarpo (FTM). Para a avaliação dos FE, LE e BE, foram adicionados 100 mL de solução salina estéril (0,85% NaCl) em sacos plásticos de primeiro uso estéreis, contendo 3 frutos. Em seguida, estes sacos permaneceram no aparelho ultrassônico por 10 min (KHZ) para o desprendimento dos microrganismos da superfície dos frutos. Após esta etapa, alíquotas de 1mL da suspensão de microrganismos foram diluídas serialmente e 100 µL de cada uma das diluições foram plaqueados em meio Ágar Batata Dextrosado (BDA/Difco), suplementado com 100 µg/mL de cloranfenicol (Sigma/EUA), para inibir o crescimento de bactérias. As placas foram incubadas a 25-28 °C por um período de até 20 dias, e os morfotipos de leveduras e fungos filamentosos obtidos foram enumerados, e a densidade expressa em unidades formadoras de colônia por fruto (UFC/fruto). Para o isolamento de bactérias, alíquotas de 100 µL de cada diluição foram transferidas para

placas de Petri contendo meio de cultura TSA (TrypicSoy Agar/ Difco), suplementado com benomil (50 µgm/L) para inibir o crescimento de fungos, permanecendo a 28°C por até 72 horas. Os dados foram expressos em UFC/fruto.

Para a avaliação dos microrganismos do mesocarpo, FM, LM e BM, os frutos utilizados no ensaio anterior foram limpos superficialmente com detergente neutro, enxaguados com água em abundância e secos em papel toalha estéril. A seguir, regiões do epicarpo foram removidas do fruto com o auxílio de microrretífica para exposição do mesocarpo. Amostras de 1g do mesocarpo de cada fruto foram trituradas em Ultra Turrax (Marconi, Brasil) com 9mL de solução salina estéril (0,85%). Em seguida, alíquotas de 1 ml desta suspensão foram diluídas serialmente. De cada uma das diluições ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$ ), alíquotas de 100 µL foram plaqueadas em meio Ágar Batata Dextrosado (BDA/Difco), suplementado com antibiótico. As placas foram incubadas a 25-28 °C por um período de até 20 dias, e os diferentes morfotipos observados foram enumerados (UFC/fruto). Para o isolamento de bactérias, alíquotas de 100 µL de cada diluição foram transferidas para placas de Petri contendo meio de cultura TSA (TrypicSoy Agar/ Difco), suplementado com benomil (50 µgm/L). Após incubação a 28°C por até 72 horas, os morfotipos foram enumerados (UFC/fruto).

#### I.1.3.8 Análises estatísticas

Os dados de, IA, TA, TO e EO foram submetidos à análise de variância e os resultados foram apresentados por superfície de resposta, regressões lineares e por médias pelo teste de Tukey a 5% ao nível de significância.

Para os dados de microrganismos, foi instalado um fatorial (2 x 3 x 4), dois período de exposição dos frutos ao solo (E0, zero dias e E7, sete dias), três doses de fungicidas (D0, sem aplicação fungicida, D50, 0,02%v/v de fungicida e D100, 0,04%v/v de fungicida) e quatro períodos de armazenamento dos frutos no galpão (A0, sem armazenamento, A10, A20 e A30, sendo 10,20 e 30 dias de armazenamento dos frutos no galpão). Os dados foram transformados em log<sub>10</sub> e procedeu-se à análise dos dados por estatística multivariada. Inicialmente, estimou-se uma medida de dissimilaridade entre os tratamentos através da distância generalizada de Mahalanobis (RAO, 1952) em oito variáveis da quantificação dos microrganismos (FE, LE, BE, FM, LM, BM, FTE e FTM). Após este procedimento, com a matriz de dissimilaridade

gerada, foram aplicadas técnicas de agrupamento, utilizando o método de Tocher para a obtenção dos grupos de similaridade.

### I.1.4 Resultados e Discussão

#### I.1.4.1 Índice de Acidez do óleo do mesocarpo(IA)

A interação tripla tempo de exposição dos frutos no solo (E) x dose de fungicida (D) e armazenamento (A) (E x D x A) foi significativa ( $F = 1,88$   $p = 0,0105$ ), procedendo-se aos desdobramentos dos fatores (Figuras I-5, I-6 e I-7 e Tabela I-1).

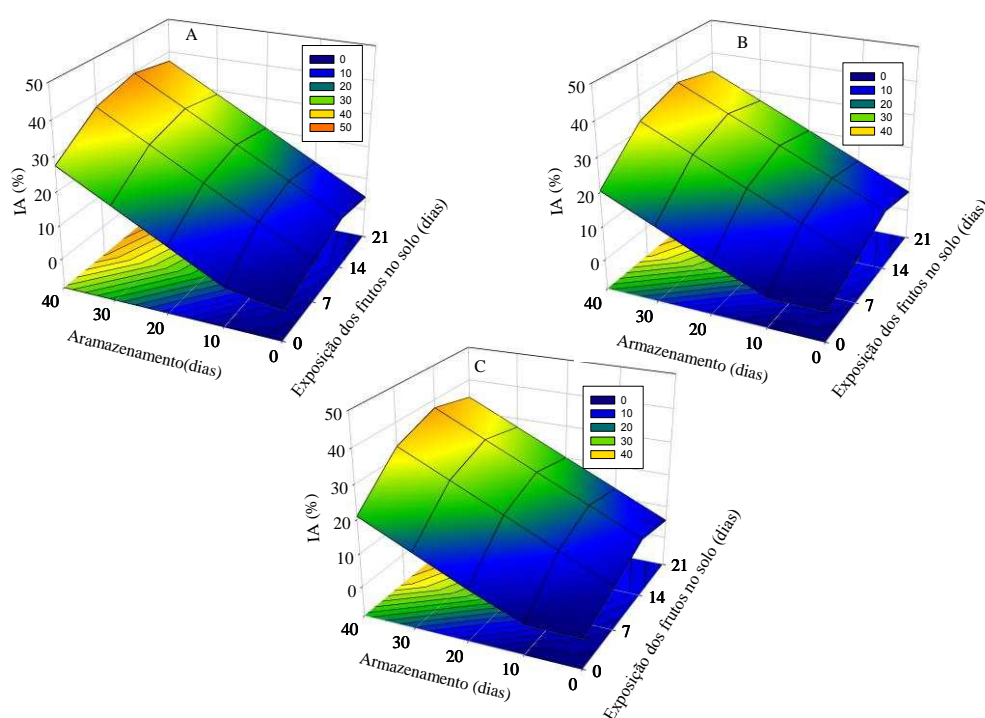


Figura I-5 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo em função do período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo. Gráficos A, B e C representam doses 0, 0,2 e 0,4% v/v, respectivamente.

Tabela I-1 - Valores médios do índice de acidez do óleo do mesocarpo (%) em função da dose do fungicida em cada período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo.

| Armazenamento<br>(dias) | Dose (% v/v) | Exposição dos frutos ao solo (dias) |          |          |          |
|-------------------------|--------------|-------------------------------------|----------|----------|----------|
|                         |              | 0                                   | 7        | 14       | 21       |
| 0                       | 0            | 0,77 ns**                           | 0,37 ns  | 3,11 ns  | 7,25 ns  |
|                         | 0,2          | 0,68 ns                             | 0,37 ns  | 5,07 ns  | 5,89 ns  |
|                         | 0,4          | 0,66 ns                             | 0,41 ns  | 3,53 ns  | 6,66 ns  |
| 10                      | 0            | 0,84 ns                             | 8,32 ns  | 9,82 ns  | 13,19 ns |
|                         | 0,2          | 0,58 ns                             | 9,46 ns  | 12,93 ns | 14,69 ns |
|                         | 0,4          | 0,45 ns                             | 8,73 ns  | 11,67 ns | 15,24 ns |
| 20                      | 0            | 6,87 a*                             | 30,57 a  | 19,22 a  | 25,16 ns |
|                         | 0,2          | 2,93 ab                             | 21,12 b  | 24,35 a  | 22,38 ns |
|                         | 0,4          | 1,45 b                              | 20,52 b  | 24,64 a  | 24,45 ns |
| 30                      | 0            | 15,43 b                             | 29,45 ns | 34,27 ns | 28,75 ns |
|                         | 0,2          | 8,56 a                              | 29,71 ns | 32,73 ns | 27,70 ns |
|                         | 0,4          | 9,01 a                              | 30,67 ns | 32,30 ns | 25,19 ns |
| 40                      | 0            | 28,63 a                             | 37,97 ns | 41,44 a  | 30,77 ns |
|                         | 0,2          | 18,37 b                             | 37,36 ns | 34,86 b  | 31,49 ns |
|                         | 0,4          | 18,92 b                             | 36,34 ns | 40,34 a  | 29,71 ns |

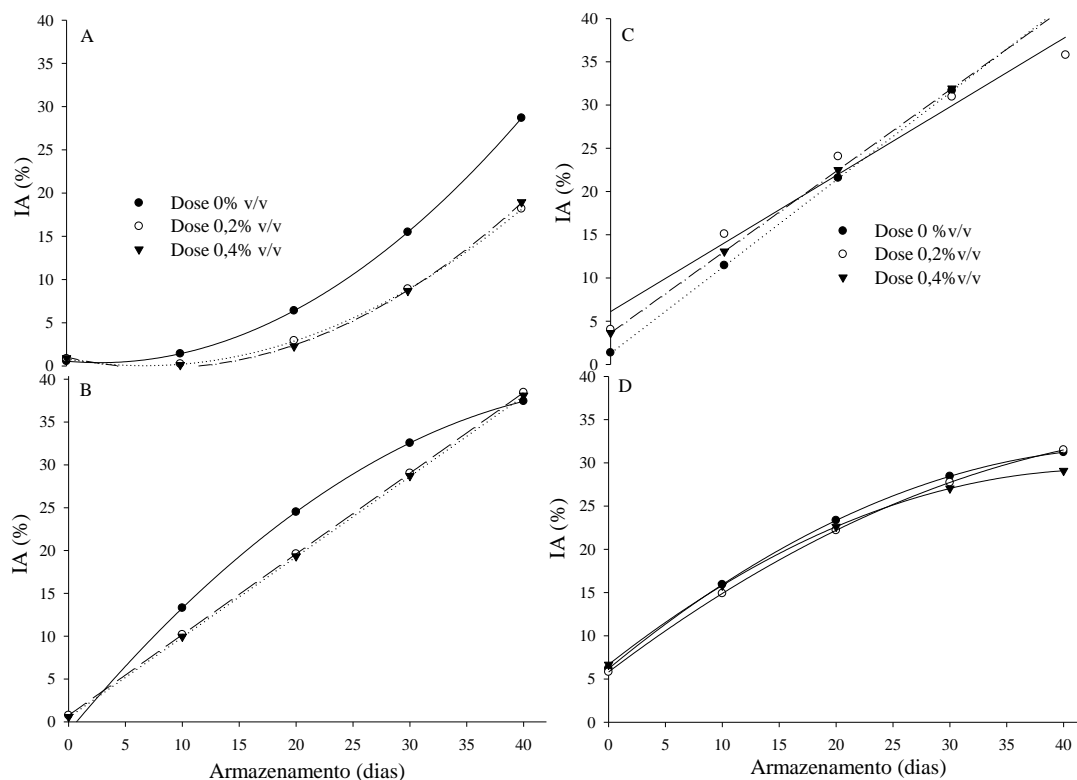
\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey.\*\* ns, não significativo pelo teste F a 5% de significância.

Independentemente da dose de fungicida aplicada, o IA aumentou quando os frutos permaneceram expostos ao solo e durante o armazenamento no galpão (Figura I-5). Entretanto, os frutos sem exposição ao solo (E0) apresentaram menor elevação do IA em comparação aos demais tratamentos, que foram expostos ao solo (7, 14 e 21 dias), ao longo do armazenamento (Figuras I-5A, I-5B e I-5C). Houve aumento relativo em torno de 50% no IA para frutos sem exposição ao solo (E0) aos 40 dias de armazenamento (A40), quando comparados aos frutos colhidos na mesma condição, porém com tratamento fungicida (D50 e D100) (Figuras I-5A, I-5B e I-5C).

De maneira geral, o fungicida foi eficiente no controle do processo de acidificação do óleo para os frutos sem exposição ao solo (E0) até os 20 dias de armazenamento (A20). Para os demais tratamentos, que se caracterizaram pela permanência no solo no período que antecedeu o tratamento com fungicida (E7, E14 e E21), o fungicida não apresentou efeito positivo no controle da elevação do IA do óleo durante o armazenamento (Tabela I-1). Aos 20 dias de armazenamento para os frutos não expostos ao solo e sem utilização de fungicida, houve elevação do IA em 2,34 e

4,74 vezes em comparação às doses de fungicida 0,2 e 0,4 %v/v, respectivamente, confirmando o efeito positivo do fungicida nos frutos sem exposição ao solo.

Os efeitos das diferentes doses de fungicida em todos os períodos de exposição dos frutos ao solo durante o armazenamento no galpão estão apresentados na Figura I-6.



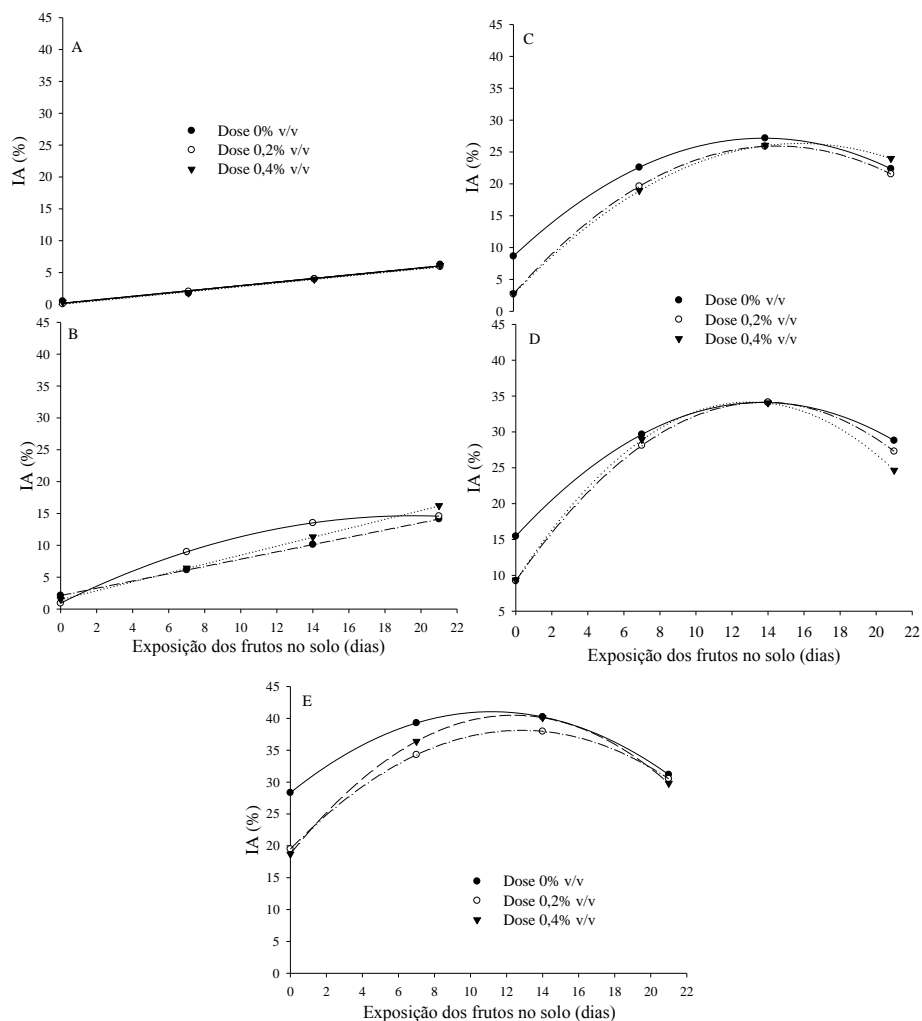
| Dose (% v/v) | Equação                                   | R <sup>2</sup> (%) | Gráfico |
|--------------|---|--------------------|---------|
| 0            | $y = 0,559214 - 0,119518x + 0,020566x^2$  | 99,89              | A       |
| 0,2          | $y = 0,851643 - 0,226254x + 0,016498x^2$  | 99,78              | A       |
| 0,4          | $y = 0,907857 - 0,315146x + 0,019152x^2$  | 99,44              | A       |
| 0            | $y = -1,108929 + 1,598586x - 0,015882x^2$ | 92,9               | B       |
| 0,2          | $y = 0,7555 + 0,942375x$                  | 99,48              | B       |
| 0,4          | $y = 0,574 + 0,938025x$                   | 99,28              | B       |
| 0            | $y = 1,3445 + 1,01115x$                   | 98,26              | C       |
| 0,2          | $y = 4,0435 + 1,207800x - 0,010350x^2$    | 98,51              | C       |
| 0,4          | $y = 3,646 + 0,9425x$                     | 99,14              | C       |
| 0            | $y = 6,189571 + 1,089286x - 0,011582x^2$  | 97,11              | D       |
| 0,2          | $y = 5,813071 + 0,996436x - 0,008857x^2$  | 99,98              | D       |
| 0,4          | $y = 6,667857 + 1,034504x - 0,011848x^2$  | 97,79              | D       |

Figura I-6 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo ao longo do armazenamento dos frutos no galpão. 0,7, 14 e 21 dias de exposição dos frutos no solo, Gráficos A, B, C e D, respectivamente.

Nos tratamentos em que os frutos não permaneceram no solo, nas doses 0,2 e 0,4% v/v observou-se comportamento semelhante na elevação do IA. Nos tratamentos

em que não houve aplicação do fungicida, ocorreu acréscimo no IA em relação às demais doses, ao longo do armazenamento (Figura I-6A). Para os tratamentos que permaneceram 14 e 21 dias ao solo, Figuras I-6C e I-6D, os efeitos foram semelhantes, sendo que nos tratamentos em que não houve aplicação de fungicida foram obtidos maiores IA ao final do armazenamento.

A Figura I-7 mostra o IA para cada período de armazenamento no galpão em função do período de permanência dos frutos no solo. Em todos os períodos de armazenamento, houve elevação do IA quando estes frutos permaneceram por maior período no solo (Figura I-7). O fungicida não impediu a acidificação do óleo do mesocarpo para nenhum período de armazenamento. Para os frutos que permaneceram 21 dias expostos ao solo e com 30 e 40 dias de armazenamento, foi observada redução do IA para todas as doses aplicadas (Figuras I-7D e I-E).



| Dose (% v/v) | Equação                                 | R <sup>2</sup> (%) | Gráfico |
|--------------|---|--------------------|---------|
| 0            | $y = -0,5 + 0,321429x$                  | 76,27              | A       |
| 0,2          | $y = 0,075 + 0,278571x$                 | 74,20              | A       |
| 0,4          | $y = -0,35 + 0,307143x$                 | 79,19              | A       |
| 0            | $y = 2,125 + 0,571429x$                 | 92,15              | B       |
| 0,2          | $y = 2,675 + 0,65x$                     | 88,95              | B       |
| 0,4          | $1,525 + 0,7x$                          | 93,93              | B       |
| 0            | $y = 8,6375 + 2,6625x - 0,095663x^2$    | 58,05              | C       |
| 0,2          | $y = 2,7125 + 3,1732124x - 0,108418x^2$ | 98,64              | C       |
| 0,4          | $y = 2,7625 + 2,966071x - 0,093112x^2$  | 98,45              | C       |
| 0            | $y = 15,45 + 2,725x - 0,09949x^2$       | 99,97              | D       |
| 0,2          | $y = 9,2125 + 3,619643x - 0,131378x^2$  | 98,78              | D       |
| 0,4          | $y = 9,35 + 3,835714x - 0,147959x^2$    | 97,93              | D       |
| 0            | $y = 28,325 + 2,278571x - 0,102041x^2$  | 96,66              | E       |
| 0,2          | $y = 19,4875 + 2,908929x - 0,11352x^2$  | 90,75              | E       |
| 0,4          | $y = 18,7 + 3,528571x - 0,142857x^2$    | 99,98              | E       |

Figura I-7 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo ao longo dos dias de exposição dos frutos ao solo. 0, 10, 20, 30 e 40 dias de armazenamento dos frutos no galpão solo, Gráficos 7A, 7B, 7C, 7D e 7E, respectivamente.

O índice de acidez do óleo do mesocarpo apresentou drásticas alterações à medida que os frutos permaneceram por mais tempo ao solo. Este efeito foi mais intenso nos tratamentos com ausência de fungicida em pós-colheita e com o prolongamento do tempo de armazenamento no galpão. A elevação do índice de acidez foi muito rápida, provavelmente pela ação das enzimas lipases, que são produzidas tanto pelo fruto quanto pelos microrganismos associados. Estes microrganismos podem colonizar tanto a superfície quanto as partes internas do fruto. Em frutos de dendê (*Elaeis guineensis*), a lipase é um dos fatores responsáveis pela acidificação do óleo do mesocarpo (MOHANKUMAR; ARUMUGHAN, 1990).

Abbas et al. (2002) e Hiol et al. (2000) observaram que a elevação do IA é resultado principalmente da ocorrência das lipases microbianas em frutos de dendê. Tagoe et al. (2012) encontraram acréscimo tanto na acidez do óleo do mesocarpo quanto na quantidade de fungos e bactérias em frutos de dendê estocados por até 26 dias. Alencar et al. (2010), avaliando a acidez do óleo bruto em grãos de soja armazenados sob diversas condições de temperatura e umidade, evidenciaram aumento do índice de acidez ao longo do armazenamento em quase todas as condições avaliadas. Por sua vez, Coimbra & Jorge (2011) encontraram altos valores de IA (9,43%) no óleo do mesocarpo de macaúba, valores próximos aos obtidos quando os frutos permaneceram por 21 dias no solo. Neste estudo, para alguns tratamentos, os frutos foram coletados no solo, sugerindo que sua permanência por mais de sete dias no solo provoca sérios danos à qualidade do óleo do mesocarpo, principalmente pela elevação da acidez.

#### I.1.4.2 Estabilidade a oxidação do óleo do mesocarpo(EO)

Semelhantemente ao IA, foi observada interação tripla, significativa ( $F = 2,64$   $p = 0,0001$ ), procedendo-se aos desdobramentos (Figuras I-8, I-9 e I-10 e Tabela I-2).

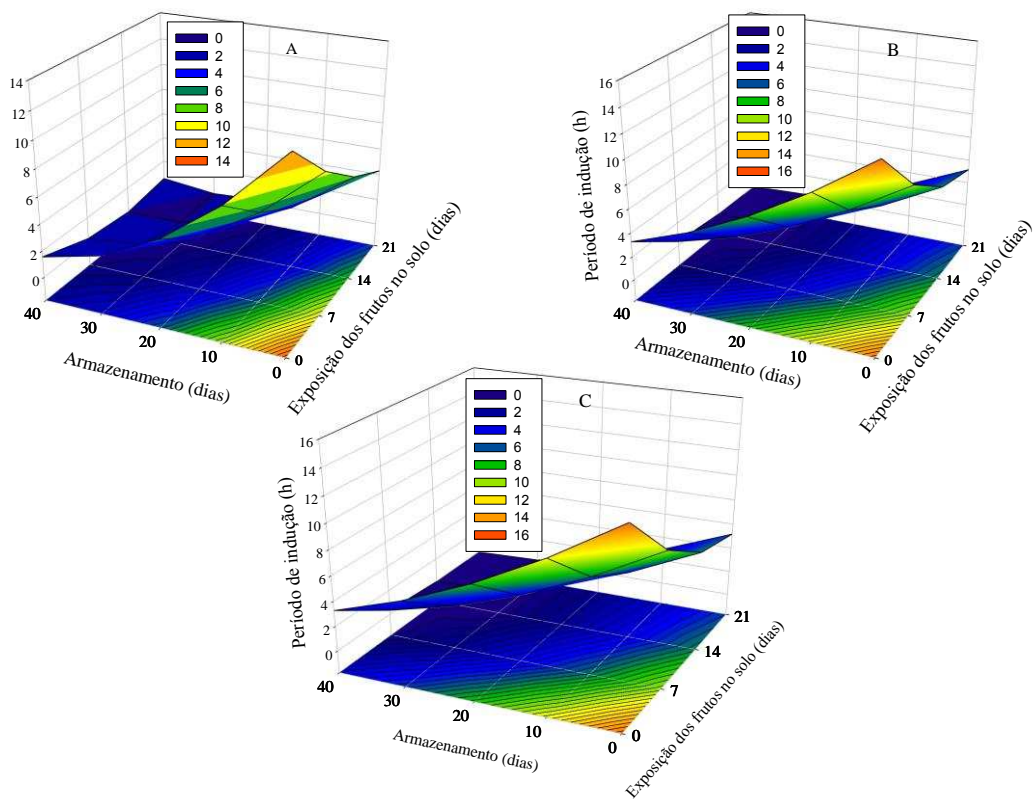


Figura I-8 - Período de Indução (PI) do óleo do mesocarpo em função do armazenamento e exposição dos frutos ao solo. Gráficos A, B e C, doses 0, 0,2 e 0,4% v/v, respectivamente.

Tabela I-2 - Valores médios de período de indução, em horas, do óleo do mesocarpo em função da dose do fungicida em cada período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo.

| Armazenamento (dias) | Dose (%v/v) | Exposição dos frutos ao solo (dias) |    |       |    |      |    |      |    |
|----------------------|-------------|-------------------------------------|----|-------|----|------|----|------|----|
|                      |             | 0                                   |    | 7     |    | 14   |    | 21   |    |
| 0                    | 0           | 10,29                               | ns | 13,89 | a  | 4,60 | b  | 3,54 | Ns |
|                      | 0,2         | 11,18                               | ns | 13,17 | ab | 6,12 | a  | 4,36 | Ns |
|                      | 0,4         | 10,26                               | ns | 11,89 | b  | 5,91 | a  | 5,64 | Ns |
| 10                   | 0           | 9,01                                | b  | 1,88  | b  | 2,96 | b  | 1,10 | Ns |
|                      | 0,2         | 12,26                               | a  | 2,63  | ab | 5,04 | a  | 2,51 | Ns |
|                      | 0,4         | 12,55                               | a  | 3,91  | a  | 3,99 | ab | 2,48 | Ns |
| 20                   | 0           | 4,59                                | b  | 2,06  | ns | 1,64 | ns | 1,37 | Ns |
|                      | 0,2         | 10,42                               | a  | 2,65  | ns | 1,55 | ns | 0,99 | Ns |
|                      | 0,4         | 9,32                                | a  | 2,54  | ns | 2,20 | ns | 0,65 | Ns |
| 30                   | 0           | 2,71                                | b  | 0,95  | ns | 0,00 | ns | 0,00 | Ns |
|                      | 0,2         | 2,45                                | b  | 0,41  | ns | 0,00 | ns | 0,00 | Ns |
|                      | 0,4         | 4,91                                | a  | 1,09  | ns | 0,00 | ns | 0,00 | Ns |
| 40                   | 0           | 1,88                                | ns | 0,00  | ns | 0,00 | ns | 0,00 | Ns |
|                      | 0,2         | 1,50                                | ns | 0,00  | ns | 0,00 | ns | 0,00 | Ns |
|                      | 0,4         | 2,66                                | ns | 0,00  | ns | 0,00 | ns | 0,00 | Ns |

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey.\*\* ns, não significativo pelo teste F a 5% de significância.

