

Armazenamento e processamento da macaúba

Contribuições para manutenção da qualidade e
aumento do rendimento de óleo da polpa



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroenergia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
16**

Armazenamento e processamento da macaúba

**Contribuições para manutenção da qualidade
e aumento do rendimento de óleo da polpa**

*Simone Palma Favaro
Alexandre Nunes Cardoso
Emerson Léo Schultz
Leo Duc Haa Carson Schwartzhaupt da Conceição
Wesley Gabriel de Oliveira Leal
Anna Letícia Montenegro Turtelli Pighinelli
Blenda Rodrigues da Silva
Rennan Gladson Sousa da Cruz*

***Embrapa Agroenergia
Brasília, DF
2018***

Embrapa Agroenergia
Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº
Ed. Embrapa Agroenergia
Caixa Postal 40315
CEP 70770-901, Brasília, DF
Fone: +55 (61) 3448-1581
Fax: +55 (61) 3448-1589
www.embrapa.br/agroenergia
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroenergia

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Agroenergia

Presidente
Alexandre Alonso Alves

Secretária-Executiva
Lorena Costa Garcia Calsing

Membros
Adilson Kenji Kobayashi
André Pereira Leão
Dasciana de Sousa Rodrigues
Emerson Léo Schultz
Felipe Brandão de Paiva Carvalho
Maria Iara Pereira Machado
Thais Fabiana Chan Salum
Wesley Gabriel de Oliveira Leal

Supervisão editorial e revisão de texto
Luciane Chedid Melo Borges

Normalização bibliográfica
Maria Iara Pereira Machado

Tratamento das ilustrações e
editoração eletrônica
Maria Goreti Braga dos Santos

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa
Simone Palma Favaro e Vivian Chies

1ª edição
Publicação digitalizada (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroenergia

Armazenamento e processamento da macaúba: contribuições para manutenção
da qualidade e aumento do rendimento de óleo da polpa / autores, Simone
Palma Favaro ... [et al.]. – Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2018.

38 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agroenergia,
ISSN 2177-0395 ; 16).

Disponível em: <http://www.embrapa.br/agroenergia/publicacoes>

1. *Acrocomia* spp. 2. Pós-colheita. 3. Prensagem. 4. Acidez. 5. Oxidação. 6.
Óleo vegetal. I. Favaro, Simone Palma. II. Série.

631.52 – CDD 22.

Sumário

Resumo.5

Abstract.7

Introdução.....8

Material e Métodos10

Resultados e Discussão19

Conclusões.....34

Agradecimentos.....35

Referências35

Armazenamento e processamento da macaúba

Contribuições para manutenção da qualidade e aumento do rendimento de óleo da polpa

Simone Palma Favaro¹

Alexandre Nunes Cardoso²

Emerson Léo Schultz³

Leo Duc Haa Carson Schwartzhaupt da Conceição⁴

Wesley Gabriel de Oliveira Leal⁵

Anna Letícia Montenegro Turtelli Pighinelli⁶

Blenda Rodrigues da Silva⁷

Rennan Gladson Sousa da Cruz⁸

Resumo – A macaúba é uma palmeira nativa do Brasil com grande potencial, especialmente para a produção de óleos vegetais, além de coprodutos que podem ser destinados para biocombustíveis ou outros segmentos industriais. Tecnologias apropriadas de colheita e pós-colheita desses frutos ainda são gargalos para o estabelecimento de cadeias produtivas sustentáveis e competitivas. Neste relato, apresentam-se estudos realizados com vistas a gerar soluções para o armazenamento da macaúba que resultem em bom rendimento e boa qualidade de óleo. Foram conduzidas duas etapas sequenciais de experimentos, as quais demonstram que há potencial para ganho em rendimento de óleo de polpa quando se mantêm os frutos após a colheita sob ventilação forçada, em temperatura ambiente, devido à síntese de óleo na pós-colheita. No entanto, esses ganhos podem ser limitados pelo aumento da acidez do óleo de polpa dos frutos frescos. Armazenamento por um período

¹ Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

³ Engenheiro químico, doutor em Engenharia Química, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

⁵ Químico, mestre em Química, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

⁶ Engenheira agrícola, doutora em Engenharia Agrícola, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

⁷ Graduanda em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

⁸ Graduando em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

de até 10 dias, seguido de secagem rápida, resulta em óleo com qualidade adequada.

Termos para indexação: *Acrocomia* spp., pós-colheita, prensagem, acidez, oxidação, óleo vegetal.

Storage and processing of macauba

Contributions to maintaining quality and increasing pulp oil yield

Abstract – Macauba is a palm native to Brazil with great potential, especially for the production of vegetable oils, in the same way as other products and co-products for the production of biofuels, among other industrial sectors. Suitable technologies for collecting and post-harvesting those fruits are still bottlenecks for the establishment of sustainable and competitive production chains. In this report, studies are presented towards the establishment of solutions for the storage of macauba that result in good yield and oil quality. Two sequential stages of experiments were conducted. It was demonstrated that there is potential for gain in pulp oil yield when fruits are maintained, after recollection, under forced ventilation, at room temperature, due to post-harvest oil synthesis. However, these gains may be limited by the increase in the acidity of the fresh fruit pulp oil. Storage for up to 10 days, followed by rapid drying, results in oil of suitable quality.

Index terms: *Acrocomia* spp., post-harvest, pressing, free fatty acid, oxidation, vegetable oil.

Introdução

As políticas públicas voltadas para a produção e uso de biodiesel no Brasil (Brasil, 2005), aliadas ao aumento constante da demanda dos mercados de alimentos e oleoquímicos (Levermann, 2014), estão criando oportunidades para se diversificar a matriz fornecedora de óleos vegetais no País, aproveitando-se as condições ecológicas dos diferentes espaços produtivos e a grande variedade de fontes nativas competitivas para tal. Considerando que a soja é a principal fonte de óleo vegetal no Brasil, correspondendo a quase 80% da produção total (Amaral, 2016), e que seu rendimento em óleo está em torno de 500 kg/ha, é premente a busca por espécies com maior produção de óleo por área e que conjuguem as necessidades de sistemas de produção sustentáveis. As palmeiras são, por sua natureza, fontes de óleos vegetais. Não à toa o dendê, ou palma de óleo (*Elaeis guineenses*), espécie do continente africano, é hoje a principal espécie cultivada para fornecimento de óleo vegetal, provendo ao redor de 40% do consumo mundial, com produtividade estimada em 4.000 kg de óleo/ha. A soja vem em seguida, suprimindo 28% do total de óleo comercializado (Estados Unidos, 2016). No Brasil, a expansão da palma de óleo, que representa 4% do total de óleo produzido no País (Estados Unidos, 2016), está restrita principalmente à região amazônica e a áreas do Recôncavo Baiano de acordo com o Zoneamento Agroecológico (ZAE) para a espécie (Brasil, 2010). Entretanto, há grande diversidade de palmeiras nativas no País, com representantes em todos os seus biomas.

É neste quadro que ressurgiu o interesse por domesticar e produzir em escala comercial a palmeira do gênero *Acrocomia*, conhecida como macaúba na região central do Brasil (Minas Gerais, Goiás e Tocantins); macaíba no Nordeste; ou, ainda, bocaiúva nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, dentre outras várias denominações intrarregionais. Apesar das divergências em relação à classificação botânica devido às variações fenotípicas, estes nomes comuns parecem estar associados às espécies *A. aculeata*, *A. intumescens* e *A. totai* e *A. corumbaensis* (Lima et al., 2018), respectivamente. Os rendimentos em óleo da macaúba, previstos com base em avaliações de plantas nativas, indicam a possibilidade de que, em áreas de cultivo organizado, se alcancem valores próximos ou até mesmo superiores aos do óleo de palma (Pires et al., 2013; Motoike; Kuki, 2009). Além do alto rendimento em óleo, a macaúba agrega outros requisitos para o desenvolvimento sus-

tentável, destacando-se: o uso integral dos coprodutos como fonte de cogeração de energia, ou produtos de alto valor agregado, como carvões ativados (Evaristo et al., 2016a); o balanço de energia favorável e reduzida emissão de gases de efeito estufa em sistemas de cultivo organizado, como demonstrado por Análise de Ciclo de Vida (Coppel et al., 2018); e aptidão para os sistemas de produção em Integração Lavoura Pecuária Floresta (Da Conceição et al., 2015).

A polpa da macaúba concentra cerca de 85% do total do óleo produzido no fruto, sendo o restante encontrado na amêndoa (Andrade et al., 2006). O óleo de polpa contém elevada proporção de ácido oleico e pequena fração de ácidos graxos insaturados (Nunes et al., 2015), com predominância de diglicerídeos (Del Río et al., 2016). Estas características conferem boa estabilidade oxidativa ao óleo de polpa da macaúba. Apesar da excelente qualidade intrínseca do óleo de polpa da macaúba (Ciconini, 2012; Nunes et al., 2015), a acidificação decorrente de manejo inadequado nas etapas de colheita e pós-colheita (Evaristo et al., 2016b) tem sido um importante gargalo para a sua comercialização. Os frutos de macaúba caracterizam-se por serem climatéricos (Goulart, 2014), apresentando incremento no teor de óleo de polpa após a abscisão (Tapeti et al., 2013b; Goulart, 2014). Desta forma, é possível que a manutenção dos frutos por um determinado período após a colheita, sob condições controladas, resulte em ganhos no rendimento de óleo. No entanto, a elevada umidade da polpa permite a ocorrência de reações de degradação bioquímicas e químicas que podem comprometer a qualidade do óleo durante o armazenamento. A extração de óleo também é um processo que pode ser afetado pelo alto teor de água na polpa. A polpa de frutos frescos de macaúba apresenta-se viscosa e com muita adesividade devido aos carboidratos mucilaginosos dissolvidos na fração aquosa. Desta forma, não é possível se fazer a extração contínua do óleo em prensas helicoidais a partir do fruto recém-colhido. A prática corrente é armazenar os frutos até que a umidade seja reduzida ao ponto de permitir o despulpamento e prensagem. Porém, as condições inadequadas normalmente associadas a este tipo de armazenamento resultam em óleo com acidez muito acima dos limites aceitáveis para comercialização nos mercados de biocombustíveis e alimentos. Portanto, estes aspectos bioquímicos intrínsecos da macaúba resultam em desafios que podem ser superados com o estabelecimento de boas práticas de colheita e pós-colheita.

Neste trabalho são discutidos resultados parciais de estudos relacionados às etapas de colheita e pós-colheita dos frutos de macaúba. Esses estudos foram conduzidos com o objetivo de delimitar-se uma estratégia de processamento do fruto que possibilite otimizar-se o rendimento de óleo, com preservação da sua boa qualidade natural; discutir-se a possibilidade de armazenamento por períodos mais prolongados, como estratégia para que a logística de processamento possa acontecer ao longo de todo o ano e não apenas na safra; e, ainda, que assegure a qualidade dos coprodutos para uso em nutrição humana ou animal.

Para tanto, foram realizados experimentos de armazenamento de frutos e extração mecânica do óleo de polpa em duas fases. Inicialmente, buscou-se aproveitar a característica fisiológica do fruto em continuar acumulando óleo na fase de pós-colheita para processamento sequencial dos frutos por despolpamento mecanizado e extração do óleo em extratora helicoidal, em condições controladas de temperatura e ventilação. A ventilação pode melhorar a transferência de massa ao redor dos frutos, o que auxiliaria na redução da umidade dos mesmos, dificultando a multiplicação microbiana que parece ser a principal causa da acidificação do óleo (Cavalcanti-Oliveira et al., 2015). Em seguida, buscou-se desenvolver um sistema de baixo custo e baixo consumo de energia para o início do escalonamento dessa prática pós-colheita.

Material e Métodos

As duas etapas do trabalho podem ser assim descritas: no primeiro ano foram avaliados os efeitos do armazenamento com ventilação forçada e temperatura controlada em estufa no rendimento de óleo de polpa e sua qualidade (Experimento 1). No segundo ano, com base nos resultados do primeiro experimento, realizaram-se ensaios em protótipo de sistema de armazenamento aberto e ventilação forçada com vistas a escalonar o processo (Experimento 2).

Experimento 1

Os frutos utilizados no Experimento 1 foram coletados no Banco Ativo de Germoplasma de macaúba da Embrapa Cerrados (Planaltina, DF), que está no oitavo ano de desenvolvimento após o plantio das mudas (Figura 1).

Foto: Léo C. S. da Conceição.



Figura 1. Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados (Planaltina, DF).

Os cachos foram envoltos por sacos feitos com sombrite para coletar os frutos após abscisão (Figura 2), garantindo a coleta daqueles com plena maturação. A cada três dias, os frutos foram coletados dos diferentes acessos e misturados para promover maior homogeneidade de amostra. Foram acondicionados em caixas de polietileno vazadas, cada uma contendo em média 10 kg de frutos, e armazenados em estufa com circulação de ar (Marca SP Labor, Modelo SP-102/2000) a 28 °C. A posição das caixas foi frequentemente alterada dentro da estufa, buscando reduzir-se a interferência da variação no fluxo de ar.

Foto: Alexandre Nunes Cardoso.



Figura 2. Aparato para coleta de frutos de macaúba.

Aos 6, 14, 28, 35, 42 e 49 dias após a colheita, fez-se amostragem dos frutos armazenados na estufa. Em cada um destes tempos, foram determinados o balanço de massas das frações do fruto despulpado mecanicamente, o teor de óleo na polpa, a eficiência da extração de óleo por prensagem, bem como os parâmetros de qualidade do óleo extraído.

A separação das partes do fruto foi efetuada em despulpadora mecânica, marca RM Ltda., com capacidade para bateladas de 3 kg de fruto (Figura 3). Após ensaios para identificação da frequência ideal de funcionamento, verificou-se que a casca pode ser separada nos primeiros 30 a 60 segundos do processo, seguida da retirada da polpa após 3 a 6 minutos de funcionamento, dependendo da umidade do fruto. Consegue-se melhor desempenho com frutos de umidade reduzida, muito embora possam ser despulpados frutos frescos. Neste caso, porém, a operação é mais laboriosa, pois é necessário remover-se a polpa que fica aderida ao equipamento.

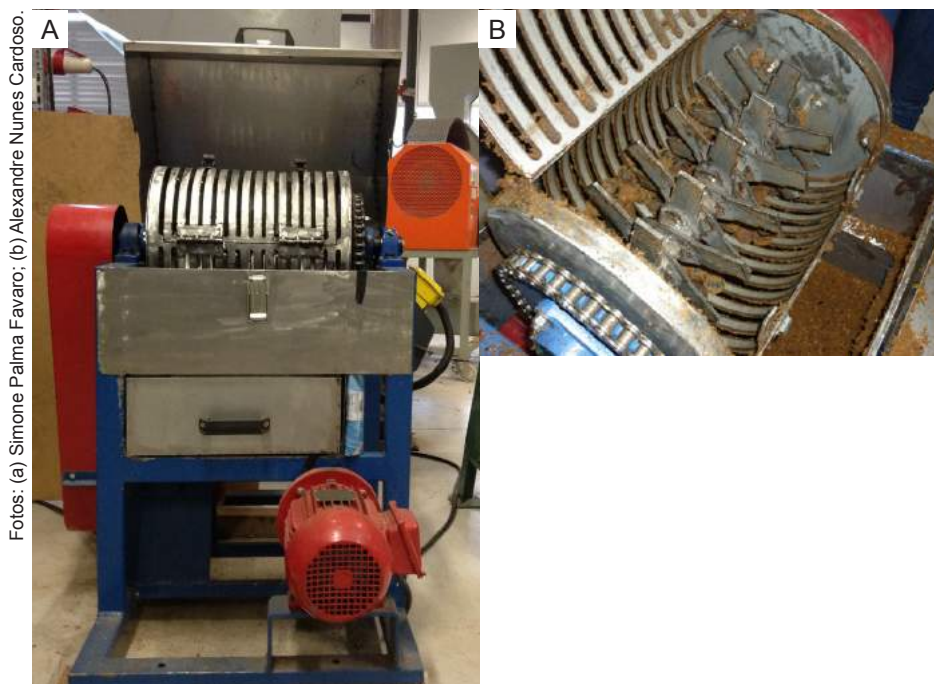


Figura 3. Despolpadora mecânica para frutos de macaúba. (a) vista geral, (b) câmara de despolpamento.