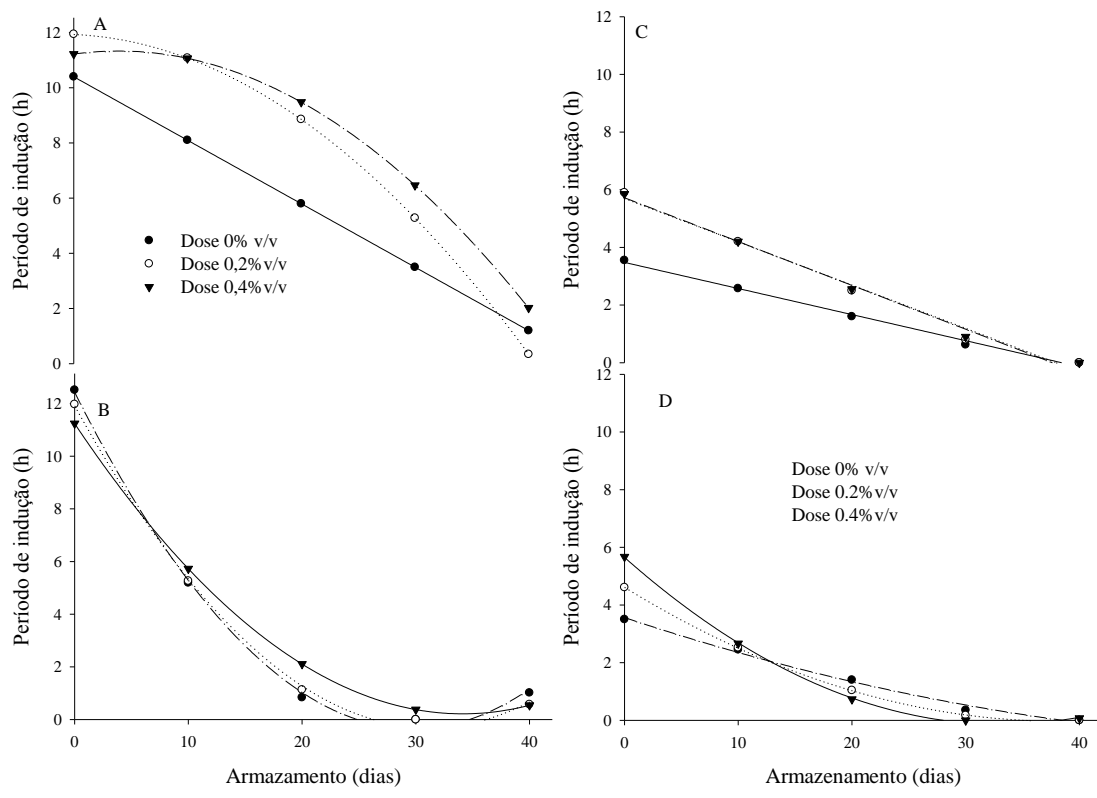
O PI foi reduzido, independentemente da dose de fungicida, nas condições de maior tempo de permanência dos frutos no solo e maior período de armazenamento no galpão (Figuras 8A, 8B e 8C). Ou seja, houve perda da estabilidade oxidativa em função do tempo de exposição dos frutos ao solo, independentemente das concentrações do fungicida aplicado nos frutos. No tratamento sem permanência no solo (E0), observou-se menor decréscimo do PI ao longo do armazenamento em comparação aos tratamentos que permaneceram no solo por 7, 14 e 21 dias.

Para os tratamentos que não tiveram exposição no solo, a partir de 10 e até 20 dias de armazenamento, o fungicida mostrou-se eficiente para a manutenção do PI. Até 30 dias de armazenamento para os tratamentos que tiveram permanência no solo, a concentração de fungicida 0,4% v/v nos frutos obteve maior PI em relação à concentração 0,2% v/v e ao tratamento em que não houve aplicação de fungicida (Tabela I-2). Os frutos que permaneceram por sete dias de exposição no solo (E7), foram armazenados por 10 dias (A10) e tratados com fungicida na dose 0,4% v/v (D100) obtiveram melhores valores de PI, quando comparados aos frutos em que não

houve aplicação de fungicida (Tabela 2). Quando os frutos permaneceram por 14 dias no solo e não foram armazenados, a aplicação do fungicida (0,2 e 0,4% v/v) resultou maiores PI em relação aos frutos não tratados; enquanto aos 21 dias de permanência no solo, as doses de fungicidas não surtiram efeitos em comparação aos tratamentos em que houve aplicação.

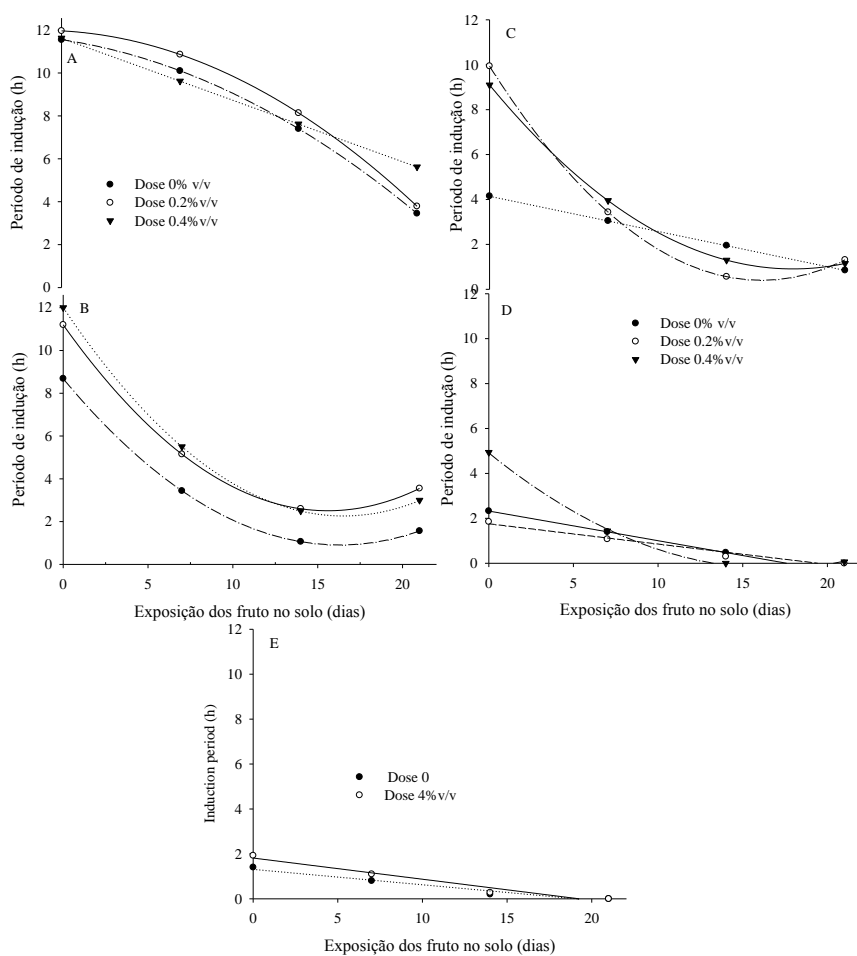
A Figura I-9 mostra claramente que todos os tempos de exposição dos frutos ao solo resultaram em significativa redução do PI durante o armazenamento, sendo que nos tratamentos sem aplicação de fungicida e com 0 e 7 dias de exposição dos frutos ao solo, observou-se redução mais acentuada no PI. Entretanto, ao final do período do armazenamento, os valores de PI estiveram próximos em ambas as dosagens do agroquímico (Figura I-9).

A Figura I-10 apresenta o PI para cada período de armazenamento no galpão em função do tempo de permanência dos frutos no solo. Há uma redução significativa do PI em todos os períodos de armazenamento no galpão, para todas as doses de fungicidas. Nos tratamentos em que os frutos permaneceram por 14 e 21 dias (E14 e E21) e armazenados durante 30 e 40 dias (A30 e A40), em ambas as concentrações de fungicida, o PI foi próximo de zero, ou seja, o óleo do mesocarpo estava totalmente oxidado (Figuras I-10D e I-10E).



| Dose | Equação                                   | R <sup>2</sup> (%) | Gráfico |
|------|---|--------------------|---------|
| 0    | $y = 10.32100 - 0.23130X$                 | 94.12              | A       |
| 0,2  | $y = 11.938143 - 0.000504X - 0.007277X^2$ | 87.1               | A       |
| 0,4  | $y = 11.036857 + 0.064754X - 0.007323X^2$ | 90.99              | A       |
| 0    | $y = 12.469786 - 0.882382X + 0.014884X^2$ | 86.54              | B       |
| 0,2  | $y = 12.056643 - 0.800079X^2$             | 89.87              | B       |
| 0,4  | $y = 11.160929 - 0.657236X + 0.009782X^2$ | 94.78              | B       |
| 0    | $y = 3.6360 - 0.1004X$                    | 93.94              | C       |
| 0,2  | $y = 5.997500 - 0.172825X$                | 90.61              | C       |
| 0,4  | $y = 5.57950 - 0.158050X$                 | 94.65              | C       |
| 0    | $y = 4.237286 - 0.256282X + 0.003834X^2$  | 88.87              | D       |
| 0,2  | $y = 4.4220 - 0.232825X + 0.003013X^2$    | 99.67              | D       |
| 0,4  | $y = 5.574357 - 0.352071X + 0.005364X^2$  | 99.78              | D       |

Figura I-9 - Período de indução do óleo do mesocarpo ao longo do armazenamento dos frutos no galpão. 0, 7, 14 e 21 dias de exposição dos frutos no solo, Gráficos A, B, C e D, respectivamente.



| Dose (% v/v) | Equação                                 | R <sup>2</sup> (%) | Gráfico |
|--------------|---|--------------------|---------|
| 0            | $y = 11,55 - 0,117857x - 0,012755x^2$   | 52,93              | A       |
| 0,2          | $y = 11,9625 - 0,041071x - 0,016582x^2$ | 79,66              | A       |
| 0,4          | $y = 11,125 - 0,071429x - 0,0100204x^2$ | 72,89              | A       |
| 0            | $y = 8,6875 - 0,955357x + 0,029337x^2$  | 85,21              | B       |
| 0,2          | $y = 11,2 - 1,114286x + 0,035714x^2$    | 77,76              | B       |
| 0,4          | $y = 12,0 - 1,178571x + 0,035714x^2$    | 91,97              | B       |
| 0            | $y = 4,65 - 0,371429x + 0,010204x^2$    | 97,24              | C       |
| 0,2          | $y = 9,9375 - 1,1875x + 0,03699x^2$     | 96,54              | C       |
| 0,4          | $y = 9,1 - 0,914286x + 0,02551x^2$      | 92,82              | C       |
| 0            | $y = 2,7625 - 0,319643x + 0,008929x^2$  | 99,94              | D       |
| 0,2          | $y = 2,4125 - 0,351786x + 0,01148x^2$   | 96,54              | D       |
| 0,4          | $y = 4,93750 - 0,633929x + 0,01933x^2$  | 99,53              | D       |
| 0            | $y = 1,4 - 0,085714x$                   | 60,00              | E       |
| 0,4          | $y = 1,925 - 0,117857x$                 | 60,00              | E       |

Figura I-10 - Período de indução do óleo do mesocarpo ao longo dos dias de exposição dos frutos ao solo. 0, 10, 20, 30 e 40 dias de armazenamento dos frutos no galpão solo, Gráficos A, B, C, D e E, respectivamente.

A redução da estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo pode ter resultado da composição do perfil dos ácidos graxos do óleo, presença de microrganismos e das temperaturas elevadas tanto no período em que os frutos permaneceram no solo quanto no armazenamento em galpão. Estes fatores podem ter acelerado a auto-oxidação e a hidrólise do óleo. O grau de instauração dos alquilésteres e a posição das duplas cadeias carbônicas determinam a taxa de oxidação do óleo (MEHER et al., 2006; BOUAID et al., 2007). No óleo do mesocarpo da macaúba, há predominância de ácidos graxos insaturados (73%), sendo 13,8% de ácido linoleico (C18:2) (COIMBRA; JORGE, 2011). Estes mesmos autores encontraram valores maiores da EO para o óleo da amêndoa da macaúba (30,39 h), quando comparados ao do mesocarpo (11,32 h). Valores próximos foram encontrados neste trabalho para frutos colhidos no cacho em que houve aplicação de fungicida, armazenados por até 20 dias.

O experimento foi conduzido no período de verão na região Centro-Sul do Brasil caracterizada por altas temperaturas e chuvas, o que, provavelmente, acelerou a degradação do óleo pela ação dos microrganismos.

#### I.1.4.3 Teor de água na polpa (TA)

A interação tripla tempo de exposição dos frutos no solo (E) x dose de fungicida (D) e armazenamento (A) (E x D x A) foi significativa ( $F = 2,22$   $p = 0,0017$ ), procedendo-se aos desdobramentos dos fatores (Figuras I-11, I-12 e I-13 e Tabela I-3).

A Figura I-11 mostra o teor de água no óleo do mesocarpo (TA) em função do período de exposição dos frutos no solo e do armazenamento dos frutos no galpão. Somente nos tratamentos em que não foram aplicados fungicida (D0), foi significativa a interação exposição dos frutos no solo (E) x armazenamento (A) ( $F = 8,34$ ,  $p = 0,0001$ ) (Figura I-11). O TA aumentou ligeiramente à medida que houve maior tempo de exposição dos frutos no solo e maior o período de armazenamento no galpão.

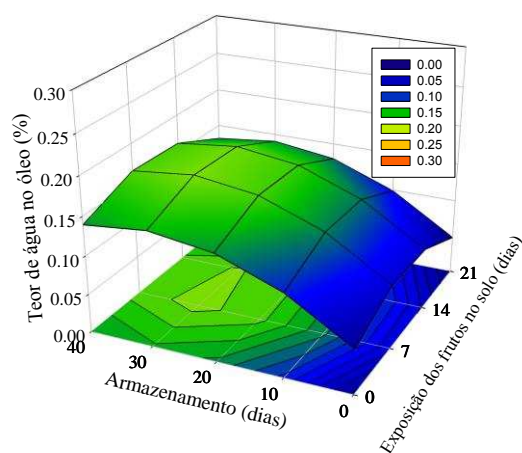


Figura I-11 - Teor de água no óleo do mesocarpo em função do período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo para frutos sem aplicação de fungicida (dose 0% v/v).

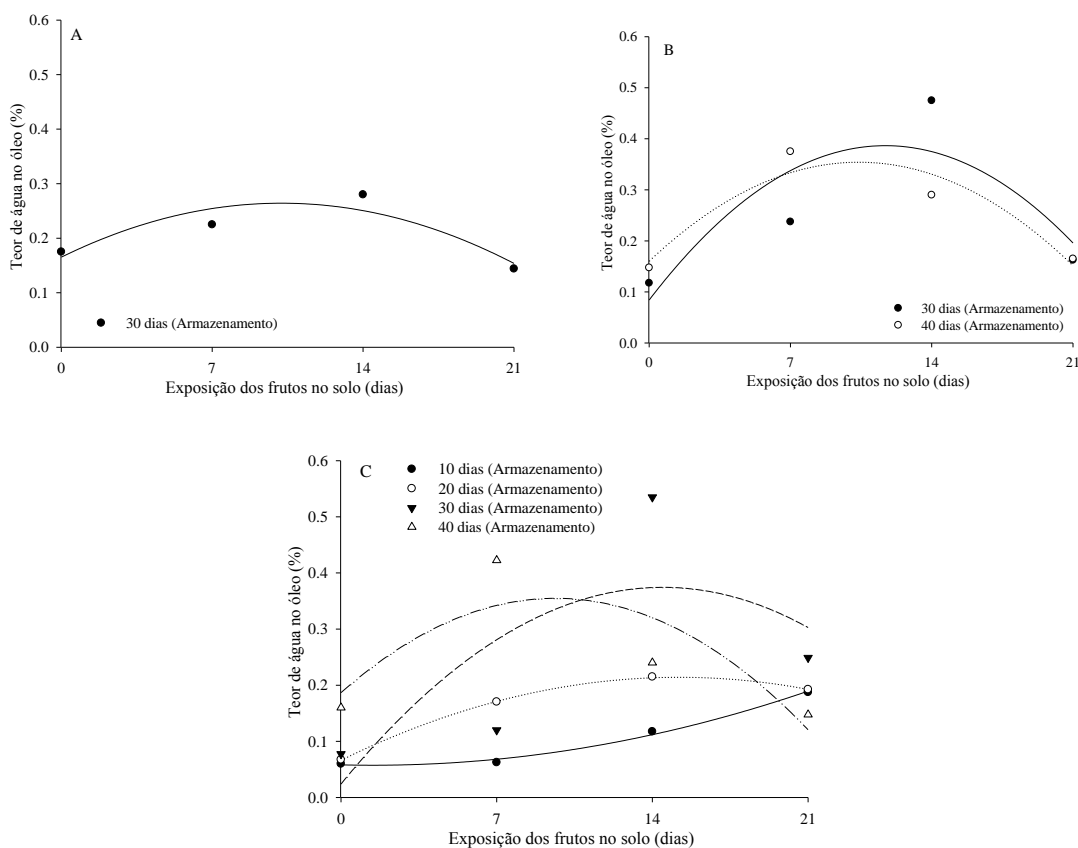
A Tabela I-3 mostra os valores médios do TA em função da dose do fungicida em cada período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo. Notam-se diferenças estatísticas no TA a partir dos 30 dias de armazenamento no galpão para os frutos colhidos aos 7 e 14 dias, expostos no solo (Tabela I-3). Aos 7 dias dos frutos expostos ao solo e armazenamento por 30 dias, o tratamento com fungicida na dose 0,4%v/v obteve menores TA, quando comparados aos frutos que não tiveram aplicação de fungicida e na dose 0,2%v/v. Para esse mesmo tempo de armazenamento, porém com 14 dias de exposição dos frutos ao solo, o uso de fungicida proporcionou maiores TA, quando comparado ao tratamento sem aplicação de fungicida. Para frutos armazenados por 40 dias no galpão, somente os que ficaram expostos por 7 dias no solo apresentaram diferenças significativas nos TA em relação à aplicação de fungicida em pós-colheita (Tabela I-3).

Tabela I-3 - Valores médios do teor de água, em porcentagem, no óleo do mesocarpo em função da dose do fungicida em cada período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo.

| Armazenamento<br>(dias) | Dose<br>(% v/v) | Exposição dos frutos ao solo (dias) |                 |       |    |       |    |       |    |
|-------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------|----|-------|----|-------|----|
|                         |                 | 0                                   |                 | 7     |    | 14    |    | 21    |    |
| 0                       | 0               | 0,108*                              | ns <sup>1</sup> | 0,075 | ns | 0,065 | ns | 0,068 | ns |
|                         | 0,2             | 0,098                               | ns              | 0,09  | ns | 0,068 | ns | 0,073 | ns |
|                         | 0,4             | 0,09                                | ns              | 0,068 | ns | 0,068 | ns | 0,075 | ns |
| 10                      | 0               | 0,063                               | ns              | 0,083 | ns | 0,138 | ns | 0,12  | ns |
|                         | 0,2             | 0,053                               | ns              | 0,068 | ns | 0,113 | ns | 0,115 | ns |
|                         | 0,4             | 0,06                                | ns              | 0,063 | ns | 0,118 | ns | 0,188 | ns |
| 20                      | 0               | 0,145                               | ns              | 0,165 | ns | 0,165 | ns | 0,148 | ns |
|                         | 0,2             | 0,063                               | ns              | 0,17  | ns | 0,16  | ns | 0,113 | ns |
|                         | 0,4             | 0,0675                              | ns              | 0,17  | ns | 0,215 | ns | 0,193 | ns |
| 30                      | 0               | 0,175                               | ns              | 0,225 | a  | 0,28  | a  | 0,14  | ns |
|                         | 0,2             | 0,118                               | ns              | 0,238 | a  | 0,475 | b  | 0,162 | ns |
|                         | 0,4             | 0,0775                              | ns              | 0,12  | b  | 0,535 | b  | 0,193 | ns |
| 40                      | 0               | 0,118                               | ns              | 0,158 | b  | 0,19  | ns | 0,178 | ns |
|                         | 0,2             | 0,148                               | ns              | 0,375 | a  | 0,29  | ns | 0,165 | ns |
|                         | 0,4             | 0,16                                | ns              | 0,422 | a  | 0,24  | ns | 0,148 | ns |

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey.\*\* ns, não significativo pelo teste F a 5% de significância.

A Figura I-12 mostra o TA em função da exposição dos frutos no solo para cada dose de fungicida e tempo de armazenamento no galpão.



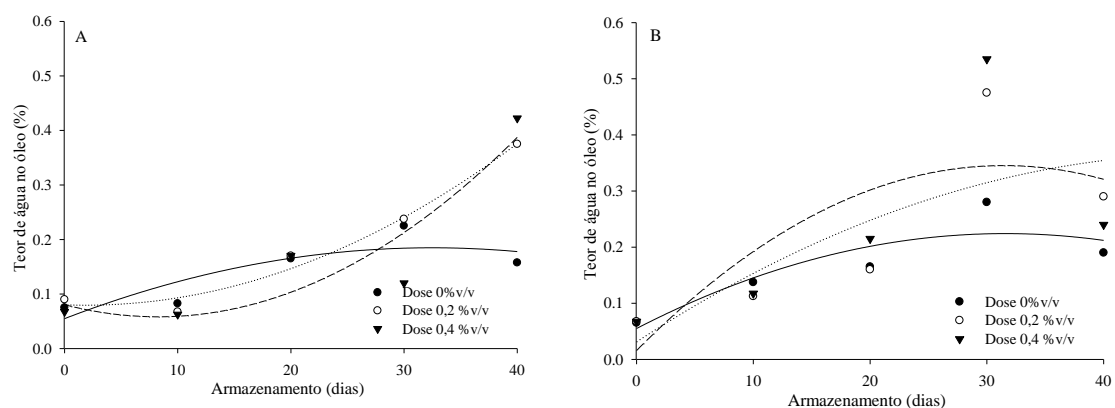
| Armazenamento (dias) | Equação                                 | R <sup>2</sup> (%) | Gráfico |
|----------------------|---|--------------------|---------|
| 10                   | $y = 0,165 + 0,019643x - 0,000969x^2$   | 82,06              | A       |
| 30                   | $y = 0,08125 + 0,051661x - 0,002207x^2$ | 70,68              | B       |
| 40                   | $y = 0,161125 + 0,037304x^2$            | 89,34              | B       |
| 10                   | $y = 0,58125 - 0,000982x + 0,000344x^2$ | 99,35              | C       |
| 20                   | $y = 0,067 + 0,019393x - 0,000638x^2$   | 99,96              | C       |
| 30                   | $y = 0,021 + 0,052107x - 0,001964x^2$   | 50,81              | C       |
| 40                   | $y = 0,18675 + 0,034893x - 0,001811x^2$ | 70,33              | C       |

Figura I-12 - Teor de água no óleo em função do período de exposição dos frutos no solo em cada época de armazenamento e dose de fungicida. 0, 0,2 0,4% v/v de doses de fungicida , Gráficos A, B e C, respectivamente.

Para os frutos em que não foi feita aplicação de fungicida em pós-colheita, apenas aos 30 dias de armazenamento houve diferenças no TA, em função do tempo de exposição dos frutos no solo (Figura I-12A). Para os frutos em que houve aplicação de 0,2%v/v (D50) de fungicida, houve diferenças aos 30 e 40 dias de armazenamento (Figura I-12B). Entretanto, para os frutos tratados com 0,4 %v/v (D100), as diferenças no TA em função do tempo de exposição dos frutos no solo foram para os tratamentos 10, 20, 30 e 40 dias de armazenamento no galpão (Figura I-12C). Exceto para o tratamento com aplicação de fungicida 0,4%v/v armazenado por 10 dias no galpão, para

todos os demais houve elevação do TA à medida que os frutos ficaram mais tempo expostos no solo, seguido de redução do TA a partir de 14 dias de exposição no solo (Figura I-12).

A Figura I-13 mostra o comportamento do TA em função do armazenamento dos frutos no galpão para cada período de exposição dos frutos no solo e dose de fungicida aplicada em pós-colheita.



| Dose (% v/v) | Equação                                  | R <sup>2</sup> (%) | Gráfico |
|--------------|--|--------------------|---------|
| 0            | $y = 0,079500 + 0,003075x$               | 60,29              | A       |
| 0,2          | $y = 0,080714 - 0,000743x + 0,000204x^2$ | 97,89              | A       |
| 0,4          | $y = 0,080357 - 0,005396x + 0,000327x^2$ | 83,64              | A       |
| 0            | $y = 0,089000 + 0,003925x$               | 62,69              | B       |
| 0,2          | $y = 0,059500 + 0,008075x$               | 60,19              | B       |
| 0,4          | $y = 0,015714 + 0,020982x - 0,000334x^2$ | 55,75              | B       |

Figura I-13 - Teor de água no óleo em função do armazenamento dos frutos no galpão e cada época de exposição dos frutos no solo e dose de fungicida. 7 e 14 dias de exposição dos frutos no solo, Gráficos A, B, respectivamente

Somente aos 7 e 14 dias de exposição dos frutos no solo, eles apresentaram uma variação no TA ao longo do armazenamento em cada dose aplicada de fungicida. Para os frutos que receberam aplicação de fungicida e foram colhidos aos 7 dias de exposição ao solo, foram obtidos menores valores TA, aproximadamente, por até 25 dias de armazenamento dos frutos em relação aos frutos sem aplicação de fungicida em pós-colheita (Figura I-13A). Para os frutos colhidos com 14 dias de exposição no solo, independentemente do uso de fungicida, houve elevação do TA ao longo do armazenamento dos frutos no galpão, tendo ao final do armazenamento os frutos sem aplicação de fungicidas apresentado menores valores de TA (Figura I-13B).

De forma geral, ocorre acréscimo do TA, independentemente do uso ou não de fungicida em pós-colheita, à medida que os frutos ficam por um período maior expostos ao solo e por mais tempo armazenados no galpão (Figuras I-11, I-12 e I-13 e Tabela 3). Este acréscimo provavelmente é devido à degradação do óleo do mesocarpo.

#### I.1.4.4 Teor de óleo na polpa (TO)

Para a variável TO, a interação dos fatores período de armazenamento (A) x exposição dos frutos ao solo (E) foi significativa ( $F = 5,71$   $p < 0,001$ ). A Figura 14 mostra o comportamento do TO em função do tempo de armazenamento e do tempo de exposição dos frutos ao solo, independentemente da dose de fungicida.

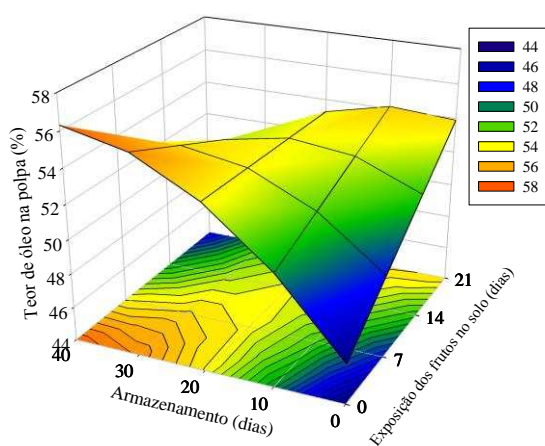


Figura I-14 - Teor de óleo do polpa em função do período de armazenamento e exposição dos frutos ao solo.

Até os 10 primeiros dias de armazenamento, houve incremento no TO para todas as épocas de exposição dos frutos ao solo. Para os frutos colhidos no cacho (E0), houve incremento do TO em aproximadamente 35% durante o armazenamento, alcançando 56% o conteúdo de óleo no mesocarpo aos 40 dias de armazenamento. Para os frutos que permaneceram 7 dias ao solo, houve aumento do TO em menor intensidade até 30 dias de armazenamento, com pequena redução no TO aos 40 dias de armazenamento.

Tanto aos 14 dias quanto aos 21 dias de permanência dos frutos ao solo, houve pequeno aumento do TO até aos 10 dias de armazenamento. Após 10 dias de armazenamento no galpão, ocorreu diminuição do TO nestes tratamentos (Figura I-14). Para estes tratamentos, o TO provavelmente aumentou durante os dias em que os frutos ficaram exposto ao solo.

Os teores de óleo no mesocarpo, os tratamentos sem permanência no solo ou expostos durante 7 dias e sem armazenamento foram semelhantes aos encontrados por Coimbra e Jorge (2011) (46%). Outros trabalhos obtiveram valores menores no teor de óleo (BORA; ROCHA, 2004; CICONINI et al., 2013). Esta variação, provavelmente, é devida aos diferentes biomas onde foram coletados estes frutos. O aumento do TO dos frutos da macaúba ao longo do armazenamento e das épocas de colheita é devido ao possível padrão de respiração climatérico dos frutos, responsável pelo seu amadurecimento após a colheita. Algumas espécies da família *Arecaceae* (=Palmae), nativas do Brasil, como *Mauritia vinifera* e *Syagrus oleracea*, e de outras regiões, como a *Phoenix dactylifera*, têm o padrão climatérico de respiração do fruto (SANTELLI et al., 2006 e 2009; SERRANO et al., 2001).