No processamento foram obtidas três frações do fruto: epicarpo (casca), mesocarpo (polpa) e endocarpo + amêndoa (Figura 4), as quais foram coletadas separadamente e pesadas imediatamente após o despolpamento para cálculo do balanço de massa. Considerou-se como a recuperação de massa o somatório das massas das frações obtidas após o despolpamento.



Figura 4. Frações do fruto de macaúba. a) casca, b) polpa, c) endocarpo + amêndoa.

Determinou-se a umidade das amostras de casca e polpa em analisador termogravimétrico – TGA701 (marca Leco). A Atividade de Água (a_w) da polpa e das tortas foi determinada em analisador portátil (Decagon Pawkit). O uso de a_w se deve à sua relevância no controle de qualidade de matéria-primas e produtos acabados. Deve se considerar que a água é um fator primordial para a conservação da biomassa, mas aquela contida na massa total, usualmente expressa como porcentagem da massa total, não reflete adequadamente o comportamento que um dado material possa apresentar frente às alterações decorrentes de reações químicas e enzimáticas endógenas, nem àquelas advindas da flora microbiana potencialmente associada. Isto se deve ao fato de a água poder estar tanto livre como ligada a compostos do meio onde se encontra, resultando em maior ou menor grau de disponibilidade para reações bioquímicas e químicas e para a multiplicação microbiana. A a_w representa a forma de qualificação dessa disponibilidade, sendo variável entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior será a susceptibilidade aos fatores que podem trazer alterações indesejáveis à qualidade e segurança das biomassas (Gava et al., 2008). Por esta razão, a a_w foi determinada na polpa como critério para assegurar boa qualidade do óleo extraído, e na torta, vislumbrando-se a utilização deste coproduto como ingrediente para ração animal ou em produtos para alimentação humana.

A extração do óleo da polpa foi realizada em prensa do tipo helicoidal (expeller), marca SCOTT TECH, Modelo SEM 610-GERT 60II (Figura 5). A biomassa foi passada três vezes na prensa. O óleo obtido foi filtrado e armazenado em frascos âmbar a 8 °C até o momento das análises. As polpas e tortas foram armazenadas a -18 °C para a determinação do teor de óleo pelo método Ankon (American Oil Chemists' Society, 2005) (método Am 5-04). A eficiência de extração do óleo foi obtida pela diferença entre o teor de óleo na polpa e o teor remanescente na torta, calculados em base seca. Devido à alta umidade na polpa dos frutos armazenados pelos seis dias iniciais, não foi possível extrair o óleo por prensagem nesta amostra. Neste caso, a polpa foi liofilizada e a extração do óleo se deu com éter de petróleo em condições de refluxo e, portanto, não se tem a estimativa da eficiência de extração por prensagem.

Os óleos de polpa de cada tratamento foram caracterizados quanto ao Índice de Acidez (Método Ca5a-40 – American Oil Chemists' Society, 2005) expressa como teor de ácidos graxos livres em % de ácido oleico; Índice

Foto: Simone Palma Favaro.



Figura 5. Prensa tipo helicoidal utilizada no estudo.

de Peróxidos (Método Ca5a-40 – American Oil Chemists' Society, 2005); Absortividade Molar a 232 nm (K232) e 270 nm (k270), (Método Ch5-91 – American Oil Chemists' Society, 2005) e teor de Carotenoides Totais (Rodriguez-Amaya & Kimura, 2004). A acidez indica a hidrólise da molécula do triacilglicerol, que é a base da composição dos óleos vegetais. O Índice de Peróxidos e as absortividades molares são parâmetros que indicam o desenvolvimento de oxidação nos óleos. K232 representa a oxidação primária, e K270 estágios mais avançados de oxidação (Blasi et al., 2018; Endo, 2018; Shahidi, 2005). Os carotenoides são os pigmentos responsáveis pela coloração alaranjada e, além de serem precursores de vitamina A, têm um papel fundamental na estabilidade do óleo bruto, pois tem atividade antioxidante.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições para cada tempo de armazenamento.

Experimento 2

Buscou-se no Experimento 2 determinar o período ao longo do qual a acidez desenvolvida no óleo não excede o limite estabelecido pelas normas vigentes e ainda possibilita incrementos no teor de óleo.

Após o período de armazenagem sob ventilação, os frutos foram submetidos à secagem controlada, de forma que a atividade de água desejada fosse atingida rapidamente. Com isto, buscou-se estabilizar o fruto para que as reações de deterioração fossem reduzidas, permitindo armazenamento posterior dos mesmos e das tortas, além de agilizar o processo de despulpamento e de extração do óleo.

Os frutos foram obtidos de experimento de sistema de produção de macaúba em área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. Redes de sombrite foram mantidas próximas ao chão para aparar os frutos caídos, impedindo seu contato direto com o solo. Em intervalos aproximados de 3 dias, os frutos do talhão eram recolhidos e misturados entre si, visando à redução do impacto da variabilidade fenotípica entre os materiais amostrados.

O protótipo de sistema de armazenamento foi idealizado buscando-se atender dois quesitos: baixo custo e baixo consumo de energia. É um sistema simples, como pode ser visto na Figura 6. Basicamente, é uma caixa montada com telas metálicas, num sistema basculante, para facilitar a retirada dos frutos. Acoplado em paralelo, tem-se um exaustor axial comercial (marca Ventisol, potência de 140 W), por meio de uma mangueira flexível, que finaliza em canos de PVC perfurados, para fazer a distribuição do ar no interior do sistema. A velocidade de saída do ar das mangueiras de conexão foi 7,6 m/s. O tratamento controle consistiu de avaliação simultânea nas mesmas condições, porém sem aeração.



Figura 6. Vista lateral (a) e superior (b) do protótipo de sistema de armazenamento em condições de temperatura ambiente e ventilação forçada.

O protótipo tinha capacidade para 500 kg de frutos. No entanto, os ensaios foram realizados com metade desta capacidade, em função do montante disponível de frutos maduros para conduzir simultaneamente o tratamento com aeração e o controle. Os frutos foram acondicionados no protótipo e a ventilação foi mantida continuamente, com temperatura ambiente entre 19,1 °C e 23,0 °C e umidade relativa do ar entre 72% e 84%. As perfurações nos canos de PVC acima do nível dos frutos foram vedadas para que todo o ar fosse dispersado apenas entre a massa de frutos (Figura 6). As avaliações foram feitas no dia de início do ensaio de armazenamento (tempo 0), aos 3 e 10 dias, amostrando-se frutos de diferentes posições no interior do protótipo.

Na sequência, os frutos foram descascados usando-se a despulpadora de macaúba descrita no experimento 1. A secagem foi realizada em secador rotativo (Scott Tech ERT 60 II) de acordo com o seguinte procedimento: (i) o secador foi ligado e o “set point” do controlador de temperatura do ar de secagem ajustado em 130 °C; (ii) quando a temperatura atingiu entre 120 °C e 125 °C, os frutos de macaúba descascados foram colocados no secador, o que ocasionou uma diminuição na temperatura do ar de secagem para cerca de 60 °C, pois os frutos estavam na temperatura ambiente; (iii) quando a temperatura do ar de secagem atingiu 100 °C, o “set point” do controlador de temperatura do ar de secagem foi ajustado para 100 °C, mantendo-se a temperatura do ar de secagem em torno desse valor; (iv) após 4 h de secagem, o “set point” do controlador de temperatura do ar de secagem foi ajustado para 85 °C, temperatura mantida pelo restante do tempo de secagem; (v) após 7 horas de secagem, os frutos de macaúba foram retirados do secador. A opção por usar uma faixa de temperatura mais alta do que a usualmente praticada, ao redor de 60 °C, deve-se à inadequação desta temperatura em prevenir a acidificação do óleo de polpa de macaúba (Favaro et al., 2017).