#### I.1.4.5 Microrganismos no epicarpo e mesocarpo do fruto

A Tabela 4 mostra a formação de grupos entre os tratamentos pelo método de Tocher, considerando aos seguintes parâmetros: FE, LE, BE, FM, LM, BM, FTE e FTM.

Tabela I-4 - Agrupamento de 24 tratamentos pelo método de otimização de Tocher modificado, com base na matriz de distâncias de Mahalanobis, em relação a oito parâmetros avaliados na quantificação dos microrganismos presentes no epicarpo e no mesocarpo dos frutos da macaúba.

| Grupos | Tratamentos |           |           |          |
|--------|-------------|-----------|-----------|----------|
| I      | E0D100A0    | E0D100A20 | E0D100A30 | E7D100A0 |
|        | E7D100A10   | E7D100A20 | E7D100A30 |          |
| II     | E0D50A0     | E0D50A10  | E0D50A20  | E0D50A30 |
|        | E7D50A0     | E7D50A10  | E7D50A20  | E7D50A30 |
| III    | E0D0A0      | E0D0A10   | E0D0A20   | E0D0A30  |
|        | E7D0A0      | E7D0A10   | E7D0A20   | E7D0A30  |
| IV     | E0D100A10   |           |           |          |

A formação dos grupos de similaridade foi feita segundo a dose de fungicida utilizada. O grupo I ficou com todos os tratamentos que tinham dose do fungicida de 0.4% v/v (D100), com exceção do tratamento E0D100A10, que formou o grupo IV com este único tratamento. Os demais grupos, II e III, foram agrupados com todos os tratamentos que tinham a dose 0.2% v/v (D50) e sem aplicação do fungicida (D0), respectivamente.

O uso do fungicida nas doses 0,2 e 0,4% v/v provocou efeito significativo e positivo nos parâmetros de qualidade do óleo. Os grupos de similaridade pelo método Tocher foram formados segundo a dose de fungicida utilizada em cada tratamento, mostrando que as doses utilizadas afetam a densidade de fungos e bactérias presentes no epicarpo e mesocarpo dos frutos da macaúba. O sucesso da utilização de agroquímicos em pós-colheita é comprovada em diversas espécies, incluindo maçã (ERRAMPALLI et al., 2006), citrus (SMILANICK et al., 2008) e uva (FRANCK et al., 2005).

### **I.1.5 Discussão visando à aplicação do óleo para produção de biodiesel**

Tanto a acidez quando a estabilidade a oxidação do óleo do mesocarpo apresentaram drásticas alterações à medida que os frutos permaneceram por mais tempo no solo.

O IA do óleo é um dos principais parâmetros a serem considerados no processo de transesterificação dos óleos vegetais para produção do biodiesel. Na produção do biodiesel via transesterificação alcalina, recomenda-se que o óleo tenha no máximo 3% de IA para que ocorra uma completa reação (DORADO et al., 2002; MEHER et al., 2006). Desta forma, frutos colhidos com até sete dias de permanência no solo, se processados logo após a colheita, têm acidez do óleo satisfatória para sua utilização como matéria-prima para o biodiesel. Quando a colheita dos frutos foi feita na planta e se utilizou o tratamento em pós-colheita com fungicida Thiabendazol na concentração 0.2 ou 0.4% v/v, os frutos armazenados em galpão por até 20 dias mantiveram IA satisfatório para produção do biodiesel.

Para a EO, as normas brasileiras e europeias (ANP 07/2008 e EN 14214) estabelecem um período de indução de no mínimo 6h para o biodiesel. Neste contexto, de modo semelhante como ao IA, frutos colhidos na planta e tratados com fungicida obtiveram maiores PI (maior estabilidade à oxidação) do óleo do mesocarpo, quando armazenados por até 20 dias. Para colheita no solo, os frutos devem ser coletados em até 7 e processados imediatamente para evitar degradação intensa do óleo do mesocarpo

Apesar de existirem diferenças entre os tratamentos, o teor de água no óleo do mesocarpo (TA) apresentou valores relativamente altos quando a finalidade do óleo foi produção de biodiesel. As normas brasileiras e europeias (ANP 07/2008 e EN 14214) estabelecem no máximo 0,05% de água e sedimentos no biodiesel. Água é prejudicial na reação de transesterificação sob a grande maioria das condições reacionais e de

processos conhecidos (enzimáticos, alcalinos, ácidos, sejam homo ou heterogêneos). A sua remoção é muito importante antes da transesterificação (DABDOUB et al., 2009). Além disso, a presença de água e de sedimentos em níveis superiores àqueles prefixados é altamente prejudicial ao biodiesel, pois acelera sua deterioração e prejudica sua combustão, além de acelerar a saturação dos filtros e provocar danos ao sistema de combustível(VAN GERPEN et al., 2004). Entretanto, Canakci & Van Gerpen (1999), estudando a produção de biodiesel de soja como matéria-prima, utilizando a catálise ácida, observaram que, para um bom rendimento de biodiesel, o teor de água no óleo deve ser menor que 0,5%.

A qualidade do óleo é de suma importância para a obtenção de biodiesel de qualidade. Isto porque a qualidade do biodiesel está diretamente relacionada com a composição química do óleo utilizado (DABDOUB et al., 2009). O prolongamento da vida pós-colheita e a manutenção da qualidade dos frutos da macaúba podem proporcionar vantagens para a indústria, aumentando o tempo de processamento dos frutos e reduzindo o custo com a logística de colheita, sem perdas quantitativas e qualitativas do óleo.

#### **I.1.6 Conclusão**

A colheita dos frutos no cacho ou até sete dias exposto no solo manteve a qualidade do óleo do mesocarpo (baixa acidez e elevada estabilidade oxidativa) para sua utilização como fonte de matéria-prima para produção do biodiesel.

O uso de fungicida em pós-colheita proporciona efeito positivo na manutenção da qualidade do óleo do mesocarpo em relação ao índice de acidez e à estabilidade oxidativa. Os melhores resultados para a manutenção da qualidade do óleo durante o armazenamento dos frutos, em pós-colheita, foram obtidos nos tratamentos com a colheita dos frutos no cacho e utilização de fungicida em pós-colheita.

Após a colheita, ocorre acréscimo significativo no teor de óleo do mesocarpo dos frutos da macaúba, independentemente do tratamento estudado. Esse acúmulo proporciona maiores rendimentos de óleo durante o processo de extração, possibilitando ganho adicional de óleo, quando estes frutos são armazenados.

## **I.2 EXPERIMENTO II**

### **I.2.1 ARMAZENAMENTO DE FRUTOS DE MACAÚBA EM SILOS DO TIPO SECADOR-ARMAZENADOR**

#### **I.2.2 Objetivo**

Avaliar o processo de maturação natural e manutenção da qualidade do óleo de frutos de macaúba armazenados em silos do tipo secador-armazenador, utilizando fluxo de ar à temperatura ambiente.

#### **I.2.3 Material e métodos**

##### **I.2.3.1 Local de coleta e montagem do experimento.**

Na safra 2012/2013, foram colhidos em torno de 300 cachos de macaúba na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), situada no município de Sete Lagoas, MG, limitada pelas coordenadas plano-retangulares  $19^{\circ}26'57,53''\text{S}$  -  $44^{\circ}09'25,16''\text{O}$ ;  $19^{\circ}26'29,09''\text{S}$  -  $44^{\circ}09'17,69''\text{O}$ , datum WGS 84. Dessas plantas, foram colhidos em uma única colheita cachos fisiologicamente maduros, utilizando uma estrutura protetora (colchão de espuma) para evitar danos mecânicos (Figuras I-2A e I-2B) .

Logo após a colheita, os frutos foram transportados para a Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, onde foram armazenados em silos do tipo secador-armazenador, Figura I-15<sup>a</sup>, no Departamento de Engenharia Agrícola da UFRV. Esses silos foram construídos em alvenaria com as dimensões de 1,2 m de altura, diâmetro interno 0,99 m e volume  $0,92\text{ m}^3$ , com uma grade de tela no fundo de cada silo para viabilizar a distribuição homogênea do fluxo de ar. Para o sistema de ventilação, foi utilizado um ventilador radial, com ar sem aquecimento (temperatura ambiente) (Figura I-15B).



Figura I-15 Silo Armazenador-secador (A), ventilador radial (B), Enchimento dos silos (C e D)

Antes do enchimento dos silos, os frutos foram selecionados, eliminando-se os frutos com danos e outras características indesejáveis, e homogeneizados ( todos os frutos coletados foram misturados). Logo após este procedimento, foi iniciado o enchimento dos silos com os frutos (Figuras I-15C e I-15D). Cada silo foi preenchido com aproximadamente 540kg de frutos.

Foram utilizados quatro tratamentos: a) fluxo de ar para secagem; b) fluxo de ar para aeração; c) aplicação de fungicida nos frutos com fluxo de ar para aeração; e d) testemunha, sem fluxo de ar e fungicida. O fluxo de ar de secagem foi definido com base na experiência com secagem de grãos ( $10\text{m}^3\cdot\text{ton}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Ajustado para o experimento em questão, o fluxo de ar de secagem foi de  $5,41\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$ . O fluxo de aeração é normalmente 10 vezes menor que o fluxo de secagem, tendo sido aplicado com vazão de  $0,54\text{m}^3\cdot\text{min}^{-1}$ . O volume de ar emitido pelo ventilador radial em cada silo foi ajustado, regulando a entrada de ar no silo e medindo a velocidade do ar de saída do silo, o qual foi ajustado segundo o volume do silo. O fluxo de ar de saída foi aferido por um anemômetro digital portátil, fazendo os ajustes em cada silo para adequar o fluxo de ar a cada tratamento. No tratamento testemunha, a entrada de ar do silo foi totalmente

vedada, de modo a não haver ar em movimento dentro da massa de frutos. Em ambos os fluxos de ar, secagem e aeração, foi utilizado ar ambiente, sem aquecimento.

No tratamento com fungicida, utilizou-se o fungicida Tecto SC, na concentração de 0,4% v.v, com fluxo de aeração. A concentração utilizada seguiu os resultados obtidos no experimento I.

Durante a execução do experimento, foram monitoradas a temperatura e umidade relativa do ar ambiente e dentro dos silos do tipo secador-armazenador. Para a mensuração dos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, foi utilizado um DataLogger, modelo HT-500, marca Instrutherm.

Para as avaliações da qualidade do óleo do mesocarpo ao longo do armazenamento, 15 frutos foram individualizados em sacos com rede de polietileno, dispostos no sentido vertical em relação à base do silo para proceder à amostragem representativa ao longo do perfil da massa de frutos (Figuras I-16 A, B e C).

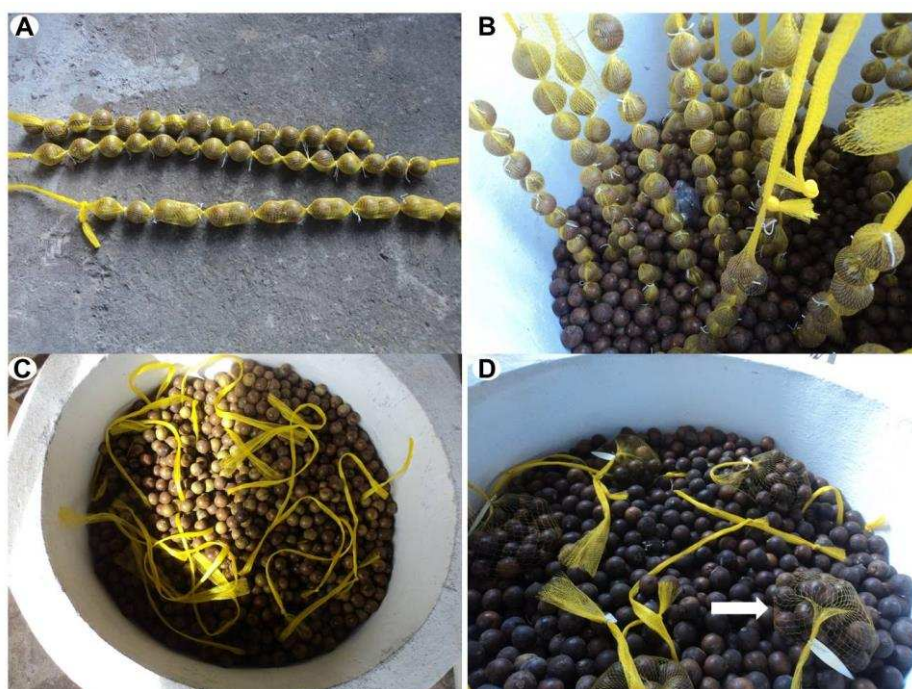


Figura I-16 - Disposição dos frutos no silo utilizados para análises de qualidade do óleo ao longo do armazenamento (A, B e C) e amostras para determinação do teor de umidade dos frutos (D).

Para determinar o do teor de umidade dos frutos no silo, foram compostas cinco amostras contendo 20 frutos cada. As amostras foram individualizadas em sacos com rede de polietileno, que permaneceram na superfície de cada tratamento(silo) (Figura I-16D).

### I.2.3.2 Análises

Os frutos foram processados no Laboratório de Biotecnologia e Pós-Colheita de Macaúba do Departamento de Fitotecnia da UFV. Para as análises relativas à qualidade do óleo, o mesocarpo dos frutos foi seco em estufa com ventilação forçada, a 60°C por 24h e, em seguida, o óleo foi extraído por prensagem mecânica. O óleo obtido foi armazenado em frasco âmbar envolvido em papel alumínio e conservado à temperatura de -5°C até o procedimento das análises. Foram avaliados os seguintes parâmetros: índice de acidez do óleo do mesocarpo (IA), estabilidade à oxidação do óleo do mesocarpo (EO), mensurado pelo período de indução (PI), teor de água no óleo (TA), teor de óleo na polpa (TO) e teor de umidade do fruto.

Para a determinação do teor de umidade do fruto, utilizou-se o método de estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  até atingir peso constante em uma amostra de frutos, procedimento feito logo após a colheita. Com posse do teor de umidade que os frutos apresentavam no início do experimento, cinco amostras contendo 20 frutos/amostra, Figura I-16D, em cada silo, foram pesadas a cada dois dias para monitorar a perda de água, determinando o teor de umidade do fruto durante o período de secagem-armazenamento.

Já para as análises de qualidade do óleo e teor de óleo do mesocarpo, as amostras foram retiradas em acordo com as épocas de armazenamento avaliadas (0, 15, 30,45, 55 e 65 dias). Os parâmetros IA, PI, TA e TO foram mensurados conforme metodologia descrita no Experimento I.

### I.2.3.3 Delineamento e análises estatísticas

Para verificar o efeito da secagem com ventilação forçada de ar ambiente durante o armazenamento em silos do tipo secador-armazenador, foi montado um segundo experimento com os tratamentos testemunha (S1), fluxo de ar de aeração (S2), fluxo de ar de aeração mais tratamento com fungicida (S3) e fluxo de secagem (S4), em seis épocas de armazenamento (0, 15, 30,45, 55 e 65 dias), segundo o esquema fatorial 4 x 6. Foram 4 tipos de secagem-armazenagem em seis épocas de armazenamento, no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, 1% ao nível de significância, e de regressão. Para o fator qualitativo, silos do tipo secador-armazenador, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de nível de significância

Para as análises de variância, regressão e teste de médias, utilizou-se o Software R. Para a plotagem dos gráficos, utilizou-se o Software Sigma Plot 11.0 (SPSS, 2001).

## I.2.4 Resultados e Discussão

### I.2.4.1 Teor de umidade dos frutos, temperatura e umidade relativa

A Figura 17 mostra os valores médios do teor de umidade dos frutos ao longo do período de secagem-armazenamento nos silos do tipo secador-armazenador. Os frutos iniciaram a secagem-armazenagem com 73% b.s (42% b.u) de umidade. Em todos os tratamentos, ao longo da secagem-armazenagem, ocorreu queda significativa do teor de umidade dos frutos chegando a 5,79; 2,53; 2,07 e 3,57% b.s para os tratamentos testemunha (S1), fluxo de aeração (S2), fluxo de aeração + fungicida (S3) e fluxo de secagem (S4), respectivamente, aos 65 dias de armazenamento (Figura I-17). Nos primeiros 20 dias de secagem-armazenagem, ocorreram as maiores taxas de perda na umidade dos frutos, 22, 26, 21 e 29% para os tratamentos S1, S2, S3 e S4, respectivamente. Aos 30 dias de secagem-armazenagem, a diferença no teor de umidade dos frutos entre o tratamento S4 do S1 foi de somente 5,5% b.s, sendo que o S1 apresentava em torno de 27,5% b.s de teor umidade, enquanto o S4 se encontrava com de 22% b.s de umidade nos frutos.

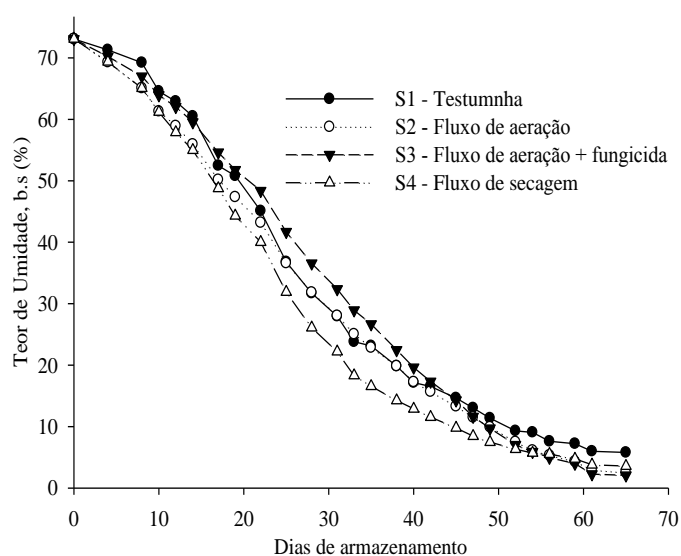


Figura I-17 - Teor de umidade dos frutos (base seca) nos silos do tipo secador-armazenador ao longo do armazenamento

Apesar de o fluxo de secagem apresentar redução mais acentuada no teor de umidade dos frutos de macaúba em relação aos demais tratamentos, o fluxo de ar não foi eficiente em promover uma secagem rápida. Nos demais tratamentos, observou-se o mesmo efeito, porém com menor intensidade, principalmente nos primeiros dias. Provavelmente a dificuldade do fruto em perder água seja devida ao epicarpo (casca) rígido recoberto por espessa camada de cera, além da reduzida superfície específica do fruto, quando comparada à de grãos, o que promove impedimento físico significativo na perda de água.

Outro fator que dificulta a perda de água por este sistema de secagem-armazenagem é o formato do fruto em forma de esfera. Este formato contribui para a passagem mais rápida do fluxo de ar dentro do silo, reduzindo o contato entre o ar insuflado com os frutos, fazendo com que seja reduzida a eficiência do fluxo de ar em retirar a água dos frutos. Além desses fatores, a alta umidade relativa do ar do ambiente, Figura I-18, pode ter contribuído para a manutenção da umidade no fruto. O ar insuflado com alta umidade reduz sua capacidade de retirar a água do meio, uma vez que este ar já está quase saturado com água.

A secagem de grãos em silos com ventilação forçada utilizando ar natural é um processo lento, sendo que a baixa velocidade de secagem pode ser atribuída ao pequeno fluxo de ar insuflado na massa de grãos e à dependência da capacidade de secagem do ar em estado natural (SILVA et al., 2008).

A Figura 18 mostra a umidade relativa do ar e a temperatura do ar no ambiente onde estavam os silos do tipo secador-armazenador e no interior dos silos 2 e 4, fluxo de areação e fluxo de secagem, respectivamente.

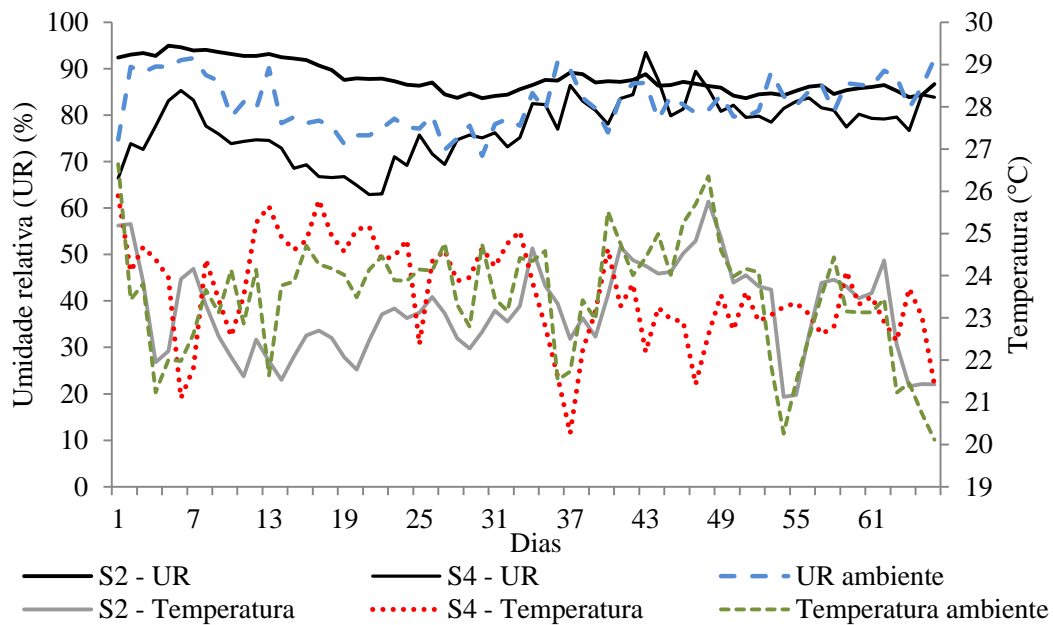


Figura I-18 - Valores de temperatura e umidade relativa do ar (UR) no ambiente e nos silos do tipo secador-armazenador ao longo do período de secagem-armazenagem dos frutos. S2(silo testemunha), S4 (silo com fluxo de secagem)

Durante todo o experimento, a umidade relativa do ar (UR) se manteve entre 75 e 90% e a temperatura média ficou entre 20 e 26°C (Figura I-18). Tanto nos silos quanto no ambiente, a temperatura média ao longo do experimento foi semelhante, 23,5°C, tendo o mesmo ocorrido com a UR, 84%. Estes resultados mostram que o ar insuflado nos silos não foi suficiente para alterar a temperatura e a UR dentro dos silos.

#### I.2.4.2 Teor de óleo do mesocarpo (TO)

Não houve diferença significativa entre os silos para teor de óleo no mesocarpo, mas houve diferenças durante o armazenamento dos frutos nos silos ( $F = 30,22$ ,  $p < 0,001$ ). A Figura 19 mostra a evolução do acúmulo de óleo no mesocarpo dos frutos da macaúba, independentemente do silo secador-armazenador.

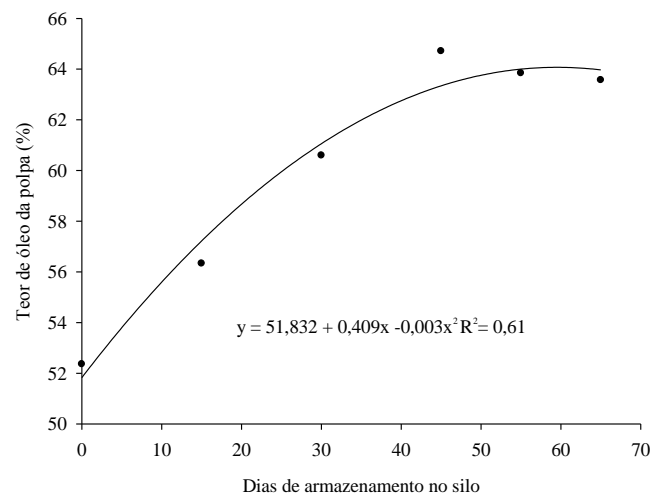


Figura I-19 - Teor de óleo do mesocarpo (%) dos frutos da macaúba nos silos do tipo secador-armazenador.

Semelhantemente ao ocorrido no Experimento I, durante o armazenamento houve aumento significativo no teor de óleo do mesocarpo: acréscimo de 21% no teor de óleo chegando 63,5% de óleo no mesocarpo do fruto da macaúba aos 65 dias após armazenamento.

Estes resultados mostram que o armazenamento dos frutos em silo de alvenaria, com ou sem ventilação forçada com ar ambiente, não afeta o acúmulo de óleo no pós-colheita.

Até aos 30 dias de armazenamento, ocorreu o maior incremento no acúmulo de óleo, 8,2%, atingindo 60,6% o TO (Figura I-19). Martins (2013), trabalhando com tratamentos físicos, raios gama e secagem, em pós-colheita com frutos de macaúba, também encontrou incremento no teor de óleo do mesocarpo durante o armazenamento dos frutos. Esse incremento no teor de óleo na polpa é semelhante ao encontrado no Experimento I, reforçando a hipótese de um possível padrão de respiração climatérica em frutos de macaúba, o que resulta na continuidade do processo de maturação do fruto após o desprendimento da planta mãe. Apesar de incomum, algumas *Arecaceae* (=Palmae) nativas do Brasil, como *Mauritia vinifera* e *Syagrus oleracea*, e de outras regiões, como a *Phoenix dactylifera*, também apresentam frutos climatéricos (SANTELLI et al., 2006 e 2009; SERRANO et al., 2001).

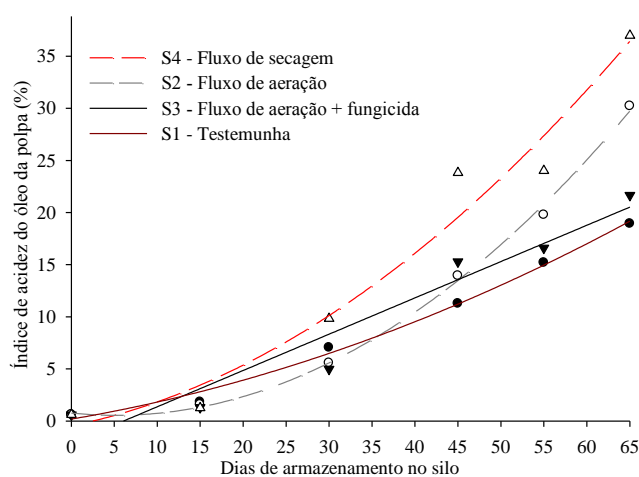
Os significativos aumentos no teor de óleo do mesocarpo da macaúba em pós-colheita encontrados neste trabalho podem resultar em ganhos expressivos de

produtividade de óleo na unidade industrial, gerando impacto positivo na cadeia produtiva.

#### I.2.4.3 Índice de acidez no óleo do mesocarpo (IA)

Para o índice de acidez (IA), a interação entre os fatores silos e secagem-armazenamento foi significativa ( $F = 7,89$   $p < 0,001$ ), mostrando que as diferentes formas de secagem-armazenamento influenciaram este parâmetro.

A Figura I-20 mostra a evolução do IA para cada silo secador-armazenador ao longo do tempo de armazenamento. Em todos os silos, houve aumentos significativos no IA com o passar do tempo de secagem-armazenagem.



| Tratamento | Equação                                   | R <sup>2</sup> (%) |
|------------|---|--------------------|
| S1         | $y = -0,955227 + 0,288916x$               | 90,27              |
| S2         | $y = 0,740598 - 0,079576x + 0,008055x^2$  | 96,41              |
| S3         | $y = -0,24518 + 0,135684x + 0,003269x^2$  | 89,72              |
| S4         | $y = -0,487689 + 0,175857x + 0,005997x^2$ | 92,81              |

Figura I-20 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo dos frutos de macaúba no sistema de secagem-armazenamento

O S4, fluxo de secagem, foi o tratamento que obteve elevação do IA mais acentuada ao longo do período de armazenamento. Os S1 e S3, testemunha e fluxo de aeração + fungicida, foram semelhantes no acréscimo do IA, obtendo as menores taxas de crescimento do IA ao longo do tempo.

Na Tabela I-5, são apresentados os valores médios do índice de acidez do óleo do mesocarpo da macaúba em porcentagem em ácido oleico nas diferentes formas de secagem-armazenagem em cada período avaliado. Antes de iniciar o período de

secagem-armazenagem, o óleo do mesocarpo apresentava valores de IA abaixo de 1%. Aos 30 dias de secagem-armazenamento, os tratamentos fluxo de aeração mais fungicida (S3) e fluxo de aeração (S2) apresentavam valores menores que os obtidos pela testemunha (S1) e fluxo de secagem (S4). A partir de 45 dias, todos os tratamentos apresentavam altos valores do IA, tendo o tratamento S4 atingido valores superiores, quando comparado aos demais tratamentos.

Tabela I-5 - Valores médios do índice de acidez (%) do óleo do mesocarpo dos frutos da macaúba em diferentes formas de secagem-armazenagem em silos de alvenaria.

| Tratamento                     | Dias de secagem-armazenamento |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                | 0                             | 15     | 30     | 45     | 55     | 65     |
| S1 - Testemunha                | 0,60ns                        | 1,82ns | 7,05ab | 11,26a | 15,19a | 18,92a |
| S2 - Fluxo aeração             | 0,60ns                        | 1,31ns | 4,99a  | 15,29a | 19,77b | 30,25b |
| S3 - Fluxo aeração + fungicida | 0,60ns                        | 1,58ns | 5,56a  | 13,93a | 16,6ab | 21,66a |
| S4 - Fluxo de secagem          | 0,60ns                        | 1,25ns | 9,81b  | 23,8b  | 24b    | 36,98c |

\* Não significativo pelo teste F a 5% de significância na análise de variância (ns). \*\* Médias seguidas por letras iguais na coluna, não difere entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Conforme observado no Experimento I, a utilização de fungicida em pós-colheita em frutos coletados na planta proporciona menor incremento do IA durante o armazenamento dos frutos em galpão, quando comparado à testemunha, até os 40 dias de armazenamento. Neste trabalho, a combinação de fungicida e fluxo de aeração (S3) apresentou menores valores no IA no final do período avaliado, 65 dias, quando comparado aos outros tratamentos que utilizaram ventilação forçada. Estes dados enfatizam a eficiência da utilização de fungicida em pós-colheita para redução do incremento do IA ao longo do armazenamento dos frutos.

Um dos principais processos de degradação do óleo é devido ao processo de rancidez hidrolítica, também denominada acidez livre, que é mensurada pelo IA. Essa rancidez, por sua vez, é ocasionada via enzimática e não enzimática. Na hidrólise enzimática, as lipases hidrolisam os triglicerídeos, resultando na liberação de ácidos graxos, acidificando o meio (MORETTO; FETT, 1998). Lipases podem ocorrer naturalmente em frutos ou podem estar associadas a microrganismos. Souza (2013) mostra a presença da atividade da enzima lipase na polpa de frutos de macaúba coletados em Mato Grosso Sul. Em frutos de dendê (*Elaeis guineensis*), a lipase é um dos fatores responsáveis pela acidificação do óleo do mesocarpo (Mohankumar et al.,1990). Abbaset al. (2002) e Hiol et al. (2000) observaram que a elevação do IA é resultado principalmente da ocorrência das lipases microbianas em frutos de dendê. Tagoe et al. (2012) encontraram acréscimo tanto na acidez do óleo do mesocarpo

quanto na quantidade de fungos e bactérias em frutos de dendê estocados por até 26 dias.

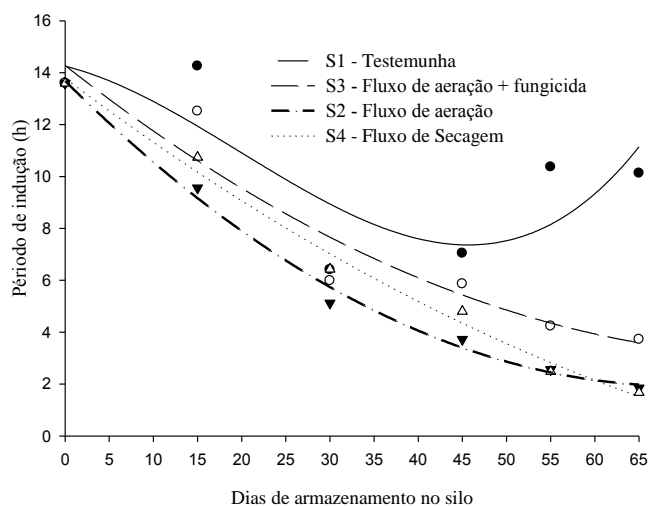
Farias (2010) encontrou valores médios do IA do óleo do mesocarpo aos 30 dias de armazenamento de frutos de macaúba superiores aos tratamentos S2 e S3 para o mesmo período de armazenamento. O resultado encontrado por este autor foi referente ao tratamento em que os frutos foram lavados com detergente a 2% em água e logo submetido à fervura durante 25 minutos, sendo armazenados em caixas de papelão.

O pior resultado encontrado no tratamento S4, fluxo de secagem, para o IA se deve, provavelmente, ao ar insuflado no silo com alta umidade relativa. Este ar com grande vapor d'água, provavelmente, acelerou as reações de rancidez hidrolítica, uma vez que a água facilita a hidrólise enzimática. Além disto, o fluxo de secagem e até mesmo de aeração, provavelmente, proporcionou uma renovação da atmosfera, fazendo com que a concentração de CO<sub>2</sub> no S1 (testemunha) fosse maior que nos demais silos, o que, provavelmente, reduziu a taxa respiratória do fruto.

#### I.2.4.4 Estabilidade oxidativa no óleo do mesocarpo (EO)

Semelhantemente ao IA, a EO teve interação silo x tempo de secagem-armazenamento significativa ( $F = 2,378$ ,  $p = 0,0076358$ ), mostrando que as diferentes formas de secagem-armazenamento influenciaram na EO mensurada pelo período de indução (PI), durante o período de armazenamento.

A Figura I-21 apresenta o comportamento do PI durante a secagem-armazenamento nos diferentes silos. Em todos os tratamentos, houve redução do PI, ou seja, redução da estabilidade oxidativa do óleo. Apenas o tratamento S1 apresentou comportamento anormal em relação ao PI, Figura I-21, tendo ocorrido acréscimo significativo do PI no final da secagem-armazenagem dos frutos. Os tratamentos S2 e S4, fluxo de aeração e fluxo de secagem, foram os tratamentos que apresentaram maiores reduções na estabilidade oxidativa ao longo da secagem-armazenamento.



| Tratamento | Equação                                   | R <sup>2</sup> (%) |
|------------|---|--------------------|
| S1         | $y = 14,88228 - 0,327331x + 0,003965x^2$  | 58,56              |
| S2         | $y = 14,27796 - 0,268874x + 0,0016066x^2$ | 92,27              |
| S3         | $y = 13,68185 - 0,337516x + 0,00242x^2$   | 95,36              |
| S4         | $y = 13,79001 - 0,2571879x + 0,001055x^2$ | 92,04              |

Figura I-21 - Período de indução do óleo (h) do mesocarpo dos frutos de macaúba no sistema de secagem-armazenamento.

A Tabela 6 apresenta os valores médios do PI do óleo do mesocarpo de macaúba entre os tratamentos em diferentes períodos de secagem-armazenamento. Inicialmente, o óleo do mesocarpo da macaúba apresentou altos valores do PI para todos os tratamentos. Aos 15 dias de secagem-armazenamento, o tratamento S4 obteve maior oxidação do óleo do mesocarpo, menor PI, quanto comparado ao S1. Em todos os períodos avaliados, o S1 obteve maiores valores de PI, sendo que, a partir dos 55 dias de secagem-armazenamento, o S1 foi superior em relação aos demais tratamentos.

Tabela I-6 - Valores médios do período de indução (h) do óleo do mesocarpo dos frutos da macaúba em diferentes formas de secagem-armazenagem em silos de alvenaria.

| Tratamento                     | Dias de secagem-armazenamento |         |        |        |        |        |
|--------------------------------|-------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
|                                | 0                             | 15      | 30     | 45     | 55     | 65     |
| S1 - Testemunha                | 13,59ns                       | 14,25a  | 6,41ns | 7,04ns | 10,37a | 10,13a |
| S2 - Fluxo aeração             | 13,59ns                       | 10,73ab | 5,12ns | 3,72ns | 2,56b  | 1,85b  |
| S3 - Fluxo aeração + fungicida | 13,59ns                       | 12,52ab | 5,99ns | 5,86ns | 4,24b  | 3,72b  |
| S4 - Fluxo de secagem          | 13,59ns                       | 9,56b   | 6,43ns | 4,79ns | 2,48b  | 1,67b  |

\* Não significativo pelo teste F a 5% de significância na análise de variância (ns). \*\* Médias seguidas por letras iguais na coluna, não difere entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

A oxidação dos óleos ocorre a partir de uma cadeia de reações, que consiste em uma fase de indução. O tempo anterior ao momento em que ocorre elevação demasiada na taxa de oxidação do lipídeo é o que chamamos de estabilidade à oxidação, sendo denominado período de indução(PI) (COPPIN; PIKE, 2001), expresso em horas. A estabilidade oxidativa do óleo é um dos indicadores mais importantes para a manutenção da sua qualidade. Este parâmetro depende da composição química e da qualidade da matéria-prima e reflete as condições a que o produto foi submetido durante o processamento e o armazenamento (HILL, 1994; TAN et al., 2002).

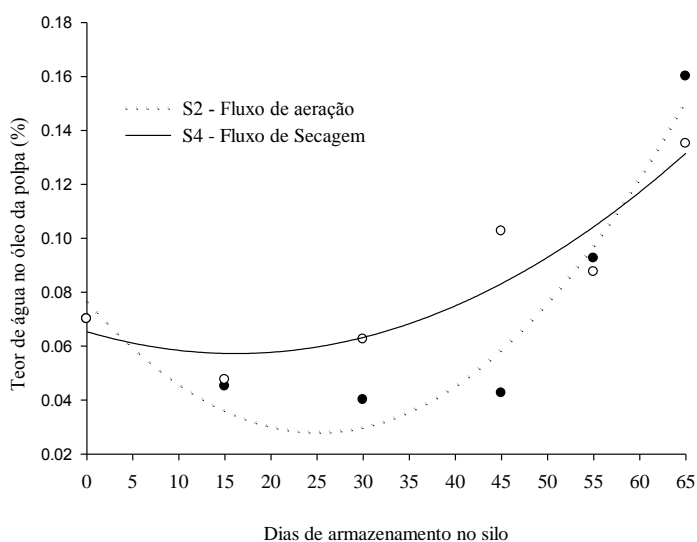
A redução da estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo se deve, provavelmente, à ação de microrganismos, à alta concentração de oxigênio e ao perfil dos ácidos graxos do óleo. O grau de insaturação dos ácidos graxos e a posição das duplas cadeias carbônicas determinam a taxa de oxidação do óleo (MEHER et al., 2006; BOUAID et al., 2007). No óleo do mesocarpo da macaúba, predominam os ácidos graxos insaturados (73%), 14% de ácido linoleico (C18:2); enquanto no óleo da amêndoa, predominam ácidos graxos saturados (60%) (COIMBRA; JORGE, 2011). Estes mesmos autores encontraram valores maiores do PI do óleo da amêndoa da macaúba (30,39 h) em relação ao do mesocarpo (11,32 h). Este valor é próximo ao encontrado neste experimento em todos os tratamentos até os 15 dias de secagem-armazenamento.

As enzimas lipoxigenases presentes nos frutos e nos microrganismos, aliadas às temperaturas no silo e à alta concentração de oxigênio promovida pela ventilação forçada, provavelmente colaboraram para acelerar a oxidação do óleo do mesocarpo. A menor degradação do óleo do mesocarpo no S1 pode ter sido devida à não renovação do ar no interior do silo. Isso pode ter promovido maior concentração de gás carbônico dentro do silo, pela respiração dos frutos, gerando menor concentração de oxigênio. Destarte, houve menor oxidação do oxigênio ambiente com os ácidos graxos

insaturados, reduzindo a produção de compostos indesejáveis, os quais promovem a rancificação do óleo. A portaria 225 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2010) determina que o tempo de indução mínimo para a perda da estabilidade oxidativa deve ser de 6,0 h para o biodiesel. Combustíveis com baixa estabilidade oxidativa formam produtos insolúveis, que ocasionam entupimento do sistema de injeção de combustível do motor (LÔBO et al., 2009). Utilizando este valor de referência para a estabilidade oxidativa, os frutos armazenados em silos com fluxo de ar de aeração ou secagem em torno de 30 até 65 dias devem ser mantidos sem ventilação dentro do silo.

#### I.2.4.5 Teor de água no óleo do mesocarpo (TA)

Para teor de água no óleo do mesocarpo (TA), somente foi significativo para o fator tempo de armazenamento ( $F = 4,43$   $p = 0,0015$ ). As diferentes formas de secagem não diferiram estatisticamente para cada período de armazenamento avaliado. A Figura 22 mostra a evolução do TA nos tratamentos S2 e S4, os únicos que foram significativos durante a secagem-armazenamento.



| Tratamento | Equação                                    | R <sup>2</sup> (%) |
|------------|--|--------------------|
| S2         | $y = 0,0763282 - 0,003807x + 0,0000759x^2$ | 86,61              |
| S4         | $y = 0,065401 - 0,0010055x + 0,0000311x^2$ | 71,19              |

Figura I-22 - Teor de água no óleo (%) do mesocarpo dos frutos de macaúba no sistema de secagem-armazenamento.

No S2, houve redução do TA nos primeiros dias de secagem-armazenamento, com uma elevação do TA a partir dos 40 dias de secagem-armazenamento, chegando a 0,16 % de água no óleo do mesocarpo. Para o S4, o comportamento foi semelhante ao S2, porém a elevação do TA se iniciou cerca de 30 dias de secagem-armazenamento e atingiu 0,13 % de água no óleo do mesocarpo, aos 65 dias (Figura I-22).

Aos 65 dias de armazenamento, o S3, fluxo aeração + fungicida, foi o tratamento que apresentou menor valor médio do TA, 0,07%, seguido pela S1, S2 e S4, 0,09, 0,13 e 0,16%, respectivamente.

Apesar de ocorrer variações do teor de água no óleo do mesocarpo de macaúba entre os tratamentos durante o armazenamento dos frutos, todos os valores encontrados neste experimento são considerados satisfatórios para o óleo de polpa como fonte de matéria-prima para o biodiesel. Canakci & Van Gerpen (1999), estudando a produção de biodiesel de soja como matéria-prima utilizando catálise ácida, observaram que para um bom rendimento de biodiesel o teor de água no óleo deve ser menor do que 0,5%.

Os maiores valores do TA para os tratamentos S2 e S4 corroboram os resultados obtidos na estabilidade oxidativa e no índice de acidez do óleo, enfatizando que a degradação do óleo foi ocasionada, provavelmente, por enzimas do fruto e de microrganismos, presença de água e oxigênio em abundância.

### **I.2.5 Conclusão**

O uso de silo secador-armazenador é uma técnica potencial de armazenamento dos frutos para manter a qualidade do óleo do mesocarpo. A secagem-armazenagem em torno de 25 dias promove acúmulo de óleo no mesocarpo e mantém este óleo com boas características para seu uso para a produção de biodiesel. Com adição de fungicida em pós-colheita nos frutos, eles podem chegar até 30 dias com o óleo do mesocarpo com boas características.

É necessário desenvolver novos trabalhos para concluir com maior precisão acerca do processo de secagem em silos secadores-armazenadores, uma vez que se esperava melhor manutenção da qualidade do óleo nos frutos - controle da acidez, manutenção da estabilidade oxidativa e baixo teor de água no óleo - armazenados em silos com fluxo de secagem, o que não foi observado neste trabalho.

## **1.3 EXPERIMENTO III**

### **I.3.1 INFLUÊNCIA DA SECAGEM ARTIFICIAL E DO ARMAZENAMENTO DOS FRUTOS DE MACAÚBA NA QUALIDADE DO ÓLEO DA POLPA DA MACAÚBA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

#### **I.3.2 Objetivos**

Avaliar a associação de métodos químicos (fungicidas) e físicos (secagem) no tratamento de frutos de macaúba, visando ao aumento do teor de óleo e à manutenção da qualidade após armazenamento à temperatura ambiente.

#### **I.3.3 Materiais e Métodos**

##### **I.3.3.1 Local de coleta, montagem do experimento**

Os frutos avaliados neste trabalho foram coletados na Fazenda Capela, município de Acaiaca, Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, Brasil, limitado pelas coordenadas plano-retangulares 20°24'16,73''S - 43°09'29,65''O e 20°23'52,02''S - 43°08'48,29''O, datum WGS 84. Na safra 2012/2013, foram selecionadas e georreferenciadas 100 plantas de macaúba (Figura I-23). Destas plantas, foram colhidos em uma única colheita cachos fisiologicamente maduros, utilizando uma estrutura protetora (colchão) para evitar danos mecânicos (Figuras I-2A e I-2B).

Logo após a colheita, os frutos foram transportados para a Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG. Em seguida, feita feita a aplicação do fungicida Tecto SC, princípio ativo Thiabendazol, na concentração 0,4% v/v. O volume da solução fungicida foi de 60 L, utilizando água como veículo, sendo que os frutos permaneceram na solução durante dois minutos, conforme recomendação do fabricante. A concentração utilizada foi devida aos resultados obtidos no Experimento I. Os frutos foram conservados no laboratório de pós-colheita em temperatura ambiente, permanecendo por 18 dias para promover o acúmulo total de óleo na polpa, conforme os resultados obtidos no Experimento I. Além disto, Martins (2013) mostrou que frutos secos em estufa de circulação fechada logo após a colheita inibem o acúmulo de óleo na polpa de frutos de macaúba.



Figura I-23 - Plantas de macaúba georreferenciadas, destinadas à coleta de frutos para condução de experimentos, localizadas Fazenda Capela, Acaiaca-MG. Fonte: Google earth

Após este período, uma parte dos frutos foi levada ao secador de camada fina, Figura I-24A, a uma temperatura de média 60°C. Os frutos ficaram dispostos no secador em seis bandejas, contendo cada bandeja uma camada de frutos. Essas bandejas foram reposicionadas, dentro do secador, todos os dias, para secagem homogênea dos frutos entre as bandejas. Diariamente, as bandejas com os frutos foram pesadas para acompanhar a perda de umidade. Quando os frutos atingiram cerca de 9% umidade (b.s), foi paralisada a secagem, e os frutos foram conservados no galpão do setor de Fruticultura/UFV, em caixas plásticas. O restante dos frutos, que não foram secos no secador, foram levados para o mesmo galpão após 15 dias para acúmulo de óleo no mesocarpo.



Figura I-24 - Secador de camada fina (A), pesagem dos frutos (B)

### I.3.3.2 Análises

Para estimar o teor de umidade dos frutos durante a secagem em estufa de camada fina a 60°C, inicialmente determinou-se o teor de umidade inicial dos frutos antes da secagem. Retirou-se uma amostra contendo oito frutos e se quantificou o teor de água pela diferença de massa entre a amostra inicial e a final após a secagem pelo método de estufa a 105 ± 3°C até atingir peso constante. Com respaldo nos dados de massa úmida e de massa seca estimada dos frutos, frutos contidos em cada bandeja, calculou-se o teor de umidade estimado ao longo do tempo, conforme as fórmulas abaixo:

$$TUF = \left[ \frac{(MI \times U) - (MI - MF_j)}{MF_j} \right] \times 100$$

Em que:

TUF = teor de umidade dos frutos em porcentagem (b.u);

U = teor de umidade dos frutos antes da secagem (b.u);

MI = massa inicial dos frutos antes da secagem [(massa dos frutos + massa da bandeja) – massa da bandeja]; e

MF<sub>j</sub> = massa dos frutos no tempo j de secagem [(massa dos frutos + massa da bandeja) – massa da bandeja].

Mudança de base, base úmida (b.u) para base seca (b.s)

$$U' = [U/(100 - U)] \times 100$$

Em que:

U' = porcentagem em base seca; e

U = porcentagem em base úmida.

Para as análises de qualidade do óleo do mesocarpo e teor de óleo no mesocarpo, as amostras foram retiradas em acordo com as épocas de armazenamento avaliadas (0, 15, 30, 45,60 e 90 dias). Os frutos foram processados no Laboratório de Biotecnologia e Pós-Colheita de Macaúba do Departamento de Fitotecnia da UFV e os

parâmetros índice de acidez do óleo do mesocarpo (IA), estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo mensurada pelo período de indução(PI), teor de água no óleo do mesocarpo (TA) e teor de óleo no mesocarpo (TO) foram mensurados conforme metodologia descrita no Experimento I.

### I.3.3.3 Delineamento experimental e análises estatísticas

Para verificar o efeito da secagem em secador de camada fina, secagem a 60°C e não secagem (testemunha) em seis épocas de armazenamento (0, 15, 30,45, 60 e 90 dias), o experimento foi montado segundo o esquema fatorial 2 x 6. Foram duas temperaturas, 60°C, e temperatura ambiente (testemunha), em seis épocas de armazenamento, no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições. Os dados foram submetidos a uma análise de variância (5% de significância) e de regressão. Para o fator qualitativo (temperatura de secagem), as diferenças estatísticas foram analisadas pelo teste F na análise de variância.

Para as análises de variância, regressão, utilizou-se o Software R(2008). Para a plotagem dos gráficos, utilizou-se o Software Sigma Plot 11.0 (SPSS, 2001).

## **I.3.4 Resultados e Discussão**

### I.3.4.1 Cinética de secagem

A Figura I-25 mostra a redução do teor de água nos frutos durante a secagem a 60°C em secador de camada fina.

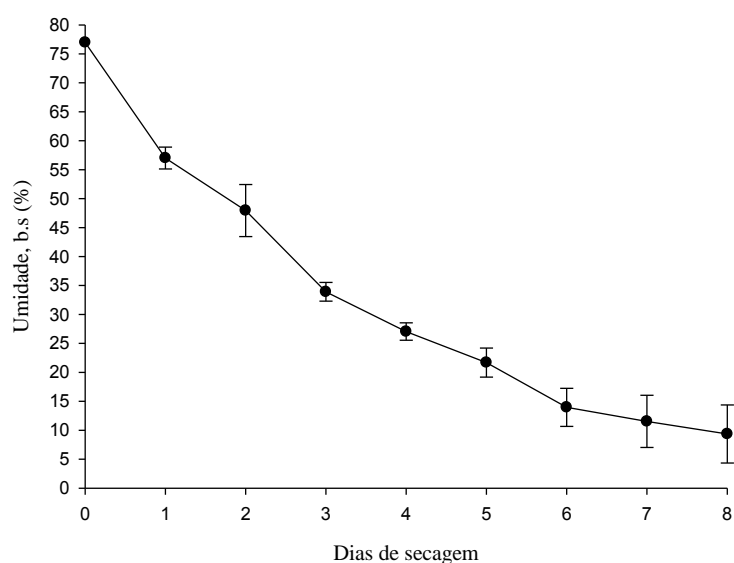


Figura I-25 - Curva de secagem de frutos de macaúba em secador de camada fina a 60°C.

Os frutos iniciaram o processo de secagem com 76% de umidade (b.s) (43,5% b.u), tendo sido necessários 8 dias de secagem a 60°C para atingirem a umidade de 9,4% (b.s). Nos três primeiros dias, observou-se a maior queda no teor de água nos frutos, perdendo 43% de água, alcançando a umidade de 34% (b.s), sendo que nas primeiras 24h de secagem houve redução de 22% da umidade (Figura I-25). Após este período, a perda de água foi lenta, em média houve redução de cerca de 5%.dia<sup>-1</sup> da umidade dos frutos (figura I-25). Martins (2013) alcançou 8,2% no teor de umidade dos frutos (b.u), secando frutos de macaúba em estufa de circulação forçada durante 8 dias a 65°C. Estes valores corroboram os resultados obtidos neste experimento aos 8 dias de secagem no secador de camada fina (8,4% b.u).

O longo tempo de secagem dos frutos até atingir 9% de umidade se deve, provavelmente, ao formato do fruto e a suas partes constituintes. O epicarpo promove uma barreira física impedindo a perda de água acelerada do mesocarpo, da mesma forma que o endocarpo faz para a amêndoa. A polpa, seguida pela casca, amêndoa e endocarpo, é a parte do fruto que tem os maiores teores de água (Tabela II-2, Experimento I do capítulo 2). Provavelmente, os primeiros dias de secagem promoveram uma grande redução do teor de água da casca e do mesocarpo. Com a perda de água na casca, houve acréscimo da porosidade (CARVALHO, 2013), reduzindo a barreira imposta pela casca para a perda de água, facilitando a redução do teor de água nas partes mais internas do fruto.

### I.3.4.2 Teor de óleo no mesocarpo

Após a colheita, o teor de óleo no mesocarpo (TO) era, em média, de 41,9%. Após o tempo de permanência de 18 dias dos frutos no laboratório à temperatura controlada (média 23°C), houve aumento de 7%, elevando o TO para 49%.

O efeito temperatura de secagem x armazenamento foi significativo ( $F = 2,828$ ,  $p = 0,02968$ ), porém apenas no desdobramento da interação o efeito temperatura de secagem no armazenamento 0 dias (sem armazenamento) foi significativo ( $F = 7,33$   $p = 0,0103$ ). A Tabela I-7 apresenta os valores médios do teor de óleo durante o armazenamento para frutos secos a 60°C em secador e para frutos não secos em secador (testemunha).

Tabela I-7 - Valores médios do teor de óleo do mesocarpo, em porcentagem, de frutos de macaúba submetidos à secagem a 60°C e à não secagem (testemunha) durante o período de armazenamento dos frutos no galpão.

| Tratamento     | Dias de armazenamento |         |         |         |         |         |
|----------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                | 0                     | 15      | 30      | 45      | 60      | 90      |
| Testemunha     | 49,58*                | 51,02ns | 54,80ns | 56,82ns | 53,05ns | 60,40ns |
| Secagem a 60°C | 59,78                 | 58,66ns | 56,35ns | 54,41ns | 55,93ns | 53,37ns |

\* Valores na coluna são significativo pelo teste F a 5% de significância na análise de variância .ns Não significativo pelo teste F a 5% de significância na análise de variância

Houve diferença significativa no TO apenas nos tratamentos que não ficaram armazenados no galpão. Provavelmente, o maior TO nos frutos secados no secador foi devido à permanência por 8 dias durante o processo de secagem. É possível que no início da secagem tivesse ocorrido uma aceleração no acúmulo de óleo, ocasionado pela alta temperatura no secador. Apesar de não ter sido estatisticamente significativo, nota-se elevação do TO nos frutos não secos durante o armazenamento e redução do TO nos frutos secos ao longo do período de armazenamento no galpão. Possivelmente, o efeito não significativo no acúmulo de óleo durante o período de armazenamento dos frutos não secos no secador se deva à elevação no TO durante o período de permanência dos frutos no laboratório por 18 dias. Considerando todo o tempo de experimento, os frutos não secos aumentaram, em média, 18,5% o teor de óleo no mesocarpo. Estes dados reforçam os resultados obtidos no Experimento I e II em que há um acúmulo de óleo no mesocarpo do fruto, possivelmente, devido ao padrão climatérico dos frutos. Por sua vez, foi notada redução do teor de óleo no mesocarpo ao longo do armazenamento, mesmo não sendo estatisticamente diferente nos tratamentos em que houve a secagem.

Isto pode ter ocorrido devido à redução do metabolismo do fruto com a perda de água e à hidrólise dos triglicerídeos, provocadas por altas temperaturas.

#### I.3.4.2 Índice de acidez do óleo do mesocarpo (IA)

O valor médio do índice de acidez do óleo do mesocarpo (IA) logo após a colheita dos frutos era de 0,6%. Após o tempo de permanência dos frutos no laboratório, o IA apresentava valores médios de 1,3%.