Na Figura 7, é mostrada a temperatura do ar de secagem, incluindo o “set point” do controlador de temperatura. O tempo de secagem foi definido com base em ensaios preliminares para se atingir a_w menor do que 0,7. Este valor é considerado adequado para controlar a multiplicação de microrganismos patogênicos ou produtores de micotoxinas, bem como impedir a ocorrência de reações químicas e bioquímicas de degradação (Hardman, 1987; Codex Alimentarius, 1999; Barbosa-Cánovas et al., 2007; Matter, 2011)

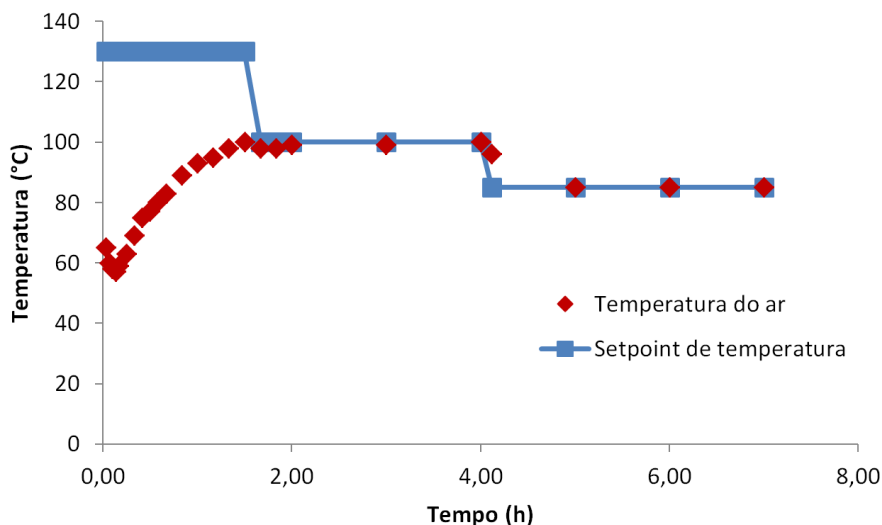


Figura 7. Variação da temperatura do ar de secagem e o valor do “set point” do controlador de temperatura durante a secagem dos frutos no secador rotativo.

Os frutos secos foram despulpados na despulpadora descrita no Experimento 1. A polpa dos frutos frescos (tempo 0) foi liofilizada. O óleo de polpa, tanto dos frutos frescos liofilizados quanto daqueles secos em secador rotativo, foi extraído com hexano em refluxo. Não foram realizados ensaios para extração do óleo por prensagem neste experimento. Nas polpas determinaram-se a umidade e a atividade de água. No óleo, foram determinados o Índice de Acidez, Índice de Peróxidos e Absortividade Molar a 232 e 270, seguindo-se metodologia descrita no Experimento 1.

O delineamento experimental foi totalmente casualizado, com três repetições. Foram consideradas como parcelas as amostras dispostas aleatoriamente no protótipo.

Resultados e Discussão

Experimento 1

Os frutos utilizados nos Experimentos apresentaram grande variabilidade de biometria e coloração, como ilustrado na Figura 8, e em bom estado fitossanitário sem sinais de contaminação microbiana. A diversidade do material não consistiu em fator limitante para aplicação dos processamentos.

Foto: Simone Palma Favaro e Elvis Costa.



Figura 8. Frutos utilizados no Experimento 1 coletados no Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados (Planaltina, DF).

Umidade e Atividade de Água (aw)

Os frutos recém-colhidos apresentaram alta umidade, tanto da polpa quanto da casca, como é característico da macaúba (Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1983; Farias, 2010; Ciconini, 2012; Evaristo et al., 2016b), mesmo após seis dias de armazenamento, além dos outros três dias que, em média, permaneceram no campo. A umidade após os seis primeiros dias na estufa com circulação de ar foi de 43% e apresentou queda mais intensa até os 28 dias, atingindo 15% (Figura 9). Após este período a perda de água continuou,

porém numa taxa mais reduzida. Ao final dos 49 dias de armazenamento, a umidade da polpa atingiu 7% de umidade.

A umidade da casca apresentou-se inicialmente um pouco mais alta que da polpa. Após os seis primeiros dias de armazenamento, encontrava-se em 48% (Figura 9). A redução na umidade da casca teve um comportamento similar ao da polpa, reduzindo para 9% ao fim do período avaliado de 49 dias.

A integridade da casca é fundamental para impedir a entrada de microrganismos, mas ao mesmo tempo é barreira natural para a perda de água da polpa, na forma de vapor, durante a secagem. A casca *per si* possui certa quantidade de água, que também deve ser evaporada e transferida para o ar de secagem. Por isso, o tempo de secagem de frutos de macaúba com casca é maior que a de frutos sem casca (Silva, 2017).

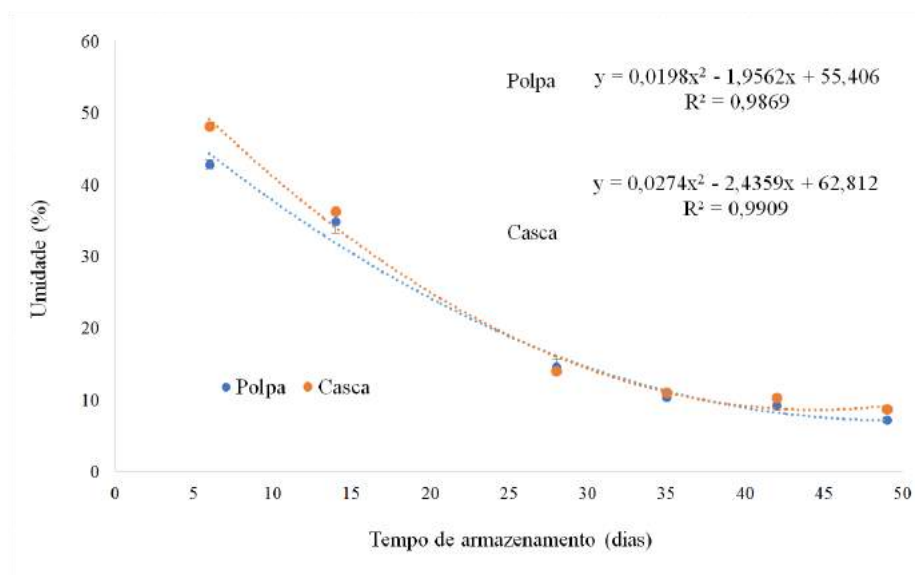


Figura 9. Umidade da polpa (●) e casca (●) de frutos de macaúba armazenados sob ventilação a 28 °C. Barras verticais indicam desvio padrão.

Verificou-se a_w próxima a 1 na polpa da macaúba durante os primeiros 14 dias de armazenamento (Figura 10), indicando risco tanto da multiplicação como de efetivo metabolismo microbianos, com possível ocorrência de

reações enzimáticas que podem levar à deterioração da qualidade do óleo. A a_w decresceu linearmente, mas somente a partir dos 35 dias de armazenamento alcançou patamar considerado seguro para a conservação do produto (menor do que 0,7), como demonstrado pelo ajuste de segunda ordem dos dados. Entretanto, a umidade de equilíbrio ainda não havia sido atingida até os 49 dias de avaliação.

O uso da ventilação a 28 °C mostrou-se mais eficaz para acelerar a redução da a_w do que condições naturais. Tilahun (2015) reportou que frutos armazenados sob temperatura média de 23 °C sem ventilação apresentaram a_w de 0,86 aos 45 dias e 0,83 após 60 dias. Ou seja, mesmo com períodos bastante prolongados após a colheita, a a_w ficou muito acima do patamar considerado seguro.

A a_w das tortas resultantes da extração do óleo por prensagem da polpa apresentou comportamento similar ao da polpa. Porém, com valores um pouco abaixo (Figura 10). Provavelmente isto se deveu à retirada parcial também de água presente na polpa, já que a remoção de líquidos não é seletiva neste tipo de extração de óleo.

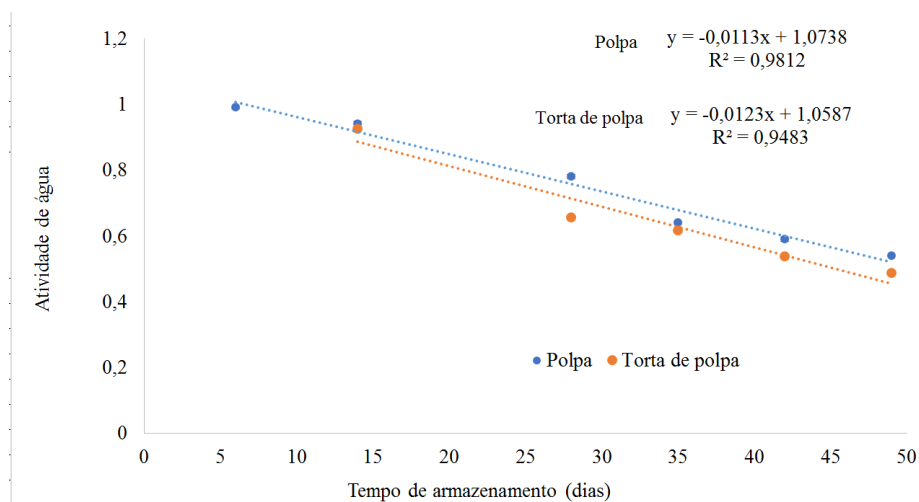


Figura 10. Atividade de água da polpa (●) e torta de polpa (●) de frutos de macaúba armazenados sob ventilação a 28 °C. Barras verticais indicam desvio padrão.