Da mesma forma como ocorreu no TO, o efeito da temperatura de secagem x armazenamento foi significativo para o índice de acidez do óleo do mesocarpo (IA) ( $F = 19,482$ ,  $p < 0,00001$ ). Sendo assim, procedeu aos desdobramentos dos fatores. A Tabela I-8 mostra os valores médios do IA ao longo do período de armazenamento dos frutos, para os frutos secos no secador de camada fina e para os frutos não secos em secador (testemunha).

Tabela I-8 - Valores médios do índice de acidez, em porcentagem, do óleo do mesocarpo de frutos de macaúba submetidos à secagem a 60°C e à não secagem (testemunha) durante o período de armazenamento dos frutos no galpão.

| Tratamento     | Dias de armazenamento |        |        |        |        |        |
|----------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | 0                     | 15     | 30     | 45     | 60     | 90     |
| Testemunha     | 1,34ns**              | 2,17ns | 4,46ns | 11,65* | 26,02* | 26,35* |
| Secagem a 60°C | 1,61ns                | 1,24ns | 1,38ns | 1,37   | 1,47   | 1,58   |

\* Valores na coluna são significativo pelo teste F a 5% de significância na análise de variância .ns Não significativo pelo teste F a 5% de significância na análise de variância

Somente aos 45 dias após o armazenamento, houve diferenças entre frutos secos e não secos no secador para o IA (Tabela I-8). A secagem a 60°C manteve o IA a valores próximos a 1,5% durante o armazenamento dos frutos. Estes valores mostram que a secagem foi eficiente na manutenção do IA.

A Figura I-26 apresenta o comportamento do IA durante o armazenamento dos frutos não secos no secador ao longo do armazenamento ( $F = 39,30$ ,  $p < 0,0001$ ). Para os frutos secos no secador, não houve diferenças significativas do IA durante o período de armazenamento ( $F = 0,0056$ ,  $p = 1$ )

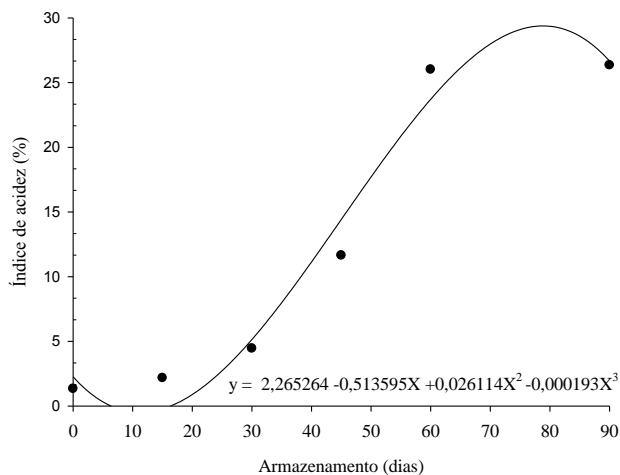


Figura I-26 - Índice de acidez do óleo do mesocarpo em frutos não secos no secador durante o período de armazenamento dos frutos no galpão.

Para a testemunha, os frutos não secos em secador, o IA aumenta consideravelmente, atingindo valores próximos a 26% aos 90 dias de armazenamento dos frutos (Tabela I-8 e Figura I-26). A elevação mais acentuada no IA acontece a partir dos 30 dias de armazenamento dos frutos.

A rancidez hidrolítica ou acidez livre é um dos principais processos de degradação dos óleos vegetais. Ela pode ser ocasionada via enzimática e não enzimática. Na hidrólise enzimática, as lipases hidrolisam os triglicerídeos, resultando na liberação de ácidos graxos, acidificando o meio (MORETTO; FETT, 1998). O acréscimo no IA dos frutos não secos provavelmente é devido à ação das lipases dos microrganismos presentes na polpa, das lipases de ocorrência natural na polpa e da atividade da água. Os resultados dos Experimentos I e II corroboram os encontrados neste experimento, mostrando que a elevação brusca do IA ocorre a partir dos 30 dias de armazenamento, quando os frutos são colhidos no cacho e tratados com fungicida em pós-colheita. Entretanto, a secagem dos frutos a 60°C inibe o processo de acidificação do óleo e a liberação de ácidos graxos livres. Esta inibição ocorre principalmente pela redução do teor de água. O processo de secagem diminui a atividade da água no material, causando a desnaturação das enzimas, minimizando ou impedindo o desenvolvimento dos microrganismos, o que promove maior controle na taxa de progressão do índice de acidez durante o armazenamento (AZEREDO, 2004; BASTOS; OLIVEIRA, 2008). Martins (2013) e Carvalho (2013) também encontraram inibição no processo de acidificação do óleo do mesocarpo de frutos da macaúba após a secagem dos frutos.

### I.3.4.3 Estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo

Logo após a colheita dos frutos, o valor médio da estabilidade oxidativa, mensurada pelo período de indução (PI), do óleo do mesocarpo dos frutos da macaúba foi de 13,6h. Passado o tempo de permanência dos frutos no laboratório para o acúmulo de óleo na polpa, o PI atingiu, em média, 16,0h. Este era o valor médio do PI antes da secagem dos frutos e do armazenamento dos frutos não secos em estufa.

A interação entre os fatores temperatura de secagem x armazenamento foi significativa ( $F = 5,615$ ,  $p = 0,000633$ ) para a estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo. A Tabela I-9 apresenta os valores médios do PI ao longo do período de armazenamento dos frutos, para os frutos secos no secador de camada fina e para os frutos não secos em secador (testemunha).]

Tabela I-9 Valores médios da estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo, mensurada pelo período de indução em horas, dos frutos de macaúba submetidos à secagem a 60°C e à não secagem (testemunha) durante o período de armazenamento dos frutos no galpão.

| Tratamento     | Dias de armazenamento |        |       |        |       |        |
|----------------|-----------------------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                | 0                     | 15     | 30    | 45     | 60    | 90     |
| Testemunha     | 16,94*                | 15,85* | 15,8* | 10,49* | 7,39* | 0,09ns |
| Secagem a 60°C | 2,79                  | 2,35   | 0,64* | 0,59*  | 0,07* | 0,09ns |

\* Valores na coluna são significativo pelo teste F a 5% de significância na análise de variância .ns Não significativo pelo teste F a 5% de significância na análise de variância

Até 60 dias de armazenamento, os frutos não secos apresentaram maiores valores de PI, ou seja, menor processo de degradação do óleo, quando comparados aos frutos secos em estufa (Tabela I-9). Desde a primeira avaliação no armazenamento (0 dias), houve grande perda da estabilidade oxidativa do óleo nos frutos que receberam o processo de secagem a 60°C. Depois de 30 dias de armazenamento, o óleo do mesocarpo estava totalmente oxidado, PI igual a 0h. O mesmo não ocorreu com os frutos não secos, que apresentaram valores satisfatórios do PI, quando o uso é destinado para produção de biodiesel, até 60 dias de armazenamento dos frutos.

A Figura I-27 apresenta a redução da estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo durante o armazenamento dos frutos para os frutos não secos. Para os tratamentos com secagem dos frutos a 60°C, não houve variação significativa do PI ao longo do armazenamento ( $F = 0,4803$ ,  $p = 0,7885$ ).

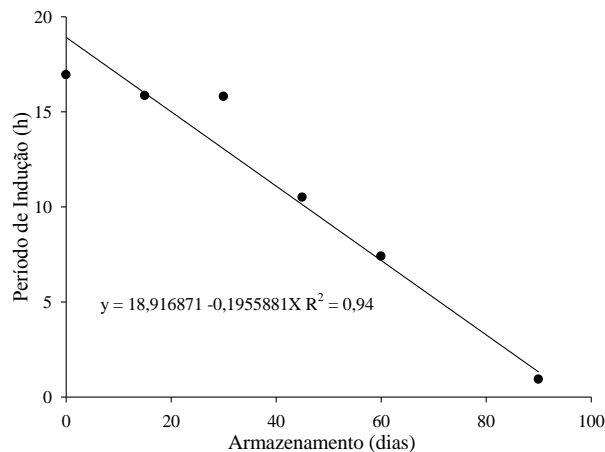


Figura I-27 - Período de Indução do óleo do mesocarpo para frutos não secos no secador durante o período de armazenamento dos frutos no galpão.

A estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo em frutos não secos decresce rapidamente durante o armazenamento dos frutos no galpão, chegando próximo de zero aos 90 dias de armazenamento (Figura I-27). O mesmo comportamento também ocorreu nos Experimentos I e II quando os frutos foram armazenados em diferentes tipos de armazenamento (galpão e silos). Como o processo de secagem a 60°C promoveu redução drástica na estabilidade oxidativa logo após a secagem dos frutos (0 dias), Tabela I-9, o armazenamento destes frutos não promoveu alterações significativas do PI ao longo do período de sua estocagem.

A secagem artificial favorece reações físico-químicas devidas à remoção da água de hidratação protetora dos sítios reativos, promovendo aproximação entre as moléculas, aumentando a interação entre elas. A remoção da água promove formação de microcapilares na polpa do fruto, facilitando o contato físico do oxigênio atmosférico, que, junto com a temperatura utilizada na secagem, aumenta a velocidade de reações químicas de oxidação e hidrólise, afetando a estabilidade (MORETTO; FETT, 1998; BOBBIO; BOBBIO, 2001; ARAÚJO, 2004).

#### I.3.4.4 Teor de água no óleo do mesocarpo (TA)

Para o TA, somente o fator armazenamento foi significativo ( $F = 21,534$   $p < 0,0001$ ), mostrando que o processo de secagem artificial dos frutos não influencia no teor de água do óleo do mesocarpo. A Figura I-28 mostra a evolução do TA ao longo do período de armazenamento dos frutos no galpão, independentemente da secagem ou não dos frutos em secador de camada fina a 60°C.

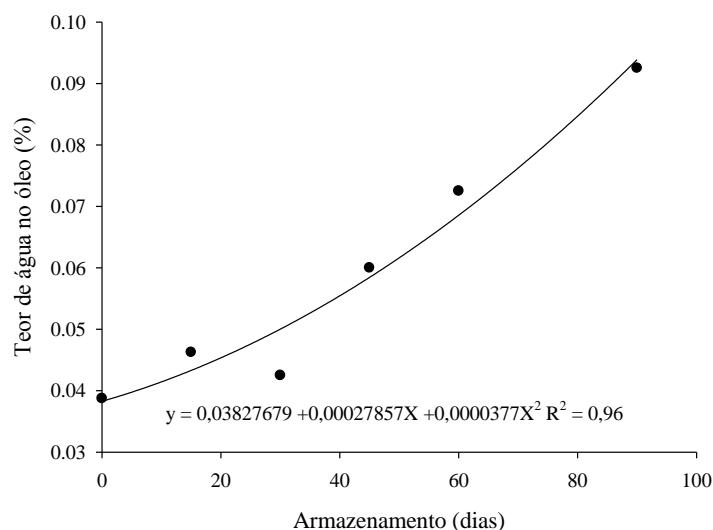


Figura I-28 - Teor de água no óleo do mesocarpo para frutos secos e não secos no secador durante o período de armazenamento dos frutos no galpão.

Durante o armazenamento dos frutos, houve acréscimo de aproximadamente 100% no TA, alcançando 0,09%. Apesar do aumento do TA ao longo do armazenamento, esse valor não é considerado alto quando a finalidade do óleo é produção de biodiesel. Canakci & Van Gerpen(1999), estudando a produção de biodiesel de soja como matéria-prima, utilizando a catálise ácida, observaram que, para um bom rendimento de biodiesel, o teor de água no óleo deve ser menor do que 0,5%. Entretanto deve-se atentar para os padrões estabelecidos para a qualidade do biodiesel, que não pode conter mais de 0,05% de água (ANP, 2014).

A elevação do TA corrobora os resultados obtidos nos Experimentos I e II, que também evidenciam a elevação do TA e IA e redução do PI ao longo do armazenamento dos frutos. Estes resultados enfatizam a depreciação da qualidade do óleo ocasionada por processos de degradação do óleo à medida que os frutos ficam armazenados por longos períodos no galpão.

### I.3.5 Conclusão

A redução do teor de umidade dos frutos durante a secagem a 60°C em secador de camada fina foi lenta, sendo necessários outros trabalhos para desenvolver um método mais rápido na redução da umidade dos frutos.

A combinação de tratamentos químicos (fungicida) com métodos físicos (secagem) permite o armazenamento de frutos de macaúba com incremento no teor de óleo e controle da acidificação do óleo do mesocarpo por até 90 dias, mantendo-o com

baixa acidez. Entretanto, a secagem no tempo e na temperatura estudada prejudica a estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo, indicando necessidade de trabalhos complementares nesta área do conhecimento.

### **I.3.6 Considerações Finais**

Neste trabalho, foi confirmado significativo acúmulo de óleo em frutos de macaúba após a colheita, o que sugere respiração climatérica dos frutos, conforme observado em trabalhos de Martins (2013) e Goulart(2014). Nesse sentido, é importante definir estratégias de armazenamento que permitam a evolução da maturação natural do fruto, que pode culminar com ganhos de até 20% no teor de óleo no mesocarpo em relação ao fruto recém-colhido. Entretanto, este acúmulo coincide com a perda da qualidade do óleo - aumento da acidez e perda da estabilidade oxidativa.

No experimento I, foi verificado que a manutenção da qualidade do óleo do mesocarpo ao longo do armazenamento depende da colheita dos frutos na planta. Neste caso, se o fruto for tratado com fungicida, pode-se viabilizar seu armazenamento com baixa acidez por até 20 dias. Por outro lado, frutos colhidos no chão, com até 7 dias de exposição ao solo, apresentam baixa acidez, porém, não se observa resposta ao tratamento fungicida para viabilizar o armazenamento com manutenção da qualidade, ou seja, nesse caso, os frutos devem ser processados imediatamente.

No Experimento II, foi estudada a possibilidade da secagem com ar natural (temperatura ambiente) em silos secadores-armazenadores. De modo geral, os fluxos de aeração testados (fluxo de aeração 0,54 m<sup>3</sup>/s e fluxo de secagem 5,41 m<sup>3</sup>/s) não foram eficientes para promover uma rápida desidratação dos frutos. Além disto, não mostraram efeitos positivos na manutenção da qualidade do óleo por longos períodos de armazenamento (superior a 20 dias), provavelmente devido à baixa superfície específica do fruto e à elevada umidade do ar no local. Assim, sugere-se que outros estudos sejam feitos nesta linha de trabalho para ajustes neste sistema de secagem-armazenagem.

No Experimento III, foram confirmadas as expectativas de que o uso de métodos combinados no tratamento que antecede o armazenamento (métodos químicos = fungicidas e físicos = secagem) viabiliza a manutenção da baixa acidez do óleo (<2%) por até 90 dias. Por outro lado, a secagem a 60°C por longos períodos reduz drasticamente a estabilidade à oxidação do óleo, além de necessitar de elevados tempo e demanda de energia, sugerindo a necessidade de trabalhos nesta linha para adequar um binômio tempo e temperatura de secagem que viabilize a manutenção da estabilidade oxidativa do óleo.

Como relatado, trabalhos sobre conservação pós-colheita de frutos de macaúba ainda são incipientes e estes experimentos contribuem para o desenvolvimento dos

primeiros sistemas de conservação dos frutos de macaúba, visando à manutenção da qualidade do óleo com baixo investimento inicial e baixo custo operacional.

### I.3.7 Referências

ABBAS, H.; HIOL, A.; DEYRIS, V.; COMEAU, L. Isolation and characterization of an extracellular lipase from *Mucor* sp strain isolated from palm fruit. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 31, n. 7, p. 968-975, 2002.

ALENCAR, E. R. D.; FARONI, L. R.; PETERNELLI, L. A.; DA SILVA, M. T.; COSTA, A. R. Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 303-308, 2010.

AOAC. **Official methods of analysis** 1990.

ARAÚJO, J. Química de alimentos: teoria e prática. In. **Química de alimentos: teoria e prática** ed.: UFV, 2004. p.

AZEREDO, H. D. Fundamentos de estabilidade de alimentos. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, 2004.

BASTOS, M. S.; OLIVEIRA, V. Ferramentas da ciência e tecnologia para a segurança dos alimentos. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical: Banco do Nordeste**, 2008.

BENATO, E. A. Controle de doenças pós-colheita em frutas tropicais. **Summa phytopatológica**, v. 25, n. 1, p. 90-93, 1999.

BIOCOMBUSTÍVEIS, A. N. D. P. G. N. E. **Portaria 225 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ANP** 2014.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. Liv. Varela, 2001.

BORA, P.; ROCHA, R. Macaiba palm: fatty and amino acids composition of fruits macaíba. **CYTA-Journal of Food**, v. 4, n. 3, p. 158-162, 2004.

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

CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J. Biodiesel production via acid catalysis. **Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers**, v. 42, n. 5, p. 1203-1210, 1999.

CARVALHO, F. M. D. **Influência da temperatura do ar de secagem e da utilização do ácido etilenodiaminotetracético na qualidade do óleo e caracterização do fruto de macaúba**. 2013. 108 f. Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Esal/Faepe Lavras, 1990.

CICONINI, G.; FAVARO, S.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C.; TAPETI, C.; MIYAHIRA, M.; BEARARI, L.; GALVANI, F.; BORSATO, A.; COLNAGO, L.

Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**,v. 45, p. 208-214, 2013.

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, p. C1156-C1161, 2011.

COPPIN, E. A.; PIKE, O. A. Oil stability index correlated with sensory determination of oxidative stability in light-exposed soybean oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**,v. 78, n. 1, p. 13-18, 2001.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**,v. 32, n. 3, p. 776-792, 2009.

DORADO, M.; ARNAL, J.; GÓMEZ, J.; GIL, A.; LOPEZ, F. The effect of a waste vegetable oil blend with diesel fuel on engine performance. **Transactions of the ASAE**,v. 45, n. 3, p. 519-523, 2002.

ERRAMPALLI, D.; BRUBACHER, N. R.; DEELL, J. R. Sensitivity of *Penicillium expansum* to diphenylamine and thiabendazole and postharvest control of blue mold with fludioxonil in 'McIntosh' apples. **Postharvest biology and technology**,v. 39, n. 1, p. 101-107, 2006.

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

FRANCK, J.; LATORRE, B.; TORRES, R.; ZOFFOLI, J. The effect of preharvest fungicide and postharvest sulfur dioxide use on postharvest decay of table grapes caused by *Penicillium expansum*. **Postharvest biology and technology**,v. 37, n. 1, p. 20-30, 2005.

GULLINO, M. L. Lotta biologica a funghi agenti di marciumi della frutta in post-raccolta. **Informatore Fitopatologico**, 1994.

HILL, S. E. A comparison of modern instruments for the analysis of the oxidation stability of fats, oils and foods. **Inform**,v. 5, n. 1, p. 104-109, 1994.

HIOL, A.; JONZO, M. D.; RUGANI, N.; DRUET, D.; SARDA, L.; COMEAU, L. C. Purification and characterization of an extracellular lipase from a thermophilic *Rhizopus oryzae* strain isolated from palm fruit. **Enzyme and Microbial Technology**,v. 26, n. 5, p. 421-430, 2000.

ISO. **International Organization for Standardization. In ISO 10565 Oilseeds—Simultaneous Determination of Oil and Moisture Contents—Method Using Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry**. Geneva, Switzerland 1999.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**,v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

LUTZ, I. A. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. In. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 14 ed. São Paulo, v. 1, 1985. p.

MARTINS, A. D. **Uso da radiação gama e secagem para a conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba**. 2013. 83 f. Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

MEHER, L.; VIDYA SAGAR, D.; NAIK, S. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. **Renewable and sustainable energy reviews**,v. 10, n. 3, p. 248-268, 2006.

MOHANKUMAR, C.; ARUMUGHAN, C. Histological localization of oil palm fruit lipase. **Journal of the American Oil Chemists' Society**,v. 67, n. 10, p. 665-669, 1990.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. Varela, 1998.

MOTOIKE, S.; KUKI, K. The Potential of Macaw Palm (*Acrocomia aculeata*) as Source of Biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering-Rapid Communications**,v. 1, n. 6, 2009.

PIRES, T. P.; DOS SANTOS SOUZA, E.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**,v. 44, p. 200-210, 2013.

RAO, C. R. **Advanced statistical methods in biometric research**. John Wiley, New York: 1952. 390 p.

SANTELLI, C.; CALBO, P.; CALBO, A. G. Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira *Mauritia vinifera* Mart.(Arecaceae). **Acta Botanica Brasilica**,v. 23, n. 3, p. 697-702, 2009.

SANTELLI, P.; CALBO, M. E. R.; CALBO, A. G. Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira *Syagrus oleracea* (Mart.) Becc.(Arecaceae). **Acta Botanica Brasilica**,v. 20, p. 523-528, 2006.

SCARIOT, A.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Flowering and fruiting phenologies of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. **Biotropica**, p. 168-173, 1995.

SERRANO, M.; PRETEL, M.; BOTELLA, M.; AMOROS, A. Physicochemical changes during date ripening related to ethylene production. **Food science and technology international**,v. 7, n. 1, p. 31-36, 2001.

SILVA, J.; NOGUEIRA, R.; MAGALHÃES, E. Secagem em silos—Uma opção para o café. **Viçosa—MG: UFV/DEA**, 2008.

SIMSON, S. P. **Post-harvest technology of horticultural crops**. Oxford Book Company, 2010.

SMILANICK, J. L.; MANSOUR, M. F.; GABLER, F. M.; SORENSON, D. Control of citrus postharvest green mold and sour rot by potassium sorbate combined with heat and fungicides. **Postharvest biology and technology**,v. 47, n. 2, p. 226-238, 2008.

SOCIETY, A. O. C. **Official methods of Analysis of the Association Analytical Chemists**. Gaithersburg.

SOUZA, C. F. T. D. **Desenvolvimento, maturação e sistemas de colheita de frutos da macaúba (Acrocomia aculeata )**. 2013. 77 f. Mestrado - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2013.

TAGOE, S.; DICKINSON, M.; APETORGBOR, M. Factors influencing quality of palm oil produced at the cottage industry level in Ghana. **International Food Research Journal**,v. 19, n. 1, p. 271-278, 2012.

TAN, C.; CHE MAN, Y.; SELAMAT, J.; YUSOFF, M. Comparative studies of oxidative stability of edible oils by differential scanning calorimetry and oxidative stability index methods. **Food Chemistry**,v. 76, n. 3, p. 385-389, 2002.

VAN GERPEN, J.; SHANKS, B.; PRUSZKO, R.; CLEMENTS, D.; KNOTHE, G. Biodiesel analytical methods. **National Renewable Energy Laboratory, Colorado**, p. 37-47, 2004.

## **CAPÍTULO II**

### **II POTENCIAL BIOENERGÉTICO DO FRUTO DA PALMEIRA MACAÚBA**

## **POTENCIAL BIOENERGÉTICO DOS FRUTOS DA PALMEIRA MACAÚBA**

### **RESUMO**

A conjuntura política mundial caminha no sentido da ampliação do uso de energias renováveis, visando à redução das emissões de gases de efeito estufa e à diversificação no suprimento de energia, principalmente pela utilização de biocombustíveis. Algumas matérias-primas para produção de biocombustíveis têm sido questionadas sobre a real contribuição na redução na emissão de gases de efeito estufa, pela intensa utilização de máquinas e insumos no processo produtivo e pela baixa produtividade de energia primária. Dentro deste contexto, espécies perenes como a palmeira macaúba tem sido estudada como uma fonte energética pela sua alta produtividade de óleos e geração de coprodutos que possam ser convertidos em diversos biocombustíveis. Objetivou-se avaliar o potencial bioenergético dos frutos da palmeira macaúba, estimando seu potencial produtivo, avaliando as características físicas e químicas dos coprodutos do processamento dos frutos para a obtenção de óleos e de alguns biocombustíveis produzidos de coprodutos do fruto da macaúba após o processamento. Foram conduzidos dois experimentos. O primeiro estimou a produtividade de frutos em dois cenários: cenário 1, produtividade média de uma população nativa e cenário 2, 10% das plantas nativas que obtiveram os maiores números de cacho por planta. Determinou-se a produtividade em óleos e se quantificaram os coprodutos, posteriormente procedeu-se à sua caracterização físico-química. No segundo experimento, foi feita a carbonização dos resíduos, endocarpo e epicarpo (casca), gerados no processamento dos frutos para a produção de óleos e, depois, a caracterização dos carvões. As partes do fruto provenientes do seu processamento para obtenção de óleos vegetais geram quatro coprodutos - epicarpo, farelo do mesocarpo, endocarpo e farelo da amêndoa - que apresentaram características físicas e químicas iguais e/ou superiores a alguns resíduos agrícolas e florestais comumente utilizados como matéria-prima para produção de biocombustíveis. Coprodutos como endocarpo apresentaram alta densidade energética, elevados teores de lignina, carbono fixo e baixo teor de cinzas, conferindo vantagens adicionais em sua utilização para a produção de biocombustíveis sólidos. Os carvões do epicarpo e endocarpo apresentaram alta densidade energética, carbono fixo e bom rendimento gravimétrico, entretanto apresentaram altos teores de cinzas. Conclui-se que a palmeira macaúba é uma fonte energética com grande potencial de usos como

matéria-prima para a produção de biocombustíveis, pelo seu potencial produtivo e pelas características físicas e químicas dos seus coprodutos.

**Palavras chaves:** *Acrocomia aculeata*, biocombustíveis, coprodutos, resíduos.

## BIOENERGETIC POTENTIAL OF MACAUBA FRUITS

### ABSTRACT

The current global political situation moves towards the expansion of renewable energy in the energy mix. This aims to reduce emissions of greenhouse gases and diversification of energy supply, mainly for the use of biofuels. Some feedstock for biofuel production have been questioned as to their actual contribution to the reduction in the emission of greenhouse gases due to its extensive use of machinery and raw material and low primary energy productivity. In this context perennial species such as macauba has been studied as an energy crop due its high oil productivity and residues which can be converted to various biofuels. Therefore, in this chapter we aimed to evaluate the energy potential of the macaúba fruits, estimating their productive potential, evaluating the physical and chemical characteristics of waste to obtain oils and evaluated the characteristics of some biofuels produced from some residues. The first experimental one estimated the fruit yield in two scenarios (scenario 1: the average productivity of a native population and scenario 2: 10% of the native plants who obtained the highest number of bunches per plants), oil and co-products productivity was quantified and a physical-chemical characterization of co-products was carried focusing on bioenergy. In the second experiment took place carbonization of co-products, endocarp and husk, and the evaluation of the characteristics of these charcoals. The co-products generated from the processing of fruit to obtain vegetable oils are four: husk, pulp bran, endocarp and kernel bran. These have some physical and chemical characteristics equal and/or greater than a few agricultural and forest residues commonly used as feedstock for the production of biofuels. Co-products as endocarp feature high energy density, high lignin content, fixed carbon and low ash content which gives additional advantages in their use for the production of solid biofuels. The charcoal from epicarp and endocarp showed high energy density, fixed carbon and good gravimetric yield, however showed high ash content. It is concluded that the macaúba palm is energy source with great potential for use as feedstock for the production of biofuels, its productive potential and the physical and chemical characteristics of their co-products.

**Keywords:** *Acrocomia aculeata*, biofuels, co-products

## II. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de várias tecnologias para produção de bicompostíveis através de biomassa lignocelulósica têm aumentado bastante nas últimas décadas. Esta tendência decorre da necessidade de diminuir as emissões de gases nocivos ao meio ambiente, pela redução do consumo de combustíveis fósseis, além da crescente pressão social para a utilização de energias renováveis. Atualmente o uso da biomassa contribui com 13,2% da demanda total de energia primária (IEA, 2014). Entretanto, a atual conjuntura política mundial caminha no sentido da ampliação relativa da parcela de energia renovável na matriz energética, visando à redução da emissão de gases de efeito estufa e à diversificação no suprimento de energia, principalmente pela utilização de biocompostíveis (LAMERS et al., 2012).

As atividades humanas e as mudanças do seu estilo de vida têm resultado num acréscimo na geração de resíduos sólidos (DEMIRBAS, 2011). Este acréscimo de geração de resíduos sólidos, principalmente agrícolas e florestais, pode ser aproveitado para geração de energia. Brasil e EUA produzem 17% dos grãos oleaginosos do mundo (FAOSTAT, 2013). Em 2011, o Brasil produziu 2,67 milhões de metros cúbicos de biodiesel, um aumento de 12% em relação a 2010 (ANP, 2013). Entretanto, a extração de óleo vegetal para produção de biodiesel raramente ultrapassa 45% de óleo sobre a massa (PINTO et al., 2005). Isto gera grande volume de resíduos lignocelulósicos que podem ser convertidos em diversos biocompostíveis, tais como pellets, carvão vegetal, bio-óleo, bioetanol, além de sua queima direta. No caso específico do carvão vegetal, o Brasil é o maior produtor do mundo, com 7,6 milhões de toneladas, representando 14,6% da produção mundial (FAOSTAT, 2013). Sua utilização tem sido principalmente nas indústrias siderúrgica, cimento, alimentícia e química. No Brasil, cerca de 80% do consumo de carvão vegetal se destina aos setores de ferro-gusa, ferro-liga e aço (EPE, 2011). Desta forma, a produção de biocompostíveis de resíduos da indústria do biodiesel pode gerar um incremento na rentabilidade desta atividade, além de reduzir os impactos ambientais e elevar a participação da energia renovável na matriz energética global.

No Brasil, como no resto do mundo, grande parte do biodiesel provém de oleaginosas para consumo humano, entre elas, a soja. Esta oleaginosa, no ano de 2013,

foi responsável por 76% da matéria-prima para as indústrias de biodiesel no Brasil (ANP, 2014).

Algumas espécies da família *Areaceae* se destacam por serem as mais promissoras plantas para produzir óleo vegetal. A palma africana dendê (*Elaeis guineensis* Jacq) é a cultura que apresenta a maior produtividade de óleo no mundo (CORLEY; TINKER, 2008). Por estes e outros motivos, a exploração racional de outras palmeiras com potencial competitivo pode minimizar, em parte, o conflito de utilização de espécies tradicionalmente alimentares para a produção de energia. A palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*) apresenta produtividade estimada semelhante ao dendê, com a vantagem de ser adaptada a regiões subtropicais como o cerrado, que não são apropriadas para o dendê (MOTOIKE; KUKI, 2009). Esta palmeira é nativa da região Neotropical das Américas e produz grandes cachos com frutos do tipo drupa, composto por um epicarpo duro e fibroso, mesocarpo (polpa) oleoso, com elevado teor de fibras, castanha dividida em endocarpo e amêndoa (SCARIOT et al., 1991).

O grande interesse desta espécie como matéria-prima para a produção de biodiesel advém da alta produtividade de fruto, em torno de 62 kg/planta, e do alto teor de óleo na polpa (45-60%) e na amêndoa (61-68%) (SCARIOT et al., 1991; MOTOIKE SY et al., 2013; DE LANES et al., 2014). Por outro lado, durante o processamento dos frutos da macaúba para a extração de óleos, há uma grande quantidade de coprodutos gerados: epicarpo (casca), torta e/ou farelo do mesocarpo (polpa), endocarpo e a torta e/ou farelo da amêndoa. Esses resíduos podem ser usados como fontes para diversos biocombustíveis, agregando valor e podendo fazer com que a macaúba possa ser uma verdadeira cultura energética, promovendo renda e sustentabilidade em sua cadeia produtiva.

Entretanto, para a transformação da biomassa em energia, o conhecimento das propriedades e dos volumes gerados dos resíduos lignocelulósicos é de fundamental importância no planejamento energético e no seu uso econômico. Para a conversão desses resíduos em biocombustíveis, é fundamental que se faça sua caracterização quanto às suas propriedades físico-químicas, as quais podem influenciar diretamente nos processos de conversão da biomassa em biocombustíveis. Assim, uma vez caracterizados quanto à sua composição química e ao comportamento térmico nos processos de conversão da biomassa, pode-se prever sua produtividade, fazer análises de viabilidades técnicas e econômicas e aprimorar tecnologias para conversão da

biomassa de modo mais eficiente. Isso trará maior competitividade das matérias-primas no cenário energético, além da maior sustentabilidade destas cadeias produtivas em relação às fontes de energia fósseis (BIAGINI et al., 2006; NAIK et al., 2010).

Para avaliar o potencial dos coprodutos do processamento dos frutos da macaúba como matérias-primas para produção de biocombustíveis sólidos, foram conduzidos dois experimentos. O primeiro avaliou o potencial produtivo de frutos desta palmeira, determinando as propriedades físicas e químicas dos coprodutos. O segundo experimento, foi feita a carbonização do epicarpo e do endocarpo, determinando as características físicas e químicas dos carvões.

## II EXPERIMENTO I

### II.1 POTENCIAL ENERGÉTICO DO FRUTO DA MACAÚBA PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS

#### II.1.2 Objetivos

Avaliar o potencial produtivo da macaúba, determinar as propriedades físicas e químicas dos coprodutos do processamento dos frutos, quantificar a geração de coprodutos e determinar seu potencial energético.

#### II.1.3 Material e Métodos

##### II.1.3.1 Material vegetal e local

Os cachos com frutos maduros foram coletados em uma única colheita, de uma população natural de plantas de macaúba, localizada no município de Mirabela-MG, limitada pelas coordenadas plano-retangulares 16°29'55" S - 44°04'14" O , 16 29' 51.19" S - 44 04' 07.61" O, datum WGS 84 (Figura II.1). Após a colheita, os frutos foram selecionados e homogeneizados para compor as unidades experimentais dos tratamentos. Cada unidade experimental foi composta por 300 frutos.



Figura II-1 Plantas de macaúba georreferenciadas, destinadas à coleta de frutos para condução de experimentos, localizadas no município de Mirabela-MG. Fonte: Google Earth.

### II.1.3.2 Processamento dos frutos e determinação da produtividade

Para avaliar a produtividade das plantas, foram georreferenciadas 100 plantas adultas de macaúba, das quais, quantificou-se o número de cachos por plantas. Os cachos, Figura II.2A, foram coletados e mensurados quanto ao número de frutos e seu peso médio. Para quantificar individualmente as partes constituintes do fruto - epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa - Figura II. 2B, eles foram processados, individualizando-se manualmente todas as partes constituintes (Figura I.4). Determinou-se o teor de umidade de cada parte constituinte do fruto em estufa de circulação forçada a 70°C até atingir massa constante. O teor de óleo da polpa e da amêndoa foi quantificado pelo método de ressonância magnética nuclear, seguindo a metodologia ISO 10565 (ISO, 1999).

A extração dos óleos do mesocarpo e da amêndoa, Figuras II.2D e 2G, foi feita por uma prensa hidráulica de aço inox. O óleo residual das tortas foi retirado com o solvente orgânico hexano. As tortas permaneceram durante três dias em um recipiente fechado submersas no solvente hexano. Após este procedimento, denominaram-se os coprodutos mesocarpo e amêndoa como farelos (Figuras II.2E e 2H). Os demais coprodutos foram o endocarpo e o epicarpo (Figuras II.2C e 2F).

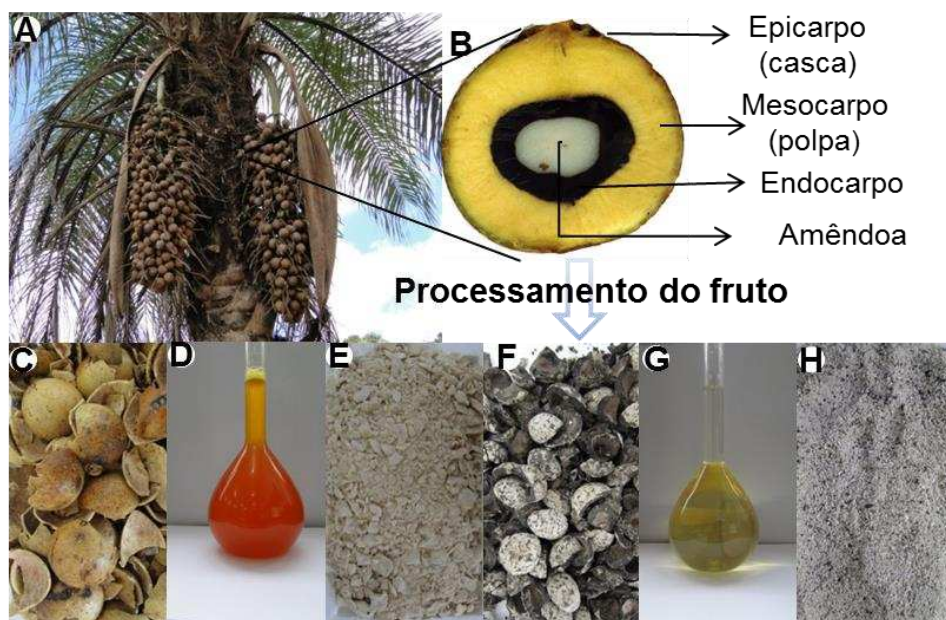


Figura II-2 - Palmeira macaúba (A), corte longitudinal do fruto (B), epicarpo (C), óleo do mesocarpo (D), farelo do mesocarpo (E), endocarpo (F), óleo da amêndoa (G) e farelo da amêndoa (H).

### II.1.3.3 Estimativa da produtividade

Com base nos dados de produção das plantas, foram propostos dois cenários para estimar a produtividade dos frutos, óleos e coprodutos gerados do processamento conforme descrito abaixo:

Cenário 1 – foram considerados os valores médios de produção das plantas avaliadas em toda a população nativa.

Cenário 2 – foi considerada a seleção de 10% das plantas com maior número de cachos por planta, multiplicando pelos valores médios de número de frutos por planta e peso do fruto.

Em ambos cenários, os valores foram expressos em toneladas do produto por hectare, considerando densidade de 400 plantas/ha, no espaçamento 5 x 5m, conforme sugerido por Pimentel et al. (2011).

### II.1.3.4 Caracterização física do fruto:

O diâmetro do fruto (D) na região equatorial foi mensurado com paquímetro digital. O volume do fruto (V) foi calculado pelo deslocamento do volume de água em uma proveta graduada de 200 ml. Para a densidade a granel dos frutos (DGF), eles foram colocados em uma caixa rígida de volume conhecido e, em seguida, pesados para a determinação da DGF.

O poder calorífico superior (PCS) dos resíduos do processamento do fruto da macaúba foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ASTM D 2015-77 (ASTM, 1983), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática. O PCS do fruto ( $PCS_{\text{fruto}}$ ) foi calculado conforme a fórmula abaixo:

$$PCS_{\text{fruto}} = (PCS_{\text{casca}} \times PRF_{\text{casca}}) + (PCS_{\text{polpa farelo}} \times PRF_{\text{polpa farelo}} + PCS_{\text{polpa óleo}} \times M_{\text{polpa óleo}}) + (PCS_{\text{endocarpo}} \times PRF_{\text{endocarpo}}) + (PCS_{\text{amêndoa farelo}} \times PRF_{\text{amêndoa farelo}} + PCS_{\text{amêndoa óleo}} \times M_{\text{amêndoa óleo}})$$

Em que:

$PCS_{\text{fruto}}$  = Poder calorífico superior (MJ.kg<sup>-1</sup>)

$PCS$  = Poder calorífico superior (MJ.kg<sup>-1</sup>);

$PRF$  = Proporção de resíduo gerado em relação ao fruto(%);

$M_{\text{polpa óleo}}$  = Massa de óleo da polpa contido no fruto (g); e

$M_{\text{amêndoa óleo}}$  = Massa de óleo da amêndoa contido no fruto (g).

O PCI foi estimado conforme a fórmula abaixo proposta por Jekins (1990). Considerou-se 10% a umidade de trabalho (W) para todos os resíduos.

$$PCI = [(PCS - \gamma (r + 0.09H)) (100 - W) \div 100]$$

Em que:

$PCI$  = poder calorífico inferior (MJ.kg<sup>-1</sup>);

$PCS$  = poder calorífico superior (MJ.kg<sup>-1</sup>);

$\gamma$  = calor latente da água = 2,31MJ.kg<sup>-1</sup> a 25°C;

$H$  = teor de hidrogênio (%);

$W$  = teor de umidade da amostra (%); e

$r = W / 100 - W$ .

A densidade a granel (DG) dos coprodutos foi determinada segundo a ABNT NBR 9165(1985), com modificações. A densidade energética (DE) de cada resíduo foi calculada pela multiplicação do PCI pela DG.

#### II.1.3.5 Composição química dos coprodutos

Para determinar a composição química imediata dos coprodutos, amostras foram moídas em um moinho de facas “tipo willey” e peneiradas a uma granulometria de, aproximadamente, 0,2mm. Depois, foram secas em estufa e pesadas em balança de precisão 0,001 g absolutamente seca (a.s.) em um cadinho de porcelana. Posteriormente, os cadinhos foram tampados e levados ao forno tipo mufla a 950 ± 10 °C durante 11 minutos. Após este procedimento, as amostras foram pesadas e determinado o

percentual de materiais voláteis (MV). O material restante no cadinho sem a tampa foi novamente levado ao forno tipo mufla à temperatura de  $600 \pm 10$  °C durante 6 horas. Após este procedimento, as amostras foram novamente pesadas e determinado o percentual de cinzas (CZ). O percentual de carbono fixo (CF) foi determinado por diferença entre a soma do percentual de materiais voláteis e cinzas, conforme os procedimentos recomendados na norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986).

A análise elementar dos coprodutos foi feita conforme metodologia descrita por Paula et al. (2011). Utilizou-se uma massa equivalente a 2,0 mg ( $\pm 0,5$ ) da amostra seca à temperatura de  $105 \pm 2$  °C, previamente selecionada em peneiras sobrepostas com malhas de 200 e 270 mesh, sendo utilizada a fração retida nessa última, em um porta-amostra de estanho.

Em seguida, as amostras foram depositadas no carrossel do equipamento da marca Perkin-Elmer, modelo 2400 CHNS-O, sendo feita a análise de uma amostra por vez. Os gases necessários para a operação foram o hélio, que é o gás de arraste, e o oxigênio, gás de ignição. A temperatura do tubo de combustão, localizado no interior do equipamento no momento da queda da amostra do carrossel, foi de  $1.150$  °C.

Após a combustão, os gases foram transportados por arraste para o tubo de redução e seguiram para a coluna de detecção. Os elementos químicos carbono, nitrogênio e hidrogênio foram identificados por um detector de termocondutividade, tendo cada elemento interação e pico específico.

Para determinação do teor de lignina dos coprodutos, foram empregadas as amostras dos coprodutos já moídas, utilizando-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982).

Para retirar os extrativos das amostras, eles foram sucessivamente lavados com 200 mL de etanol 95% (NREL, 2004), em uma unidade de extração Soxhlet. Antes da extração, o material foi mantido em estufa por 24 horas a, aproximadamente,  $45$  °C. Após a retirada dos extrativos, foram determinados os teores de lignina insolúvel, solúvel e total. Os teores de lignina insolúvel em ácido foram determinados pelo método Klason, conforme a metodologia de Tappi(1998). A lignina solúvel em ácido foi determinada por espectrometria, conforme Goldschmid(1971), pela diluição do filtrado proveniente do procedimento para obtenção da lignina insolúvel. O teor de lignina total foi obtido pela soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel.

#### II.1.3.6 Análise termogravimétrica (TG)

A análise termogravimétrica dos coprodutos foi feita no aparelho TGA-1000 da Navas Instruments. As análises foram feitas sob atmosfera de gás nitrogênio, a uma vazão constante de 50 ml.min<sup>-1</sup>, utilizando-se aproximadamente 1g selecionado em peneiras sobrepostas de malha de 40 e 60mesh, sendo a fração utilizada aquela retida nesta última malha. As curvas termogravimétricas (TG) foram obtidas a partir de 50°C até a temperatura máxima de 650°C, com taxa de aquecimento de 10°C.min<sup>-1</sup>. Com respaldo nas curvas TG, procedeu-se aos cálculos de perda de massa nos seguintes intervalos de temperatura: temperaturas 100-200°C, 200-310°C, 310-395°C, 395-500°C, 500-610°C, 610-650°C. Calculou-se também a massa residual na temperatura de 700°C.

#### II.1.3.10 Delineamento experimental e análises estatísticas

O experimento foi instalado no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. A produtividade de frutos e a quantificação de suas partes constituintes foram submetidas a uma análise descritiva dos dados. Para os demais parâmetros, procedeu-se a uma análise variância. Tais análises foram precedidas de testes de normalidade e de homocedasticidade de variância. Diferenças entre as médias dos parâmetros foram analisadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Todas as análises foram processadas no programa SAS<sup>®</sup>.

### II.1.4 Resultados e Discussão

#### II.1.4.1 Produtividade e constituição do fruto

A Tabela II-1 apresenta os dados de produção de plantas de macaúba provenientes de uma população nativa. Observa-se que o diâmetro dos frutos apresentou pequena variação entre as amostras avaliadas, enquanto as demais características mostraram maior variabilidade entre os dados (peso do fruto, densidade a granel dos frutos, número de fruto/cacho, número de cacho/planta).

Tabela II-1 Produção de frutos em plantas de macaúba numa população nativa de Mirabela/ MG.

| Parâmetros                                | N   | Média  | desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|---|-----|--------|---------------|--------|--------|
| Diâmetro fruto (mm)                       | 10  | 49,21  | 1,06          | 47,49  | 50,55  |
| Volume fruto (ml)                         | 10  | 62,60  | 3,60          | 57,00  | 67,00  |
| Massa fruto (g)                           | 10  | 63,31  | 1,71          | 61,50  | 67,05  |
| DG (kg/m <sup>3</sup> )                   | 10  | 583,43 | 15,77         | 566,68 | 617,89 |
| Número de fruto/cacho                     | 20  | 387,35 | 167,72        | 206,00 | 793,00 |
| Número de cacho/planta                    | 101 | 2,37   | 1,38          | 0,00   | 6,00   |
| Massa frutos/cacho (kg/cacho)             | 20  | 24,52  | 10,62         | 13,04  | 50,20  |
| <sup>1</sup> Produção por planta (kg/plt) | -   | 58,02  | -             | -      | -      |

1. Peso médio dos frutos/cacho x número de cacho/planta.

O crescimento de algumas estruturas da planta depende da integração entre os genes e as condições ambientais. Algumas características, no entanto, são mais conservadoras, especialmente aquelas que estão intrinsecamente relacionadas com o padrão de desenvolvimento, tais como diâmetro, volume e massa do fruto. Neste estudo, os frutos foram coletados de uma mesma população de plantas, em uma área limitada, que restringe algumas implicações embasadas em causas genéticas. Por outro lado, os últimos parâmetros - número de frutos/cacho, número de cachos/ planta e massa de frutos/ cacho - são mais susceptíveis a flutuações de fatores fora do âmbito genético. O sincronismo (ou a falta dele), a disponibilidade do agente polinizador, o estado nutricional e hídrico das plantas, a idade das plantas etc. podem ditar a variabilidade entre os parâmetros.

Apesar disso, os resultados globais do material proveniente de Mirabela-MG foi superior em relação aos descritos por de Ciconini et al. (2013) para frutos de macaúba coletados no Mato Grosso do Sul e por Manfio et al. (2011) para frutos de macaúba coletados em outras regiões do estado de Minas Gerais e também nos estados de São Paulo, Mato Grosso, Pará, Maranhão e Pernambuco. Nestes casos, há uma maior contribuição por causas genéticas quando se comparam populações de macaúba entre as diferentes regiões. Ciconini et al. (2013) encontraram maior número de cacho por planta nos locais de suas avaliações (Mato Grosso do Sul) em relação a este estudo (Mirabela, MG). Entretanto, a população de macaúba de Mirabela-MG apresentou maiores produções de frutos por planta e maior tamanho de fruto quando comparada às populações das demais regiões estudadas por Ciconini et al. (2013).

A contribuição genética dentro da população de macaúba estudada não pode ser descartada em nosso estudo. Em decorrência de seu estado selvagem, variações inter e intrapopulacional desta palmeira ainda são desconhecidas. Por exemplo, pouco se sabe sobre o sistema de acasalamento, estrutura genética, nível de depressão endogâmica e de todos os processos que envolvem diversidade genética de uma população e até mesmo a nível de indivíduo.

O teor de umidade e massa seca das partes constituintes do fruto e a porcentagem de resíduo em relação ao fruto (base seca) são apresentados na Tabela II-2.

Tabela II-2 - Teor de umidade e óleo, massa seca e proporção de coprodutos gerados em relação ao fruto (PCPF) de uma população nativa de macaúba, localizada em Mirabela-MG.

|            | Parâmetros       | Epicarpo | Mesocarpo | Endocarpo | Amêndoa | Fruto |
|------------|------------------|----------|-----------|-----------|---------|-------|
| Fruto      | Teor Umidade (%) | 39.95    | 42.52     | 15.23     | 25.17   | 36.8  |
|            | Massa seca (g)   | 10.94    | 18.82     | 8.28      | 2.18    | 40.22 |
|            | Teor de óleo (%) | -        | 41.93     | -         | 63.28   | 23.05 |
| Coprodutos | Massa seca (gr)  | 10.94    | 10.92     | 8.28      | 0.8     | 30.95 |
|            | PCPF (%)         | 27.21    | 27.16     | 20.59     | 1.99    | 76.95 |

A parte constituinte de maior teor de umidade do fruto é o mesocarpo, seguido pelo epicarpo, amêndoa e endocarpo. O mesocarpo tem a quase metade da massa fresca em água. Isso se deve à sua natureza fibrosa, carnuda e com alto teor de mucilagem (REIS et al., 2012), o que proporciona maior retenção de água. O epicarpo, camada protetora do fruto, quando maduro sofre esclerificação e lignificação desigual, mas mantém sua natureza friável. Enquanto isso, o endocarpo é uma estrutura muito mais compacta e rígida pelo alto grau de lignificação dos esclereídeos (REIS et al., 2012). Assim, o endocarpo é mais impermeável que o epicarpo, que é poroso e retém mais água.

O mesocarpo e a amêndoa apresentaram alto conteúdo de óleo. O mesocarpo também apresenta outros materiais de reservas como os açúcares e uma baixa proporção de amido (MONTROYA, 2013). Por outro lado, a amêndoa é um tecido de armazenamento para o embrião, constituído principalmente por água e óleo. Proporcionalmente, a amêndoa apresenta maior teor de óleo que o mesocarpo, entretanto muitos fatores podem influenciar o acúmulo de óleo nestes tecidos, como as condições ambientais (luz, nutrientes) e o genótipo da planta. Os valores médios de óleo na amêndoa obtidos nesta pesquisa foram superiores aos descritos por três populações

de macaúba de diferentes regiões de Minas Gerais. Por outro lado, o teor de óleo do mesocarpo foi menor que o das populações comentadas anteriormente (CETEC, 1983). Vale ressaltar que neste experimento o teor de óleo da polpa foi mensurado logo após a colheita, havendo acúmulo de óleo no mesocarpo em pós-colheita (Experimentos I, II e III, Capítulo I).

O epicarpo e mesocarpo apresentaram resultados similares, apenas a amêndoa apresenta uma pequena contribuição. Isto já é esperado devido à própria forma e constituição do fruto ( Figura II.2). Além disto, pela própria natureza, a constituição anatômica e bioquímica de cada parte desempenha papel importante nos resultados finais.

#### II.1.4.2 Caracterização química dos coprodutos

A Tabela II-3 apresenta os valores médios de lignina, química imediata e composição elementar dos coprodutos gerados no processamento dos frutos da macaúba.

Tabela II-3 - Caracterização química dos coprodutos do processamento dos frutos da macaúba.

| Coproductos      | Lignina (%) | AQI (%) |        |        | C. Elementar (%) |       |        |
|------------------|-------------|---------|--------|--------|------------------|-------|--------|
|                  |             | MV      | CF     | CZ     | C                | H     | N      |
| Epicarpo         | 27,52B*     | 81,60B  | 14,70B | 3,693B | 47,20A           | 7,26A | 0,43C  |
| Farelo mesocarpo | 29,25B      | 84,88A  | 11,64D | 3,47B  | 43,84C           | 7,42A | 0,88B  |
| Endocarpo        | 31,67A      | 76,00C  | 22,45A | 1,54C  | 48,00A           | 6,19B | 0,56BC |
| Farelo amêndoa   | 32,7A       | 82,46B  | 13,27C | 4,25A  | 45,00B           | 7,41A | 6,35A  |

Análise química imediata (AQI): materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF) e cinzas (CZ) e composição elementar: carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N), dos resíduos do processamento dos frutos da macaúba.\* letras iguais nas colunas não diferenciam entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Os teores de lignina do epicarpo e do farelo do mesocarpo foram similares, porém menores em relação ao endocarpo e ao farelo da amêndoa (Tabela II.3). Embora todas as partes apresentem este polímero, sua proporção é variável conforme a parte do fruto. Os dois primeiros coprodutos, epicarpo (casca) e mesocarpo (polpa), são bastante fibrosos. A lignificação nas células do epicarpo ocorre com uma distribuição irregular, por outro lado, o endocarpo da macaúba, como em todos os frutos que apresentam caroço, é formado por esclereídeos altamente lignificados (REIS et al., 2012). A

amêndoa é composta basicamente por ácidos graxos saturados e proteínas no endosperma, que é revestido pelo um tegumento negro com células altamente lignificadas.

O alto teor de lignina é um bom indicativo para sua utilização para produção de carvão vegetal e densificação de matérias (pellets e briquetes). Normalmente, materiais com altos teores de lignina apresentam alta densidade e alto carbono fixo (TRUGILHO et al., 2001; DO VALE et al., 2011). Silva e Barrichello (1986), estudando a produção de carvão vegetal, encontraram maiores rendimentos gravimétricos de carvão, em todas as temperaturas avaliadas, do endocarpo da macaúba em relação ao endocarpo de babaçu e da madeira de eucalipto. Os mesmos autores verificaram que o teor de lignina do endocarpo da macaúba é em torno de 24% superior ao do endocarpo do babaçu e da madeira de eucalipto. Além disto, para a produção de pellets e de briquetes, durante o processo de compactação ocorre plastificação da lignina, o que confere maior resistência mecânica a estes biocombustíveis.

O alto valor dos MV e o baixo valor encontrado do CF no farelo do mesocarpo podem ser devidos à sua função biológica e ecológica, Tabela II.3, provavelmente, pela finalidade em armazenar compostos orgânicos para servir de reserva para o fruto e para atrair animais dispersores. No entanto, o endocarpo e o epicarpo dos frutos da macaúba são rígidos, compostos por paredes espessas, compostas, principalmente, por celulose e lignina (REIS et al., 2012), fazendo com que estas partes contenham maior percentual de CF, quando comparadas aos demais. Os teores de materiais voláteis dos coprodutos da macaúba estão próximos aos normalmente obtidos para a maioria da biomassa vegetal, compreendida entre 65 a 83%. Ressalta-se que o percentual de material volátil é importante principalmente para a ignição e nas etapas iniciais da combustão da biomassa (CORTEZ; LORA, 2008).

Analisando o teor de carbono fixo do endocarpo da macaúba, verificou-se que ele é maior quando comparado com os demais resíduos agrícolas e florestais comumente empregados para fins energéticos (casca de café, arroz e coco, bagaço de cana-de-açúcar, galhos de poda, serragem, maravalha) (GIL et al., 2010; PAULA et al., 2011). Coprodutos que apresentam alto carbono fixo favorecem sua utilização em sistema de coinceneração, combustão direta e também na produção de carvão vegetal. Vila Boas et al. (2010), estudando produção de carvão vegetal de resíduos da macaúba,

encontraram rendimento gravimétrico de carvão de endocarpo e caroço (endocarpo mais amêndoa) em torno de 35%, quando carbonizado à temperatura de 550°C.

O farelo da amêndoa é o coproduto que apresentou maior teor de cinza quando comparado aos demais. Cinzas são constituídas principalmente de minerais, sendo que, provavelmente, esteja presente em alta concentração no endosperma da amêndoa, uma vez que é um tecido de reserva com a função de nutrir o embrião. Apesar de todos resíduos apresentarem altos teores de cinzas (>0,5%), estes teores são menores que outros resíduos de oleaginosas como a vagem da soja (7,25%) (PAULA et al., 2011).