Balanço de massas do despulpamento

O despulpamento no equipamento desenvolvido para macaúba mostrou-se eficiente em todas as condições de umidade. A taxa de recuperação de massa variou de 96% a 100% (Figura 11). No entanto, sua operação torna-se menos laboriosa e é mais rápida conforme a umidade do fruto é reduzida. Com frutos bastante úmidos, é necessário maior tempo de trabalho do equipamento. A menor recuperação se deu no tempo de 6 dias de armazenamento, provavelmente devido à dificuldade de remover completamente a polpa da despulpadora após o processamento, em função da sua adesividade às partes do equipamento.

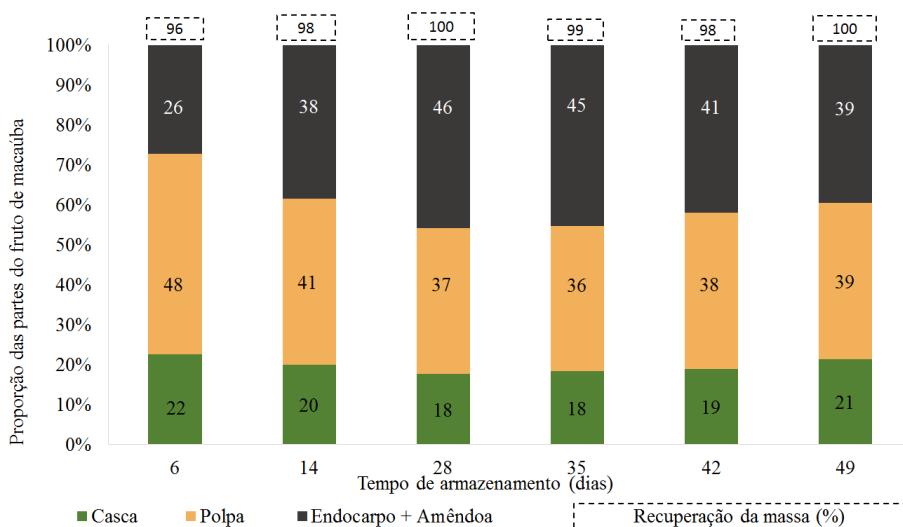


Figura 11. Balanço de massa das partes componentes de frutos de macaúba armazenados sob ventilação a 28 °C e despulpados mecanicamente.

O balanço de massas apresentou valores médios ao longo do armazenamento de 19% de casca, 40% de polpa e 39% de endocarpo, juntamente com a amêndoa (Figura 11). A umidade da polpa afetou diretamente essas proporções. A maior proporção de polpa, cuja umidade se encontrava em 48% (Figura 11), foi obtida no tempo de 6 dias. A partir de 28 dias quando

a umidade tendeu ao equilíbrio ocorreu uma estabilidade na quantidade de polpa, ficando ao redor de 37,5%.

Apesar do bom funcionamento geral do equipamento, devem-se trabalhar melhorias no processo. A retirada completa da polpa implica em remover conjuntamente porções de endocarpo, como pode ser vista na ilustração da Figura 12. Este tipo de contaminação pode provocar danos físicos na rosca da prensa e também tornar as tortas impróprias para uso direto como alimento.

Foto: Alexandre Nunes Cardoso.

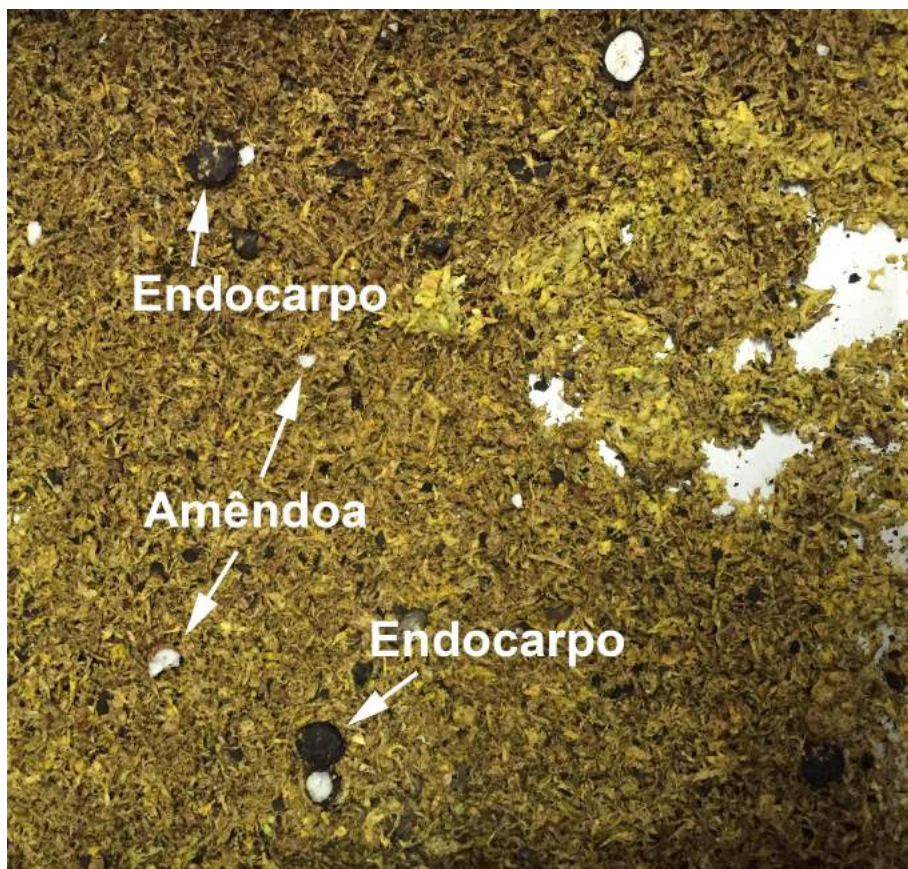


Figura 12. Polpa de macaúba obtida mecanicamente em despulpadora com presença de fragmentos de endocarpo e amêndoas.

Acúmulo de óleo na polpa

O conteúdo de óleo na polpa dos frutos armazenados apresentou acréscimo durante o período avaliado de 49 dias (Figura 13). O acúmulo de óleo no fruto da macaúba após a sua colheita, observado neste trabalho, está de acordo com outros relatos já reportados (Tapeti 2011b; Tilahun, 2015; Evaristo et al, 2016b). A distribuição das médias de acúmulo de óleo pode ser mais bem descrita por uma equação de segundo grau, cuja derivação permite prever que o período máximo de acúmulo se deu aos 47 dias de armazenamento. O teor estimado pela equação neste período seria de 34% de óleo em base seca. Um salto de 54% no total de óleo produzido na polpa do sexto para o 47° dia de armazenamento.

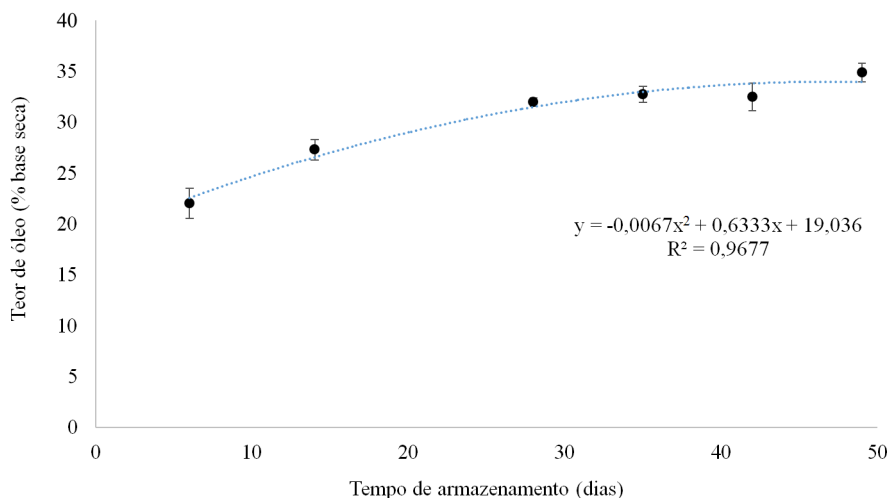


Figura 13. Teor de óleo em polpa de frutos de macaúba armazenados sob ventilação a 28 °C. Barras verticais indicam desvio padrão.

Esta particularidade do fruto da macaúba em dar continuidade à biossíntese de óleo na polpa após a colheita deve ser considerada fortemente na logística da cadeia produtiva. Mais estudos para aprofundar o conhecimento da conversão de amido em lipídeos na macaúba, como já iniciado por Montoya et al. (2016) devem ser realizados para a compreensão do processo meta-

bólico envolvido e para que esta característica seja utilizada em futuros programas de melhoramento genético. O rendimento maior de óleo pode levar a ganhos substanciais no plano de negócio e, ainda, contribuir para mitigar outros efeitos de impacto negativo do sistema de produção.

Eficiência de extração

As polpas separadas mecanicamente foram submetidas à prensagem em prensa do tipo rosca, também chamada “expeller”, sem nenhum tipo de preparo adicional. A eficiência de extração do óleo de polpa variou de 32% a 49% (Figura 14). Este valor é bastante baixo, verificando-se uma perda de mais da metade do óleo que permaneceu na torta. A manutenção de condições padrão de operacionalização da prensa é bastante difícil considerando a reologia das diferentes polpas e características inerentes à prensa. Possivelmente, esta seja a causa da alta variabilidade observada nos resultados de eficiência de extração. Ainda assim, nota-se uma tendência de melhor eficiência nos dias 28 e 36, quando as polpas continham 15% e 10% de água, respectivamente. Umidades abaixo e acima desta faixa parecem afetar negativamente a eficiência da extração do óleo de polpa nas condições existentes para estes ensaios.

Certamente será necessário melhorar a eficiência de extração do óleo da polpa. Caso contrário, os ganhos relativos ao armazenamento devido à síntese de óleo serão superados pela perda no processo de extração. Silva (2009) reportou eficiência de 56% para a extração do óleo também em prensa tipo expeller a partir de polpa seca a 60 °C até massa constante. Com assistência de agentes bioquímicos ao processo de extração, aquele autor logrou ganho na eficiência de extração. Como poucos estudos foram realizados até o momento para o processamento da macaúba de maneira geral, diversos outros processos devem ser investigados, inclusive buscando-se rotas alternativas à necessidade de secagem prévia da polpa.

A torta residual da extração apresentou elevado conteúdo de óleo, variando entre 16% e 33%, como resultado da baixa eficiência de extração. O aumento no teor de óleo da torta foi acompanhado pelo maior teor de óleo na polpa ao longo do armazenamento a partir dos 36 dias (Figura 15), excetuando-se o período ao redor de 28 dias, em que, apesar do acréscimo ocorrido no teor de óleo na polpa, a torta apresentou teores de óleo residual mais baixo em função da maior eficiência da extração (Figura 15).

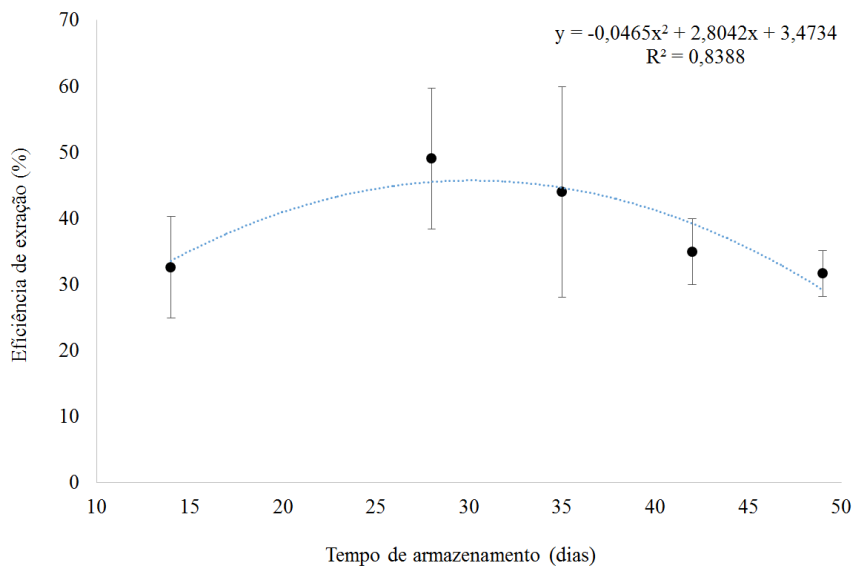


Figura 14. Eficiência de extração por prensagem tipo “expeller” de óleo de polpa de frutos de macaúba armazenados sob ventilação a 28 °C. Barras verticais indicam desvio padrão.

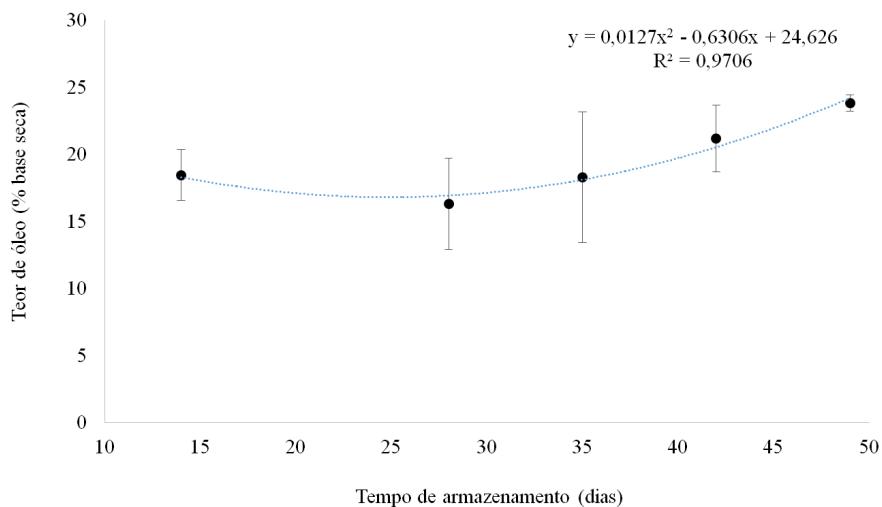


Figura 15. Teor de óleo em torta da polpa de frutos de macaúba armazenados sob ventilação a 28 °C. Barras verticais indicam desvio padrão.

Tortas residuais com alto teor de óleo são susceptíveis à deterioração oxidativa, o que pode ser um desafio para o armazenamento deste coproduto. Novamente, ressalta-se a necessidade de melhorar o processo de extração do óleo como mecanismo de sustentabilidade para toda a cadeia de valor.

Qualidade do óleo de polpa - Acidez

A liberação de ácidos graxos livres que conferem a acidez ao óleo é uma reação de hidrólise e, portanto, depende estritamente da disponibilidade de água. Esta reação em sistemas biológicos é catalisada por lipases, podendo ser endógenas ou exógenas (microbianas), cuja capacidade em atuar sob baixa disponibilidade de água é uma característica bastante particular (Skjold-Jørgensen, 2016). Os resultados observados neste trabalho mostram que, até os 14 primeiros dias de armazenamento, a acidez se manteve abaixo do limite de 5% estabelecido para óleo de palma virgem, o chamado azeite de dendê bruto (Brasil, 2005). Utiliza-se o dendê como referência para a macaúba, uma vez que esta não dispõe ainda de parâmetros de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira ou internacional. A partir desse período, ocorreu acidificação até o 35º dia, subindo de 3,7% para 8,4% em ácido oleico (Figura 16). A partir deste ponto, a acidez se manteve estável até o final da avaliação, possivelmente em função da restrição imposta pela redução da a_w (Figura 16). No entanto, esta relação entre a_w na polpa de macaúba e o desenvolvimento da acidez ainda carece de melhor entendimento para se estabelecer intervalos de a_w que de fato sejam limitantes à atividade de lipases. Este conhecimento é fundamental para subsidiar a geração de tecnologias adequadas à obtenção de óleo com alta qualidade.