Em relação à composição elementar, o epicarpo e o endocarpo são os coprodutos que apresentaram os maiores percentuais de C. Vale salientar que estes valores estão alinhados com seus respectivos teores de lignina e carbono fixo. Tanto os valores de C quanto de H estão próximos dos diversos resíduos agrícolas e florestais avaliados para geração de energia (PAULA et al., 2011; SAIDUR et al., 2011). O farelo da amêndoa apresentou teor de N superior aos demais coprodutos, possivelmente pelo alto teor de proteína presente na amêndoa. Coimbra & Jorge (2011) mostraram que o teor de proteína na amêndoa e no mesocarpo da macaúba é de 28,61 e 6,72%, respectivamente.

#### II.1.4.3 Caracterização física dos resíduos

Tabela II-4 - Densidade a granel (DG), poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) e densidade energética (DE) dos coprodutos gerados do processamento dos frutos da macaúba.

| Coprodutos          | DG(Kg/m <sup>3</sup> ) | PCS (MJ.kg <sup>-1</sup> ) | PCI (MJ.kg <sup>-1</sup> ) | ** DE (GJ/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Epicarpo            | 175,8D*                | 20,24B                     | 16,71C                     | 2,94C                      |
| Farelo do mesocarpo | 344,4B                 | 18,58C                     | 15,23D                     | 5,25B                      |
| Endocarpo           | 500,6A                 | 20,45B                     | 17,09B                     | 8,56A                      |
| Farelo da amêndoa   | 284,3C                 | 23,09A                     | 19,24A                     | 5,48B                      |

\* letras iguais nas colunas não diferenciam entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. \*\* DE = DG x PCI

Observa-se que o endocarpo apresentou maior densidade a granel (DG), seguido do farelo do mesocarpo, farelo da amêndoa e do epicarpo. A alta densidade a granel do endocarpo decorre da alta densidade aparente que o endocarpo apresenta (VILAS BOAS et al., 2010), uma vez que esta parte do fruto é formada por células de camada grossa (esclereídeos), altamente lignificadas. Baixos valores de DG como os encontrado em outros resíduos sólidos do fruto da macaúba podem ser obstáculos para

seu uso como matéria-prima para produção de energia pela elevação nos custos de transporte. Entretanto, processos de compactação como pellets ou briquetes podem permitir sua utilização para geração de energia (USLU et al., 2008).

O poder calorífico superior indica o potencial da biomassa para produção de bioenergia (NAIK et al., 2010). Coprodutos gerados do processamento dos frutos da macaúba que apresentaram altos teores de lignina (endocarpo e farelo de amêndoa) foram os que apresentaram maiores PCS. O farelo da amêndoa apresentou maior PCS em relação ao demais, enquanto o farelo da polpa obteve menor valor do PCS. O PCS está correlacionado positivamente com os teores de lignina e com os teores de C e H (SAIDUR et al., 2011). A presença de óleo no farelo da amêndoa mesmo após o processamento dos frutos e os elevados níveis de lignina, C e H em comparação aos outros coprodutos, podem justificar seu maior PCS. Todos os coprodutos do fruto da macaúba apresentaram PCS maiores quando comparados aos resíduos agrícolas e florestais mais usados na geração de energia, como bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, capins, serragem etc. (PAULA et al., 2011; SAIDUR et al., 2011). Em relação à densidade energética (DE), o endocarpo foi o coproduto que apresentou maior quantidade de energia por volume, ao contrário do epicarpo, que apresentou os menores valores. A alta DG e valores satisfatórios de PCI promoveram uma alta DE do endocarpo. Coprodutos que apresentam alta DE são fontes importantes de matéria-prima para a produção de energia, pois o custo de transporte pode impactar no custo de produção de energia, principalmente quando se compara a produção de energia proveniente de materiais lignocelulósicos aos produzidos de combustíveis fósseis (SAIDUR et al., 2011).

A Figura II-3 e a Tabela II-5 apresentam as curvas termogravimétricas e suas perdas de massa em diversas faixas de temperatura para os resíduos do processamento do fruto da macaúba, respectivamente.

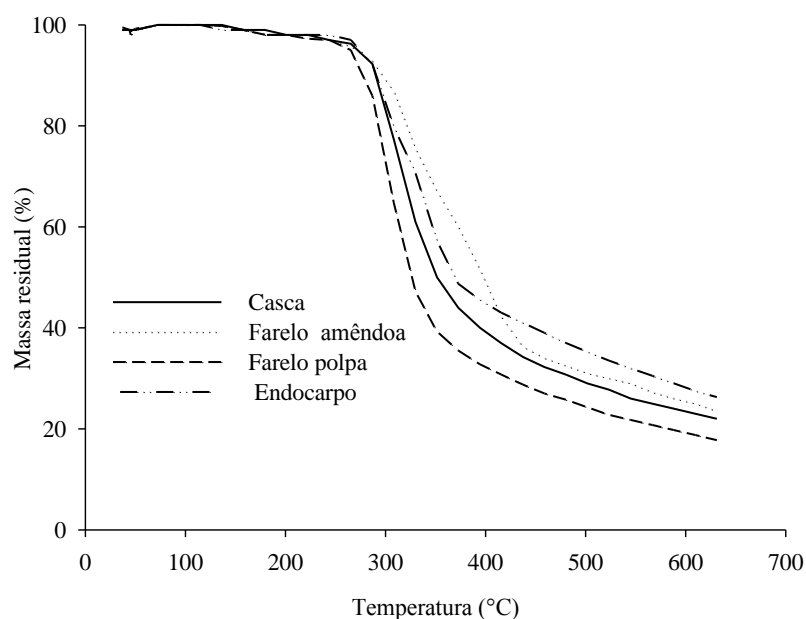


Figura II-3 - Termogramas e perdas de massa dos resíduos em diferentes faixas de temperatura.

Tabela II-5 - Perda de massa (%) e massa residual (%) dos resíduos do processamento dos frutos.

| Resíduo          | Faixa de temperatura (°C) |         |         |         |         |         | Massa residual |
|------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|
|                  | 100-200                   | 200-310 | 310-395 | 395-500 | 500-610 | 610-650 |                |
| Casca            | 2                         | 21      | 37      | 11      | 6       | 1       | 22C*           |
| Farelo mesocarpo | 2                         | 33      | 32      | 9       | 6       | 1       | 18D            |
| Endocarpo        | 2                         | 18      | 34      | 10      | 8       | 2       | 26A            |
| Farelo amêndoa   | 2                         | 11      | 35      | 21      | 6       | 1       | 24B            |

\* letras iguais nas colunas não diferenciam entre si pelo teste Tukey a 5% de significância.

Observa-se, independentemente do resíduo, a intensidade na degradação térmica, que se iniciou a partir de 250°C (Figura II-3). O primeiro estágio, até 200°C, compreende a perda de umidade dos resíduos e possivelmente extrativos e outros compostos voláteis. No segundo estágio, 200-300°C, provavelmente ocorre, em maiores quantidades, a degradação das hemiceluloses. Neste estágio, a maior perda de massa ocorreu no farelo do mesocarpo. De acordo com Conesa (1995), em madeira as hemiceluloses se degradam em maior quantidade na faixa entre 200° a300°C. Na faixa 310 - 395°C ocorreu a maior degradação em todos os resíduos, correspondendo, principalmente, à degradação da celulose (YANG et al., 2007).

O endocarpo obteve maior massa residual em relação aos demais, seguido pelo farelo da amêndoa. Ambos apresentaram os maiores teores de lignina (Tabela II-4).

Yang et al. (2007) mostram que a faixa de degradação da lignina é de 160 a 900°C, indicando que a lignina não foi totalmente degradada na faixa de temperatura avaliada. Ressalva-se que o farelo de amêndoa obteve os maiores teores de cinzas, Tabela II-4, o que contribui para sua massa residual.

#### II.1.4.4 Produtividade estimada

Estabelecer as perspectivas de produtividade é um importante prerequisite para garantir a sustentabilidade e a rentabilidade de qualquer atividade agrícola. Muitos fatores podem interferir na produtividade, como a nutrição inadequada das plantas, potencial genético, a sanidade das plantas, a competição por plantas daninhas, entre outros. Pelo fato de as plantas de macaúba não serem ainda domesticadas e por estarem em seu ambiente natural, todos os resultados reunidos neste estudo mostram o potencial que esta espécie pode atingir quando utilizada em sistemas de cultivos agrícolas. Assim, o uso de ferramentas que podem estimar a produtividade da palmeira macaúba é útil para determinar seu potencial energético. A produtividade estimada de frutos e coprodutos para ambos os cenários propostos está apresentada na Tabela II-6.

Tabela II-6 - Produtividade estimada de frutos, óleos e coprodutos do processamento dos frutos. Dados embasados em dois cenários de produtividade.

| Categoria          | Componente       | **Produtividade (t/ha) |           |
|--------------------|------------------|------------------------|-----------|
|                    |                  | *Cenário 1             | Cenário 2 |
| Materia-prima      | Frutos           | 23,21                  | 46,1      |
| Produtos primários | Óleo polpa       | 2,88                   | 5,71      |
|                    | Óleo amêndoa     | 0,5                    | 1         |
| Coprodutos         | Epicarpo         | ***3,99                | 7,93      |
|                    | Farelo mesocarpo | 3,98                   | 7,91      |
|                    | Endocarpo        | 3,02                   | 6,00      |
|                    | Farelo Amêndoa   | 0,29                   | 0,58      |

**Nota:** \*Cenário 1, dados médios da produção das plantas nativas. Cenário 2, seleção de 10% das plantas nativas mas com os maiores números de cachos multiplicados pelos valores médios do número de frutos por planta e peso do fruto.. Para um hectare de macaúba, foram consideradas 400 plantas no espaçamento 5 x 5, conforme proposto por Pimentel et al. (2011). \*\* A produtividade estimada considera as plantas em fase adulta.\*\*\* Produtividade dos resíduos estimada em base seca.

Observa-se que o cenário 2 obteve maior produtividade analisada, 98% mais produtivo em comparação ao cenário 1. Este ganho se reflete em todos os produtos gerados no processamento dos frutos da macaúba, chegando a uma produtividade próxima a 7t.ha<sup>-1</sup> de óleo. Cetec(1983) estimou produtividades em torno 22 t.ha<sup>-1</sup> de frutos e 4,9 t.ha<sup>-1</sup> de óleo, utilizando uma população de 216 plantas.ha<sup>-1</sup>. A palma africana, que é a planta oleífera com a maior produtividade de óleo conhecida, no ano

de 2012, apresentou produtividade média de frutos no Brasil de 11,93 t.ha<sup>-1</sup>, enquanto a média mundial foi de 14,32 t.ha<sup>-1</sup>(FAO, 2013).

Ressalve-se que, além da produção de óleo, o processamento dos frutos gera quantidade significativa de coprodutos em ambos os cenários. Os farelos do mesocarpo e de amêndoa, o endocarpo e o epicarpo correspondem a 35,4, 2,6, 26,8 e 35,3% (base seca), respectivamente, do total de coprodutos gerados. O cenário 1 supera, em produção de resíduos, as populações nativas de macaúba avaliadas por Ciconini et al. (2013), provavelmente, por fatores genéticos, pelo clima e solos onde estas populações estão estabelecidas.

A Tabela II-7 apresenta os valores da energia primária na simulação da produtividade de frutos e coprodutos em ambos os cenários e na comparação com o bagaço de cana-de-açúcar. Em ambos os cenários, a energia primária do epicarpo, farelo do mesocarpo e endocarpo foi maior que a dos resíduos das culturas agrícolas, resíduos florestais e pastagem, na América Latina (FISCHER; SCHRATTENHOLZER, 2001).

Tabela II-7 Energia primária (GJ/ha) dos frutos, dos coprodutos dos frutos da palmeira macaúba em dois cenários agrícolas de produtividade e do bagaço de cana-de-açúcar proveniente das usinas de etanol.

| Categoria     | Componente          | Energia primária (GJ/ha)* |           |                         |
|---------------|---------------------|---------------------------|-----------|-------------------------|
|               |                     | Cenário 1                 | Cenário 2 | Bagaço cana-de-açúcar** |
| Matéria-prima | Fruto               | 363,56                    | 722,11    |                         |
| Coprodutos    | Epicarpo            | 80,85                     | 160,59    | 425,93                  |
|               | Farelo do mesocarpo | 74,09                     | 147,15    |                         |
|               | Endocarpo           | 61,82                     | 122,78    |                         |
|               | Farelo da amêndoa   | 6,76                      | 13,42     |                         |
|               | Total               | 223,52                    | 443,94    |                         |

\*A energia primária é PCS x produtividade de resíduo. \*\*Considerou 23,8 t.ha<sup>-1</sup> a produtividade de bagaço da cana-de-açúcar (SANTOS, F. et al., 2011). Utilizou o PCS do bagaço de cana-de-açúcar sugerido por Paula et al. (2011)

Observa-se que a produção de energia primária no cenário 2 foi 98% maior em relação ao cenário 1. Entre os coprodutos, o epicarpo apresentou a maior quantidade de energia primária por área, seguido do farelo do mesocarpo, endocarpo e do farelo da amêndoa. Apesar de o endocarpo e o farelo da amêndoa apresentarem maiores PCS, a produtividade de resíduo gerado foi o que causou maior impacto na quantificação da energia primária do resíduo gerada por área plantada da palmeira macaúba.

Em comparação com o bagaço da cana-de-açúcar, bastante utilizado para geração de bioeletricidade em usinas de etanol, a energia potencial por hectare contida nos resíduos do processamento dos frutos no cenário 1 é cerca de 50% menor em

relação às variedades atuais utilizadas nos canaviais do Brasil (Tabela II-7). No cenário 2, a soma da energia primária dos coprodutos provenientes é maior que a do bagaço de cana-de-açúcar. Entretanto, ressalva-se que a cultura da cana-de-açúcar já foi domesticada e vêm sendo aplicados a esta cultura melhoramento e aprimoramento das técnicas de cultivos há mais de dois séculos. Isto reforça o potencial da palmeira macaúba após seu processo de domesticação, utilização de variedades melhoradas e emprego de práticas agronômicas.

### **II.1.5 Conclusão**

A macaúba é uma fonte energética de grande potencial como fonte de matéria-prima para a produção de biocombustíveis sólidos pelo seu potencial produtivo e elevada produção de energia primária proveniente dos coprodutos gerados no processamento dos frutos. Coprodutos, como endocarpo, apresentaram alta densidade energética, elevados teores de lignina, carbono fixo e baixo teor de cinzas, o que confere vantagens adicionais em sua utilização para a produção de biocombustíveis sólidos. De forma geral, os coprodutos provenientes do processo de extração de óleos do fruto da macaúba apresentam vantagens em relação às características físicas e químicas, quando comparados aos demais resíduos agrícolas e florestais comumente empregados para produção de biocombustíveis sólidos.

Com o avanço do melhoramento genético desta espécie, a produtividade do fruto pode crescer substancialmente.

## **II.2 EXPERIMENTO II**

### **II.2.1 Coprodutos do fruto da macaúba para produção de carvão vegetal**

#### **II.2.2 Objetivo**

Avaliar a utilização dos resíduos do processamento dos frutos da macaúba como fonte de matéria-prima para a produção de carvão vegetal.

#### **II.2.3 Material e Métodos**

Foram coletados frutos da palmeira macaúba, de idade desconhecida, de uma população de plantas da fazenda experimental da Epamig, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, localizada no município de Prudente de Moraes, Minas Gerais, limitado pelas coordenadas plano-retangulares 19°26'57,53"S - 44°09'25,16"O, 19°26'29,09"S-44°09'17,69"O, datum WGS 84. Os frutos fisiologicamente maduros foram destacados dos cachos, selecionados e homogeneizados.

Para determinação da porcentagem da massa úmida e seca, foram utilizadas quatro amostras contendo 20 frutos cada uma. Estes frutos foram processados e separados de suas partes constituintes (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa), procedendo-se, posteriormente, à secagem de cada constituinte do fruto para determinação da porcentagem de massa seca e úmida. Inicialmente, cada amostra foi pesada, obtendo-se assim sua massa úmida, e logo, em seguida, levadas para a estufa e secas a 75°C. Após atingirem massa constante, as amostras foram novamente pesadas e determinada assim sua massa seca.

Os coprodutos foram formados pelo processamento dos frutos, que constituiu na retirada das cascas, prensagem do mesocarpo (polpa) e amêndoa e separação do endocarpo. O mesocarpo e amêndoa foram prensados em uma prensa hidráulica para extração do óleo e, em seguida, seus resíduos foram lavados em um extrator de óleos e graxas para retirada do óleo residual, utilizando o n-hexano como solvente orgânico. Após esta etapa, todos os coprodutos do processamento dos frutos - casca, mesocarpo, endocarpo e amêndoa - foram moídos e peneirados a uma granulometria de aproximadamente 0,2 mm.

Para a análise química imediata, amostras dos resíduos foram secas em estufa e pesados 1,0 g de amostra absolutamente seca (a.s.) em uma cápsula de porcelana, utilizando para isto uma balança de precisão. Posteriormente, as cápsulas foram

tampadas e levadas ao forno mufla a  $950 \pm 10$  °C, durante 11 minutos. O material restante na cápsula sem a tampa, após a determinação do percentual de materiais voláteis, foi utilizado para determinar o percentual de cinzas, a uma temperatura de  $600 \pm 10$  °C, durante 6 horas. O percentual de carbono fixo (CF) foi determinado por diferença entre a soma do percentual de materiais voláteis, cinzas e 100, conforme os procedimentos recomendados na norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986).

O poder calorífico superior (PCS) dos resíduos do processamento do fruto da macaúba foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT 1984), utilizando uma bomba calorimétrica adiabática.

A densidade a granel (DG) foi determinada de acordo com a norma estabelecida pela DIN EM 15103 (DIN, 2010), para as partes do fruto (epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa). Estas partes foram postas em uma caixa rígida de volume conhecido e, logo em seguida, pesadas. Tanto para o mesocarpo quanto para a amêndoa, foi determinada a densidade a granel destas partes sem óleo (farelo da polpa e amêndoa).

A densidade energética dos resíduos da macaúba foi calculada de acordo com a equação abaixo:

$$DE = PCS \times DG.$$

Em que:

DE = densidade Energética;

PCS = poder calorífico superior; e

DG = densidade a granel.

As carbonizações foram feitas no forno mufla de laboratório com aquecimento elétrico, utilizando cerca de 500 g de amostras de cada constituinte (endocarpo e epicarpo), tendo estes constituintes sido inseridos em um container metálico com dimensões nominais de 30 cm de comprimento e 12 cm de diâmetro. A temperatura inicial e final de carbonização foi de 100 e 550 °C, respectivamente, sendo que a cada 30 minutos de carbonização, aumentava-se a temperatura do forno em 50 °C, finalizando o processo em quatro horas e meia. Foram recuperados os gases condensáveis do processo por um condensador tubular resfriado a água, adaptado na saída dos gases. Determinou com base na massa seca dos resíduos, os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal, gases condensáveis e não condensáveis, sendo que o resultado do valor deste último foi obtido por diferença.

Após as carbonizações, foram feitas as análises química e física do carvão vegetal. Foi determinada a composição química imediata do carvão vegetal, obtida em amostras moídas e peneiradas a uma granulometria de, aproximadamente, 0,2 mm, seguindo os procedimentos preconizados nas normas ABNT NBR 6923 (ABNT, 1981) e ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), com determinação dos teores de matérias voláteis, cinzas e carbono fixo, em base seca.

O poder calorífico superior do carvão vegetal foi determinado de acordo com o mesmo método descrito acima, utilizado para os resíduos.

A densidade aparente do carvão vegetal foi determinada de acordo com o método proposto por Vital (1984), utilizando uma balança de precisão de 0,001 g para a determinação do volume deslocado. Para tanto, amostras de aproximadamente 2 g de carvão foram pesadas para a obtenção da massa e, posteriormente, imersas em mercúrio para determinação do volume deslocado, determinando, assim, a densidade relativa aparente (DA). A densidade energética para o carvão vegetal foi dada pela multiplicação da DA pelo PCS. Todas as análises e as carbonizações foram feitas no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

O experimento foi instalado no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições quando os tratamentos eram os resíduos, e duas repetições quando os tratamentos eram o carvão do endocarpo e epicarpo. As análises dos constituintes submetidos ao processo de carbonização também foram feitas de acordo com um DIC com dois tratamentos. Para as análises de química imediata, foram utilizadas três repetições e para o poder calorífico superior, duas repetições. As análises de variância foram processadas no DIC e as diferenças entre as médias dos tratamentos, analisadas pelo teste F e Tukey, a 5% de probabilidade. Todas as análises foram processadas no programa SAS, versão 9.0.

#### **II.2.4 Resultados e Discussão**

A porcentagem de massa fresca e seca e a proporção da parte constituinte do fruto da macaúba estão apresentadas na Tabela II.8.

Tabela II-8 - Massa fresca (MF) e massa seca (MS) do fruto e proporção da parte constituinte do fruto (PPF) de macaúba.

| Parâmetro   | Epicarpo       | Mesocarpo     | Endocarpo     | Amêndoa      | Fruto         |
|-------------|----------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| MF (g)      | 11,11 ± 0,569* | 19,05 ± 0,612 | 9,32 ± 0,445  | 2,14 ± 0,112 | 41,01 ± 1,637 |
| PPF (% b.u) | 26,69 ± 0,456  | 45,78 ± 0,591 | 22,39 ± 0,306 | 5,14 ± 0,259 | 100           |
| MS (g)      | 5,21 ± 0,278   | 9,03 ± 0,247  | 7,51 ± 0,333  | 1,72 ± 0,075 | 23,47 ± 0,398 |
| PPF (% b.s) | 22,19 ± 0,546  | 38,47 ± 1,019 | 32,00 ± 0,431 | 7,32 ± 0,234 | 100           |

\* Média e desvio padrão

A parte constituinte de maior proporção do fruto é o mesocarpo, seguido pelo epicarpo, endocarpo e amêndoa. Em relação à massa seca, o endocarpo representa a segunda parte de maior abundância no fruto.

O mesocarpo representa a maior proporção e o maior peso fresco das partes do fruto pela sua natureza fibrosa e carnuda, com alto teor de mucilagem (REIS et al., 2012), o que permite ter maior capacidade de reter água. Além disto, apresenta alto teor de óleo (CETEC, 1983). Ciconini et al. (2013), estudando a biometria dos frutos e o teor de óleo, encontraram nas populações de macaúba do cerrado do Mato Grosso do Sul, 49,1% e 25,1% teores de umidade e de óleo, respectivamente. Cetec (1983), estudando as populações de macaúba em Minas Gerais, encontrou teor de óleo na polpa superior, 55-69%, e verificou também que a amêndoa, apesar de sua baixa proporção em relação ao fruto, contém também alto teor de óleo, 55-58%, o que proporciona baixa produção de resíduo para utilização energética. Por outro lado, o endocarpo é uma estrutura muito mais compacta, rígida e com alto grau de lignificação dos escleróditos (REIS et al., 2012). Assim, essa camada tem maior limitação para reter água, contribuindo para uma maior contribuição em sua massa seca. O epicarpo, camada externa e protetora do fruto, é bastante porosa (CARVALHO, 2013), o que contribui para a retenção de água nesta parte constituinte. Entretanto, pelo seu grau de esclerificação e lignificação (REIS et al., 2012), sua função biológica (camada protetora) anatômica (parte que reveste o fruto) e sua constituição bioquímica fazem com que tenha uma considerável participação na composição do fruto.

A Tabela II.9 apresenta os valores médios das propriedades físicas e químicas dos resíduos da macaúba para energia.

Tabela II-9 - Propriedades físicas e químicas dos coprodutos do processamento dos frutos da macaúba. Densidade a granel (DG), poder calorífico superior (PCS) e densidade energética (DE).

| Coprodutos          | Materiais Voláteis (%) | Cinzas (%) | Carbono fixo (%) | DG (Kg/m <sup>3</sup> ) | PCS (kcal/kg) | DE (GJ/m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|------------------------|------------|------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| Epicarpo            | 78,22 ab               | 5,66 b     | 16,12 b          | 177 d                   | 4989 a        | 3,64 c                  |
| Farelo do mesocarpo | 79,6 a                 | 6,19 c     | 14,20 b          | 338 b                   | 3835 c        | 5,43 b                  |
| Endocarpo           | 76,37 b                | 2,04 a     | 21,33 a          | 498 a                   | 5011 a        | 10,45 a                 |
| Farelo da amêndoa   | 78,9 a                 | 6,2 c      | 14,9 b           | 287 c                   | 4377 b        | 5,26 b                  |

<sup>a</sup>Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey 5%.

Observa-se diferença significativa em todos os parâmetros avaliados, evidenciando as diferenças existentes entre as partes do fruto da macaúba. Os maiores teores de materiais voláteis foram obtidos nos resíduos da polpa e da amêndoa, enquanto o endocarpo apresentou os menores teores de cinzas e os maiores teores de carbono fixo.

Os teores de materiais voláteis dos resíduos da macaúba estão próximos aos normalmente obtidos para a maioria da biomassa vegetal, compreendidos entre 65 e 83%. Ressalta-se que o percentual de material volátil é importante principalmente para a ignição e nas etapas iniciais da combustão da biomassa (CORTEZ; LORA, 2008). Em relação às cinzas, a diferença entre seus teores está provavelmente na constituição mineral de cada coproduto. Ramos et al. (2008) encontraram no mesocarpo de macaúba valores médios de 61,96, 36,70 e 766,37mg.100gr<sup>-1</sup> de cálcio, fósforo e potássio, respectivamente. Cetec(1983) observou valores de cinzas similares nos resíduos dos frutos e altos teores de fósforo e potássio nas cinzas da amêndoa e mesocarpo, respectivamente. Resíduos com níveis altos de carbono fixo contribuem para sua utilização na forma de queima direta, coincineração e para produção de carvão vegetal.

Quanto às propriedades físicas, o endocarpo se destaca por apresentar maiores valores de densidade a granel, poder calorífico superior e densidade energética, em relação aos demais. Embora o epicarpo tenha alto PCS, ele apresentou a menor DE, devido à sua baixa DG, quando comparado aos outros resíduos. Provavelmente, o alto valor de PCS tanto do endocarpo quanto do epicarpo seja decorrente da alta concentração de carbono fixo e dos altos teores de lignina. Cetec(1983) mostrou que o epicarpo apresenta, em média, 29,5% de lignina; enquanto o mesocarpo, o endocarpo e a amêndoa têm em torno de 7,9, 34 e 10,2% de lignina, respectivamente. Outro fator que contribui para alto PCS são os resquícios de óleo do mesocarpo aderidos ao epicarpo durante o processamento (avaliação visual). Vilas Boas et al. (2010),

estudando o efeito da temperatura de carbonização sobre resíduos de macaúba, também encontraram PCS do endocarpo de 5.152 Kcal.kg<sup>-1</sup>, semelhante ao obtido neste trabalho. Tanto o poder calorífico quanto o carbono fixo dos coprodutos gerados do processamento dos frutos da macaúba são superiores ou próximos a diversos resíduos agrícolas e madeireiros utilizados para produção de energia, evidenciando o potencial dos resíduos da macaúba para geração de energia. Paula et al. (2011), trabalhando com diversos resíduos de diversas culturas agrícolas (arroz, café, cana-de-açúcar, soja, feijão e milho) e com resíduos do setor madeireiro (aparas e serragem) encontraram PCS variando de 3.812 a 4.615 Kcal/kg e carbono fixo, de 16,66 a 21,03 %.

Por ser um material mais lignificado e denso, o endocarpo tem maior densidade a granel e, aliado ao seu alto PCS, foi o coproduto de maior densidade energética, quando comparado com os demais. Materiais com baixa densidade energética são obstáculos para sua utilização, uma vez que podem aumentar consideravelmente os custos de transportes e afetar negativamente o balanço energético do sistema.

O endocarpo e o epicarpo foram os resíduos do processamento dos frutos que apresentaram, de forma geral, melhores características para produção de biocombustíveis sólidos, em especial, o carvão vegetal. Com isto, foi feita a carbonização destes dois coprodutos. A Tabela II.10 apresenta as propriedades físicas e químicas do carvão vegetal produzido do endocarpo e epicarpo da macaúba.