Trabalhos científicos com o desenvolvimento da acidez em óleo de polpa de macaúba são reportados na literatura e mostram resultados com ampla variação. Por exemplo, Cavalcanti-Oliveira et al. (2015) reportou acidez de 11% em ácido oleico em frutos de macaúba mantidos em condições ambiente por 15 dias. Já Evaristo et al (2016b) relataram acidez abaixo de 5% nos 15 primeiros dias. No trabalho de Tapeti et al. (2013b), este valor somente foi atingido após 20 dias nos frutos mantidos a campo em sistemas suspensos e vazados que permitiam uma aeração natural. Tilahun (2015) manteve os frutos armazenados sob ventilação natural a 23 °C em ambiente protegido e detectou acidez abaixo de 5% até 22 dias, após os quais houve acréscimo,

alcançando 10% aos 30 dias e mais de 20% aos 50 dias. Comparativamente a estes resultados, pode-se inferir que o procedimento adotado neste estudo aponta para um efeito positivo no controle da acidificação, apesar do aumento observado.

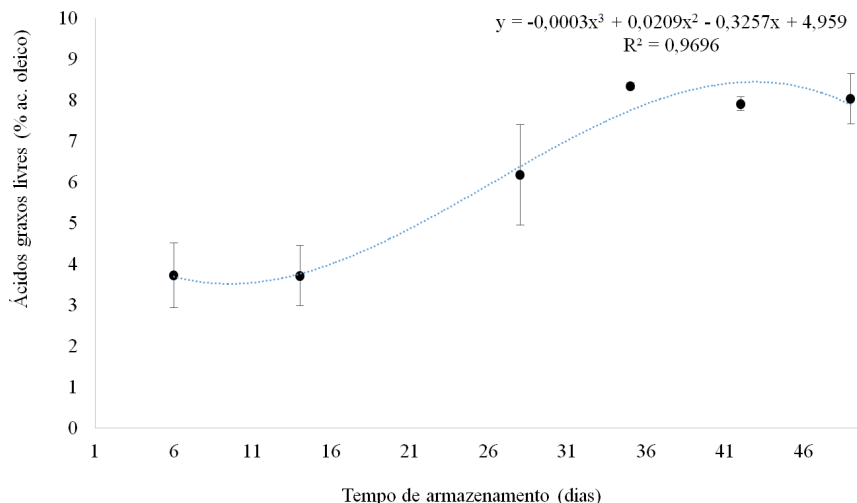


Figura 16. Acidez em óleo de polpa de frutos de macaúba armazenados a 28 °C sob ventilação. Barras verticais indicam desvio padrão.

Ainda não há consenso sobre quais são os agentes responsáveis pela formação dos ácidos graxos livres na polpa de macaúba. Tapeti et al (2013a) e Tilahun (2015) reportaram atividade endógena de lipase na polpa dos frutos de macaúba após abscisão. Já Cavalcanti-Oliveira et al. (2015) não detectaram atividade endógena desta enzima, atribuindo a acidificação à atividade microbiana. Como esses resultados foram produzidos em diferentes condições experimentais e com grande diversidade fenotípica entre os frutos, não é possível se estabelecer correlações e comparações seguras de modo a indicar um processo a ser adotado. É fundamental seguir com estudos que tenham como base condições industriais reais e com vistas à viabilidade concreta de sua inovação, ou seja, que possam ser adotados efetivamente por empresas processadoras.

Qualidade do óleo de polpa - Oxidação

A formação de substâncias oriundas de reações oxidativas dos lipídeos pode ser avaliada por meio de diferentes métodos devido à sua natureza diversa. Neste trabalho determinaram-se o Índice de Peróxidos e as Absortividades Molares nos comprimentos de onda de 232 nm e 270 nm. O Índice de Peróxidos em geral se correlaciona com a absortividade molar a 232 nm e indica a formação de hidroperóxidos que são os compostos primários e instáveis da reação de oxidação, em geral, são dienos conjugados. A continuidade da reação leva à formação de substâncias mais estáveis, os trienos conjugados que são detectadas a 270 nm.

A qualidade dos óleos, do ponto de vista de deterioração oxidativa, foi mantida em bom padrão ao longo do armazenamento com aeração. De acordo com o Regulamento Técnico Para Óleos Vegetais da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), óleos prensados a frio e não refinados devem apresentar Índice de Peróxido máximo de 15 meq/kg (Brasil, 2005), mesmo valor preconizado internacionalmente pelo Codex Alimentarius (1999). Este limite não foi atingido ao longo de todo o armazenamento avaliado (Figura 17a). O valor máximo de 6,8 meq/kg foi observado aos 49 dias. Detectou-se ligeiro aumento do 6º para o 11º dia (3,7 meq/kg para 4,2 meq/kg, respectivamente), com redução no 28º (2,3 meq/kg), e, então, voltou a subir de maneira linear até o final da avaliação.

Comportamento similar ocorreu com k232, confirmando a relação entre ambos os indicadores (Figura 17b). A variação no k270 também seguiu o padrão observado no K232, com exceção do último tempo de armazenamento, o qual apresentou valor mais baixo do que na amostragem anterior. Os valores determinados para K232 e K270 estão dentro da faixa reportada por Nunes et al. (2015) para óleo de polpa de macaúba.

Os valores de absortividade molar são também parâmetros de identidade para óleos vegetais, ou seja, servem como referência para discriminar uma fonte vegetal de outra. Essas informações colaboram para o necessário estabelecimento dos parâmetros legais de identidade e qualidade para o óleo de macaúba que permitirão organizar e fiscalizar sua comercialização.

A aeração parece ter colaborado para reduzir a velocidade de formação de peróxidos. Tilahun (2015) verificou que frutos de macaúba armazenados sem

aeração a 23 °C apresentaram aumento no Índice de Peróxido discreto até 9 dias de armazenamento, não ultrapassando 5 meq/kg. No entanto, a partir desse período, o autor relatou aumento significativo até o 25º dia, a partir do qual houve tendência à estabilização, em patamar ao redor de 12 meq/kg. Esse valor foi quase três vezes superior ao observado no presente estudo de armazenamento com aeração, em intervalo de tempo similar.

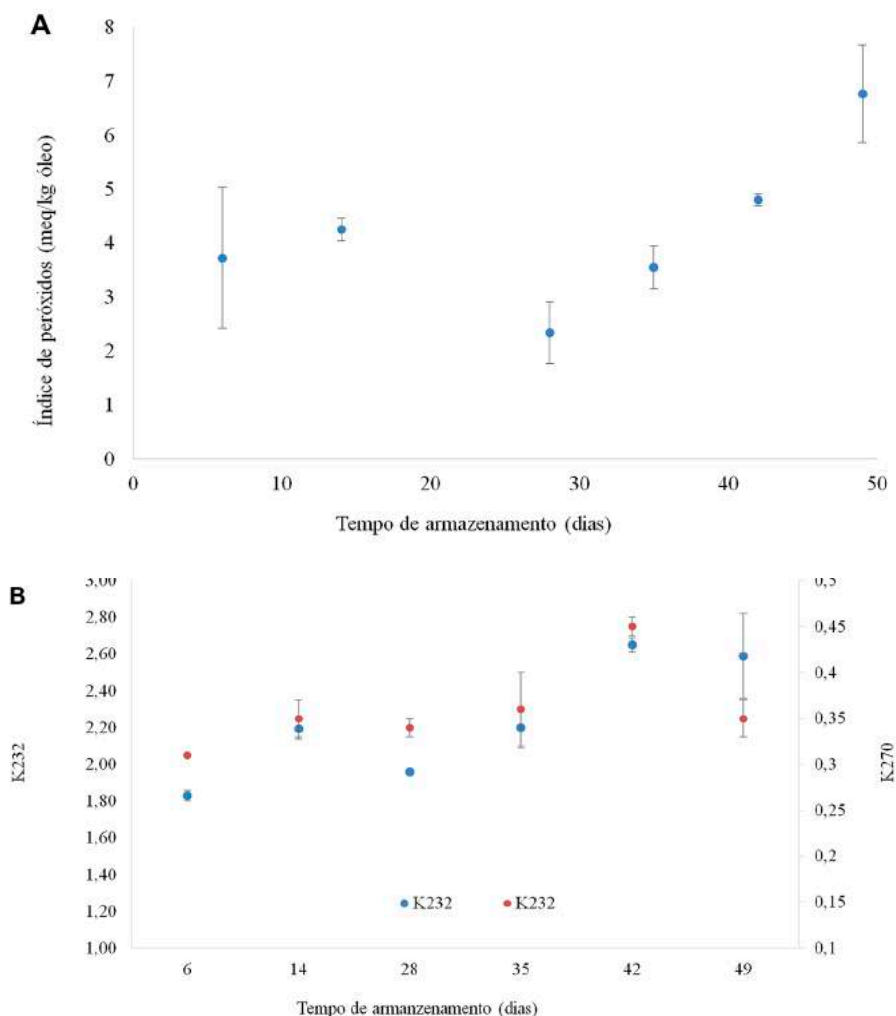


Figura 17. Índice de Peróxidos (a) e Absortividades Molares a 232 (K₂₃₂) e 270 nm (K₂₇₀) (b) em óleo de polpa de frutos de macaúba armazenados a 28 °C sob ventilação. Barras verticais indicam desvio padrão.

Experimento 2

O Experimento 2 aplicou uma estratégia distinta. Avaliou a manutenção dos frutos sob ventilação num prazo curto de tempo seguida de secagem imediata com o intuito de reduzir a a_w para níveis que assegurem a estabilidade da polpa. Dessa forma, pretendia-se evitar reações químicas e crescimento microbiano que levassem a níveis de deterioração indesejáveis. Nos primeiros 14 dias de armazenamento do Experimento 1, ocorreu aumento de 22% no teor de óleo e desenvolvimento de acidez a 3,7%. No entanto, a a_w foi reduzida apenas para 0,93, valor que permite diversas alterações na qualidade do óleo e também a multiplicação de microrganismos. Considerando esta potencial instabilidade e o aumento mais acentuado da acidez após esse período, optou-se por estabelecer tentativamente o tempo de 10 dias de armazenamento no Experimento 2, mesmo tendo menor ganho no teor de óleo da polpa.

Os resultados obtidos com as etapas sequenciais de coleta adequada de frutos (sem permanecer em contato com o solo), aeração por 10 dias em temperatura ambiente e secagem de frutos descascados em alta temperatura resultou em a_w favorável e em boa qualidade do óleo (Figura 18). A umidade inicial dos frutos logo após a coleta, que era de 52%, foi reduzida a 9% e 8%, respectivamente para os frutos sem e com aeração. A a_w inicial de 0,97 baixou para 0,7 (sem aeração) e 0,62 (com aeração) após a secagem. Nestes valores de a_w , pode-se considerar que a polpa e posteriormente a torta resultante da extração mecânica estão seguras para suportar um tempo maior de armazenamento do que os frutos in natura, os quais perdem água lentamente para o ar durante a sua estocagem. O acúmulo de óleo no período pós-colheita foi discreto e somente foi observado nos frutos mantidos com aeração, aumentando de 48% para 51%, equivalente a 7% de acréscimo no período de 10 dias e após a secagem rápida (Figura 18).

Em relação à qualidade do óleo, o tratamento com aeração mostrou-se efetivo em controlar o desenvolvimento de acidez (Figura 18). Esta, que no início era bastante baixa (0,82% em ácido oleico), aumentou para 3,85% nos frutos com aeração após 10 dias e para 6,37% sem aeração. O valor abaixo de 5% atende aos critérios legais. No entanto, na prática industrial o limite desejado é de 3%, para que não haja prejuízos significativos no rendimento de óleo e tampouco inviabilize o refino quando for utilizado o processo químico.

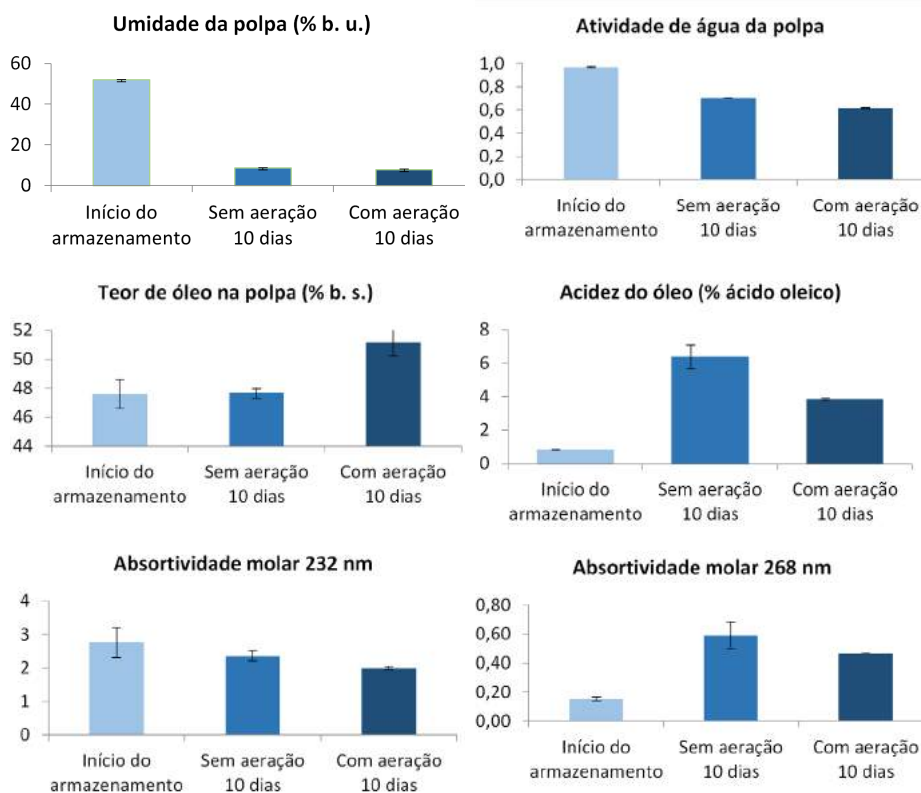


Figura 18. Características físico-químicas da polpa (umidade, teor de óleo e atividade de água) e do óleo de polpa (acidez, absortividade molar a 232 nm e 268 nm) de frutos de macaúba armazenados com e sem ventilação forçada a temperatura ambiente por 10 dias, seguido por secagem em secador rotativo. Barras verticais indicam desvio padrão.

Quanto à oxidação, medida pelas absortividades molares em 232 nm e 268 nm, observa-se que, para os compostos primários de oxidação (K232), houve uma tendência de redução (Figura 18). Uma hipótese possível seria a volatilização dos compostos de oxidação formados nessa fase durante a secagem, a qual empregou temperatura variando de 100 °C a 85 °C, e, assim, reduzindo o K232. O valor mais baixo observado nos frutos aerados possivelmente se deve à menor taxa de oxidação sofrida durante o armazenamento em função da acidez mais reduzida. Isso acontece porque ácidos graxos li-

vres são mais propensos à oxidação. A formação de compostos secundários de oxidação (K268) apresentou-se mais baixa nos frutos com aeração, o que reforça o ganho em qualidade do óleo com esse procedimento.

Portanto, este procedimento de baixo custo poderia ser adotado como prática na pós-colheita para promover a melhoria da qualidade dos frutos. Além de assegurar a qualidade dos óleos, aumentaria a segurança das tortas oriundas da extração mecânica para nutrição humana ou animal pela restrição que a baixa a_w acarretaria à atividade de fungos produtores de micotoxinas.

Considerações gerais

Experimento 1

De maneira geral, os resultados do Experimento 1 confirmaram observações anteriores de que efetivamente ocorre aumento no teor de óleo da polpa do fruto da macaúba na pós-colheita. Ao mesmo tempo, confirmaram também a concomitante deterioração da qualidade do óleo com o passar do tempo em armazenamento. A acidez mostrou-se o fator mais susceptível à alteração, sendo, portanto, o parâmetro limitante para manutenção da qualidade do óleo na pós-colheita. O desenvolvimento de oxidação parece ser menos impactante. Quando foi utilizada aeração forçada e temperatura de 28 °C durante o armazenamento, foi possível manter a qualidade do óleo, considerando acidez máxima de 5%, até 22 dias, tempo estimado pela equação polinomial ajustada (Figura 16). Neste intervalo, ocorreu aumento de 22% para 33% no teor de óleo (Figura 15). Por outro lado, a a_w permaneceu em faixas que podem permitir o desenvolvimento de microrganismos produtores de micotoxinas, além da ocorrência de reações de degradação do óleo (Figura