Tabela II-10 Propriedades químicas e físicas de carvões vegetais produzidos da carbonização do epicarpo e endocarpo do fruto da macaúba.

| Parâmetros                                | Epicarpo | Endocarpo |
|---|----------|-----------|
| Materiais voláteis (%)                    | 18,29*   | 12,74     |
| Cinzas (%)                                | 1,79*    | 3,84      |
| Carbono Fixo (%)                          | 79,93*   | 83,43     |
| Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> )   | 1,024    | 1,007     |
| Poder Calorífico Superior (Kcal/kg)       | 7464*    | 7859      |
| Densidade Energética (GJ/m <sup>3</sup> ) | 31,99 *  | 33,14     |

\*Médias seguidas pelo asterisco na linha diferem entre si a 5% de significância pelo teste F.

Observa-se efeito do tipo do coproduto sobre as propriedades avaliadas, exceto densidade aparente. À exceção dos teores de cinzas e materiais voláteis, as demais propriedades do carvão do endocarpo foram superiores às do carvão do epicarpo. Houve acréscimo no PCS, CF, DE e redução dos materiais voláteis do carvão do endocarpo e epicarpo em relação a suas respectivas matérias-primas. Este acréscimo do CF e

redução dos voláteis são devidos às altas temperaturas de carbonização, que promoveram a degradação térmica da fração orgânica dos coprodutos.

Os valores médios de teores de cinza, carbono fixo e materiais voláteis obtidos para o carvão de endocarpo foram próximos aos observados por Vilas Boas et al. (2010), que obtiveram valores iguais a 3,25, 87,71 e 9,04%, respectivamente.

Quando comparado com resíduos de outras oleaginosas, os carvões do endocarpo e do epicarpo dos frutos da macaúba apresentam vantagens em relação às suas propriedades químicas e físicas. Avaliando o carvão do epicarpo (casca) do pinhão manso e da torta das sementes, Vale et al. (2011) encontraram altos teores de cinzas, 25,5 e 10,43%, carbono fixo de 45,5 e 71,29%, voláteis de 29 e 18,27% e baixo poder calorífico superior, 3.954 e 6.233Kcal/kg para o carvão do epicarpo e da torta do pinhão manso, respectivamente.

Ambos os carvões, do epicarpo e do endocarpo, apresentam alta densidade aparente (DA), cerca de três vezes maior que a obtida em carvão vegetal proveniente da madeira do gênero de Eucalyptus. Santos et al. (2011) encontraram valores de DA aparente em 4 clones de eucaliptos, entre 266 a 345 kg/m<sup>3</sup>. A densidade aparente do carvão é uma característica bastante importante porque, de modo geral, aumenta a resistência mecânica do carvão, fator importante, especialmente, quando o uso do produto for para fins siderúrgicos (SANTOS et al., 2011). Além disto, altos valores de DA do carvão promovem maior quantidade de massa de carbono fixo e energia por volume, reduzem os custos de transporte e, quando sua utilização é para fins siderúrgicos, reduzem o custo de produção do ferro gusa. Entretanto, apesar de ter alta DA, o carvão do epicarpo tem baixa resistência mecânica e alta friabilidade (observação visual), promovendo muita quebra, quando manuseado (observação visual), provavelmente por ter uma casca fina (observação visual), com muita porosidade (CARVALHO, 2013). A utilização do carvão da casca da macaúba em pó pode ser uma opção de combustível para altos fornos ou para a compactação para produzir pellets e briquetes.

A Figura II.4 apresenta os valores do balanço de massa do processo de carbonização do endocarpo e da casca dos frutos da macaúba.

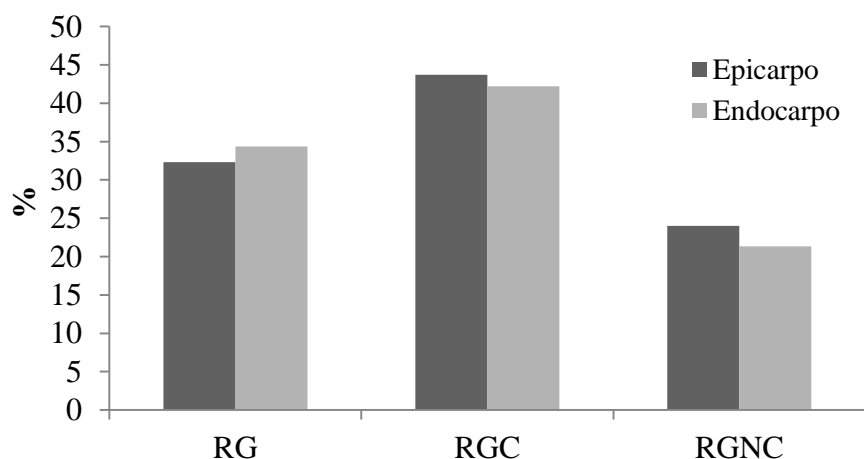


Figura II-4 Rendimento gravimétrico de carvão vegetal (RG), rendimento de gases condensáveis (RGC) e rendimento de gases não condensáveis (RGNC) da carbonização do endocarpo e do epicarpo, oriundos do processamento dos frutos da macaúba.

Não houve efeito significativo do tipo de resíduo da macaúba no rendimento gravimétrico em carvão vegetal ( $F = 3,45$ ,  $p = 0,2045$ ), gases condensáveis ( $F = 0,06$ ,  $p = 0,8234$ ) e não condensáveis ( $F = 0,67$ ,  $p = 0,4994$ ).

O RG da carbonização do endocarpo foi, em média, de 34,35%, enquanto do epicarpo foi de 32,31%. Os RGC, em média, foram de 43,7 e 42,2% e os RGNC, de 23,99 e 21,32% para a carbonização da casca e endocarpo, respectivamente. Mesmo não tendo efeito significativo, o pequeno acréscimo do RG do carvão do endocarpo em relação ao carvão do epicarpo pode ser devido ao maior CF encontrado no carvão do endocarpo, contribuindo este parâmetro para um carvão de maior peso.

Vilas Boas et al. (2010) também encontraram valores similares no rendimento gravimétrico do carvão de endocarpo e caroço (endocarpo mais amêndoa), quando carbonizados à temperatura de 550°C. Em relação à produção de carvão oriunda de outras espécies, o carvão do epicarpo e o do endocarpo também são satisfatórios. Ambos os carvões apresentam rendimentos gravimétricos, gases condensáveis e não condensáveis próximos aos obtidos com o carvão proveniente da madeira do eucalipto, conforme os estudos de Santos et al. (2001) e Neves et al. (2011).

Analisando a produtividade dos coprodutos (epicarpo e endocarpo) em ambos os cenários, conforme proposto, no Experimento I do Capítulo II com o RG encontrado neste experimento, a produtividade do carvão do epicarpo pode variar de 1,29 a 2,56t.ha<sup>-1</sup> (cenários 1 e 2, respectivamente), enquanto o carvão do endocarpo varia de 1,04 a 2,06t.ha<sup>-1</sup>. Estes valores são adequados quando se trata de resíduos de processos agroindústrias. Tomando como comparação a cultura do eucalipto, com produtividade

média de carvão vegetal de 5,84t/ha.ano, considerando um incremento médio anual de madeira de eucalipto de 40,5 m<sup>3</sup>/ha.ano (ABRAF, 2010), densidade básica da madeira de 459 kg/m<sup>3</sup>(*Eucalyptus spp*)(PROTÁSIO et al., 2014) e rendimento gravimétrico da carbonização da madeira de 31,45% (NEVES et al., 2011), os carvões do endocarpo e do epicarpo apresentam produtividades consideráveis (cenário 2), 2,06 e 2,56t.ha<sup>-1</sup> respectivamente, em comparação a principal matéria-prima para a produção de carvão vegetal no Brasil.

### **II.2.5 Conclusões**

O endocarpo e o epicarpo apresentaram características apropriadas para carbonização. Os carvões do endocarpo e do epicarpo apresentaram alto carbono fixo e densidade aparente. Os valores obtidos para o rendimento gravimétrico em carvão vegetal para o endocarpo e epicarpo são adequados à produção comercial.

Os carvões do endocarpo e do epicarpo têm características adequadas para sua utilização como fonte de energia, além disto, o carvão do endocarpo também tem boas características como redutor, para sua utilização no setor siderúrgico.

## II.2.6 Considerações Finais

Os resultados apresentados neste capítulo mostram o grande potencial que os frutos da palmeira macaúba têm como fonte de matéria-prima para diversos biocombustíveis sólidos, em especial, o carvão vegetal proveniente do endocarpo.

No experimento I foi demonstrado que os resíduos gerados do processamento dos frutos para obtenção de óleos vegetais geram quatro coprodutos - epicarpo, farelo do mesocarpo, endocarpo e farelo da amêndoa - que apresentam algumas características físicas e químicas iguais e/ou superiores a alguns resíduos agrícolas e florestais comumente utilizados como matéria-prima para a produção de biocombustíveis. O coproduto endocarpo apresentou alta densidade energética, elevados teores de lignina, carbono fixo e baixo teor de cinzas, o que confere vantagens adicionais em sua utilização para a produção de biocombustíveis sólidos.

Ainda no experimento I, foi quantificada a produção de frutos por planta em uma população nativa de macaúba e feita uma simulação de produtividade em relação à produção média das plantas nativas (cenário 1) e em um cenário com a seleção das 10% das plantas com maiores números de cacho (cenário 2). Os dados mostram elevada produtividade de frutos, óleos e coprodutos, principalmente quando observa o cenário 2. Estes dados se refletem em alta produtividade de energia primária ( $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em relação aos frutos e aos coprodutos gerados no processamento. Destaca-se a produtividade estimada da energia primária dos coprodutos no cenário 2, que ultrapassa a energia primária de coprodutos como o bagaço de cana-de-açúcar, muito utilizado para produção de energia elétrica.

No experimento II, foi feita a carbonização dos coprodutos casca e endocarpo para utilização como carvão vegetal. Em ambos os coprodutos, o carvão gerado apresentou boas características quanto ao teor carbono fixo, densidade aparente, poder calorífico e densidade energética. Durante o processo de carbonização, ambos os coprodutos apresentaram rendimento gravimétrico em carvão vegetal em torno de 33%, valor bem próximo ao obtidos da carbonização de madeiras de eucalipto.

Diante destes resultados, podemos concluir que a palmeira macaúba é uma espécie energética com grande potencial como fonte de matéria-prima para a produção de biocombustíveis, pelo seu potencial produtivo e suas características físicas e químicas que os coprodutos apresentam.

## II.2.7 Referências

ABBAS, H.; HIOL, A.; DEYRIS, V.; COMEAU, L. Isolation and characterization of an extracellular lipase from *Mucor* sp strain isolated from palm fruit. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 31, n. 7, p. 968-975, 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6923 - Amostragem e preparação de amostras de carvão vegetal**. Rio de Janeiro 1981.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 9165 Carvão vegetal – determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade – método de ensaio**. Rio de Janeiro 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR 8112 – Análise química imediata do carvão vegetal**. Rio de Janeiro 1986.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009/**. Brasília, p.140. 2010

ALENCAR, E. R. D.; FARONI, L. R.; PETERNELLI, L. A.; DA SILVA, M. T.; COSTA, A. R. Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 303-308, 2010.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSÍVEIS. **Boletim Mensal do Biodiesel. Mensal**. Rio de Janeiro 2014.

\_\_\_\_\_. **Portaria 225 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis ANP 2014**.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSÍVEIS. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – 2012**. Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro. 2013

AOAC. **Official methods of analysis** 1990.

ARAÚJO, J. Química de alimentos: teoria e prática. In. **Química de alimentos: teoria e prática**. ed.: UFV, 2004. p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Method for Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter: D 2015-2077** p. 1983.

AZEREDO, H. D. Fundamentos de estabilidade de alimentos. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, 2004.

BASTOS, M. S.; OLIVEIRA, V. Ferramentas da ciência e tecnologia para a segurança dos alimentos. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical: Banco do Nordeste**, 2008.

- BENATO, E. A. Controle de doenças pós-colheita em frutas tropicais. **Summa phytopatologica**,v. 25, n. 1, p. 90-93, 1999.
- BIAGINI, E.; BARONTINI, F.; TOGNOTTI, L. Devolatilization of biomass fuels and biomass components studied by TG/FTIR technique. **Industrial & engineering chemistry research**,v. 45, n. 13, p. 4486-4493, 2006.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. Liv. Varela, 2001.
- BORA, P.; ROCHA, R. Macaiba palm: fatty and amino acids composition of fruits macaíba. **CYTA-Journal of Food**,v. 4, n. 3, p. 158-162, 2004.
- BOUAID, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Long storage stability of biodiesel from vegetable and used frying oils. **Fuel**,v. 86, n. 16, p. 2596-2602, 2007.
- CANAKCI, M.; VAN GERPEN, J. Biodiesel production via acid catalysis. **Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers**,v. 42, n. 5, p. 1203-1210, 1999.
- CARVALHO, F. M. D. **Influência da temperatura do ar de secagem e da utilização do ácido etilenodiaminotetracético na qualidade do óleo e caracterização do fruto de macaúba**. 2013. 108 f.Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.
- CETEC - FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Programa Energia. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Relatório final**. Belo Horizonte: 153 p. 1983.
- CETEC, F. C. T. D. M. G. **Programa Energia. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Relatório final**. Belo Horizonte, p.152. 1983
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Esal/Faepe Lavras, 1990.
- CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. (Ed.). **Storage of cereal grain and their products**ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p. 158-192.
- CICONINI, G.; FAVARO, S.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C.; TAPETI, C.; MIYAHIRA, M.; BEARARI, L.; GALVANI, F.; BORSATO, A.; COLNAGO, L. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**,v. 45, p. 208-214, 2013.
- COELHO, A. Qualidade pós-colheita de pêssegos. **Informe Agropecuário**,v. 17, n. 180, p. 31-39, 1994.
- 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, p. C1156-C1161, 2011.

CONESA, J. A.; CABALLERO, J.; MARCILLA, A.; FONT, R. Analysis of different kinetic models in the dynamic pyrolysis of cellulose. **Thermochemica Acta**,v. 254, p. 175-192, 1995.

COPPIN, E. A.; PIKE, O. A. Oil stability index correlated with sensory determination of oxidative stability in light-exposed soybean oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**,v. 78, n. 1, p. 13-18, 2001.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. **The oil palm**. John Wiley & Sons, 2008.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. **Biomassa para energia**. Unicamp, 2008.

CRISSIA FERNANDA TAPETI DE SOUZA. **Desenvolvimento, maturação e sistemas de colheita de frutos da macaúba (Acrocomia aculeata )**. 2013. 77 f.Mestrado) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2013.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**,v. 32, n. 3, p. 776-792, 2009.

DE LANES, É. C. M.; DE ALMEIDA COSTA, P. M.; MOTOIKE, S. Y. Alternative fuels: Brazil promotes aviation biofuels. **Nature**,v. 511, n. 7507, p. 31-31, 2014.

DEMIRBAS, A. Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. **Energy Conversion and Management**,v. 52, n. 2, p. 1280-1287, 2011.

DO VALE, A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DE SIQUEIRA DANTAS, V. F. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**,v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.

DORADO, M.; ARNAL, J.; GÓMEZ, J.; GIL, A.; LOPEZ, F. The effect of a waste vegetable oil blend with diesel fuel on engine performance. **Transactions of the ASAE**,v. 45, n. 3, p. 519-523, 2002.

EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; SEYBOTH, K.; MATSCHOSS, P.; KADNER, S. **IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation**. Cambridge University Cambridge, UK. 2011

EPE -EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional (BEN)**. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Rio de Janeiro-RJ, Brasil. 2013

ERRAMPALLI, D.; BRUBACHER, N. R.; DEELL, J. R. Sensitivity of *Penicillium expansum* to diphenylamine and thiabendazole and postharvest control of blue mold with fludioxonil in 'McIntosh' apples. **Postharvest biology and technology**,v. 39, n. 1, p. 101-107, 2006.

FAOSTAT, F. **FAOSTAT Database** 2013.

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

FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, L. Global bioenergy potentials through 2050. **Biomass and Bioenergy**,v. 20, n. 3, p. 151-159, 2001.

FRANCK, J.; LATORRE, B.; TORRES, R.; ZOFFOLI, J. The effect of preharvest fungicide and postharvest sulfur dioxide use on postharvest decay of table grapes caused by *Penicillium expansum*. **Postharvest biology and technology**,v. 37, n. 1, p. 20-30, 2005.

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

GIL, M.; OULEGO, P.; CASAL, M.; PEVIDA, C.; PIS, J.; RUBIERA, F. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends. **Bioresource technology**,v. 101, n. 22, p. 8859-8867, 2010.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a Sustainable Energy Future. **Science**,v. 315, p. 808-810, 2007.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: WILEY-INTERSCIENCE (Ed.). **Lignins K. V. Sarkanen and C. H. Ludwig** ed. New York, 1971. p. 241–266.

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

GOULART, S. D. M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel**. 2014. 66 f.Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

GULLINO, M. L. Lotta biologica a funghi agenti di marciumi della frutta in post-raccolta. **Informatore Fitopatologico**, 1994.

HILL, S. E. A comparison of modern instruments for the analysis of the oxidation stability of fats, oils and foods. **Inform**,v. 5, n. 1, p. 104-109, 1994.

HIOL, A.; JONZO, M. D.; RUGANI, N.; DRUET, D.; SARDA, L.; COMEAU, L. C. Purification and characterization of an extracellular lipase from a thermophilic *Rhizopus oryzae* strain isolated from palm fruit. **Enzyme and Microbial Technology**,v. 26, n. 5, p. 421-430, 2000.

IPCC -INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC Fifth Assessment Report**. UN - WMO. Geneva, Switzerland, p.116. 2014

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10565 Oilseeds—Simultaneous Determination of Oil and Moisture Contents—Method Using Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry**. Geneva, Switzerland 1999.

LAMERS, P.; JUNGINGER, M.; HAMELINCK, C.; FAAIJ, A. Developments in international solid biofuel trade—An analysis of volumes, policies, and market factors. **Renewable and sustainable energy reviews**,v. 16, n. 5, p. 3176-3199, 2012.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**,v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; PIMENTEL, L. D.; VANESSA, Q. A. Y.; SATOI, A. Y. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. **Ciência Rural**,v. 41, n. 1, p. 70-76, 2011.

MANFIO, C. E.; RESENDE, M. D. V. D.; SANTOS, C. E. M. D.; MOTOIKE, S. Y.; LANZA, M. A.; PAES, J. M. V. Melhoramento genético da Macaúba. **Informe Agropecuário**,v. 32, p. 32-40, 2011.

MARTINS, A. D. **Uso da radiação gama e secagem para a conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba**. 2013. 83 f.Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

MEHER, L.; VIDYA SAGAR, D.; NAIK, S. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. **Renewable and sustainable energy reviews**,v. 10, n. 3, p. 248-268, 2006.

MOHANKUMAR, C.; ARUMUGHAN, C. Histological localization of oil palm fruit lipase. **Journal of the American Oil Chemists' Society**,v. 67, n. 10, p. 665-669, 1990.

MONTOYA, S. G. **Caracterização do desenvolvimento do fruto da palmeira macaúba**. 2013. 62 f.Mestrado) - UFV, Viçosa, 2013.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. Varela, 1998.

MOTOIKE, S.; KUKI, K. The Potential of Macaw Palm (*Acrocomia aculeate*) as Source of Biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering-Rapid Communications**,v. 1, n. 6, 2009.

MOTOIKE SY; CARVALHO M; PIMENTEL LD; KUKI KN; PAES JMV; DIAS HCT; SATO AY A. **A cultura da Macaúba: Implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa, Brazil: 2013.

MOTTA, P. D.; CURI, N.; OLIVEIRA-FILHO, A. D.; GOMES, J. B. V. Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,v. 37, n. 7, p. 1023-1031, 2002.

MOTTA, P. E. F. D.; CURI, N.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. D.; GOMES, J. B. V. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**,v. 37, n. 7, p. 1023-1031, 2002.

NAIK, S.; GOUD, V. V.; ROUT, P. K.; JACOBSON, K.; DALAI, A. K. Characterization of Canadian biomass for alternative renewable biofuel. **Renewable energy**,v. 35, n. 8, p. 1624-1631, 2010.

NEVES, T. A.; DE PAULA PROTÁSIO, T.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de Eucalyptus em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**,v. 31, n. 68, p. 319, 2011.

NREL. **Chemical Analysis and Testing Laboratory Analytical Procedures (CAT). National Renewable Energy Laboratory**. Golden, CO 2004.

PAULA, L. E. D. R. E.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**,v. 17, n. 2, p. 237, 2011.

PIMENTEL, L.; MANFIO, C.; MOTOIKE, S.; PAES, J.; BRUCKNER, C. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. In. **Macaúba: potencial e sustentabilidade para o biodiesel**. ed. Belo Horizonte, MG, 2011. p. 20-30.

PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; TEIXEIRA, C. M.; MOTOIKE, S. Y.; NETO, J. C. P. **Recomendação de adubação e calagem para o cultivo da macaúba: 1 aproximação**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte. 32: 20-30 p. 2011.

PINTO, A. C.; GUARIEIRO, L. L.; REZENDE, M. J.; RIBEIRO, N. M.; TORRES, E. A.; LOPES, W. A.; PEREIRA, P. A. D. P.; ANDRADE, J. B. D. Biodiesel: an overview. **Journal of the Brazilian Chemical Society**,v. 16, n. 6B, p. 1313-1330, 2005.

PIRES, T. P.; DOS SANTOS SOUZA, E.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**,v. 44, p. 200-210, 2013.

PROTÁSIO, T. D. P.; NEVES, T. A.; DOS REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de Eucalyptus spp visando à produção de bioenergia. **Ciência Florestal**,v. 24, n. 2, p. 465-477, 2014.

R -DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. **R Foundation for Statistical Computing**,: Vienna, Austria 2008.

RAMOS, M. I. L.; RAMOS FILHO, M. M.; HIANE, P. A.; BRAGA NETO, J. A.; SIQUEIRA, E. D. A. Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**,v. 28, p. 90-94, 2008.

RAO, C. R. **Advanced statistical methods in biometric research**. John Wiley, New York: 1952. 390 p.

REIS, S. B.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; RIBEIRO, L. M. Pericarp development in the macaw palm *Acrocomia aculeata* (Arecaceae). **Rodriguésia**,v. 63, n. 3, p. 541-549, 2012.

RIBEIRO, R. M.; DIAS, L. A. D. S.; BERGER, P. G.; DIAS, D. C. F. D. S. **AGROENERGIA na mitigação das mudanças climáticas globais, na segurança energética e na produção social** 2011.

SAIDUR, R.; ABDELAZIZ, E.; DEMIRBAS, A.; HOSSAIN, M.; MEKHILEF, S. A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and sustainable energy reviews**,v. 15, n. 5, p. 2262-2289, 2011.

SANTELLI, C.; CALBO, P.; CALBO, A. G. Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira *Mauritia vinifera* Mart.(Arecaceae). **Acta Botanica Brasilica**,v. 23, n. 3, p. 697-702, 2009.

SANTELLI, P.; CALBO, M. E. R.; CALBO, A. G. Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira *Syagrus oleracea* (Mart.) Becc.(Arecaceae). **Acta Botanica Brasilica**,v. 20, p. 523-528, 2006.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol-Tecnologias e Perspectivas**: UFV: Viçosa, Brazil 2011.

SANTOS, R.; CARNEIRO, A.; CASTRO, A.; CASTRO, R.; BIANCHE, J.; SOUZA, M.; CARDOSO, M. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis, Piracicaba**,v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SCARIOT, A.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Flowering and fruiting phenologies of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. **Biotropica**, p. 168-173, 1995.

SCARIOT, A. O.; LLERAS, E. Reproductive Biology of the Palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**,v. 23, n. 1, p. 12-22, 1991.

SCARIOT, A. O.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Reproductive biology of the palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**, p. 12-22, 1991.

SERRANO, M.; PRETEL, M.; BOTELLA, M.; AMOROS, A. Physicochemical changes during date ripening related to ethylene production. **Food science and technology international**,v. 7, n. 1, p. 31-36, 2001.

SILVA, J.; NOGUEIRA, R.; MAGALHÃES, E. Secagem em silos—Uma opção para o café. **Viçosa—MG: UFV/DEA**, 2008.

SILVA, J. D. C.; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados à madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. **Ipef**,v. 34, p. 31-34, 1986.

SIMSON, S. P. **Post-harvest technology of horticultural crops**. Oxford Book Company, 2010.

SMILANICK, J. L.; MANSOUR, M. F.; GABLER, F. M.; SORENSON, D. Control of citrus postharvest green mold and sour rot by potassium sorbate combined with heat and fungicides. **Postharvest biology and technology**, v. 47, n. 2, p. 226-238, 2008.

SOCIETY, A. O. C. **Official methods of Analysis of the Association Analytical Chemists**. Gaithersburg.

TAGOE, S.; DICKINSON, M.; APETORGBOR, M. Factors influencing quality of palm oil produced at the cottage industry level in Ghana. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 1, p. 271-278, 2012.

TAN, C.; CHE MAN, Y.; SELAMAT, J.; YUSOFF, M. Comparative studies of oxidative stability of edible oils by differential scanning calorimetry and oxidative stability index methods. **Food Chemistry**, v. 76, n. 3, p. 385-389, 2002.

TAPPI-TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 222 om – 98, Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Atlanta, USA 1998.

TILLMAN, D. A. Biomass cofiring: the technology, the experience, the combustion consequences. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, n. 6, p. 365-384, 2000.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal. **Cerne, Lavras, MG**, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

USLU, A.; FAAIJ, A. P.; BERGMAN, P. Pre-treatment technologies, and their effect on international bioenergy supply chain logistics. Techno-economic evaluation of torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation. **Energy**, v. 33, n. 8, p. 1206-1223, 2008.

VAN GERPEN, J.; SHANKS, B.; PRUSZKO, R.; CLEMENTS, D.; KNOTHE, G. Biodiesel analytical methods. **National Renewable Energy Laboratory, Colorado**, p. 37-47, 2004.

VILAS BOAS, M.; CARNEIRO, A.; VITAL, B.; CARVALHO, A.; MARTINS, M. Efeito da temperatura de carbonização e dos resíduos de macaúba na produção de carvão vegetal. **Scientia Forestalis, Piracicaba**, v. 38, n. 87, p. 481-490, 2010.

VITAL, B. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Viçosa, MG: SIF**, 1984.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, n. 12, p. 1781-1788, 2007.

### 3 CONCLUSÃO GERAL

Com o crescimento do uso de biocombustíveis, faz-se necessário buscar novas espécies que tenham alto rendimento e qualidade da matéria-prima para garantir a sustentabilidade na produção dos biocombustíveis. A palmeira macaúba é uma espécie que agrega diversos fatores positivos para sua utilização como cultura energética. Os resultados encontrados neste trabalho contribuem para o desenvolvimento dos primeiros sistemas de conservação dos frutos de macaúba, visando à manutenção da qualidade do óleo com baixo investimento inicial e baixo custo operacional, uma vez conhecida a baixa qualidade que os frutos apresentam nos modelos atuais de coleta e conservação. Além disto, os métodos empregados não inibem o acúmulo natural do óleo na polpa após sua coleta, o que se torna uma importante estratégia para a indústria alcançar altos níveis de produtividade.

Em relação aos coprodutos após o processamento dos frutos para a obtenção de óleos, este estudo mostra que todos eles apresentam características físicas e químicas iguais e/ou superiores a alguns resíduos agrícolas e florestais comumente utilizados como matéria-prima para a produção de biocombustíveis. O coproduto endocarpo apresenta alta densidade energética, elevados teores de lignina, carbono fixo e baixo teor de cinzas, o que confere vantagens adicionais em sua utilização para a produção de biocombustíveis sólidos. Avaliando o potencial na geração de energia, a produtividade estimada da energia primária dos coprodutos do processamento dos frutos da macaúba no cenário 2 ultrapassa a energia primária de coprodutos como o bagaço de cana-de-açúcar, muito utilizado para a produção de energia elétrica.

Por fim, este trabalho demonstra que a palmeira macaúba é uma espécie energética com grande potencial de uso como matéria-prima para a produção de biocombustíveis e que técnicas pós-colheita empregadas nos frutos aumentam o período do seu armazenamento quando eles são destinados à utilização do óleo do mesocarpo como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel.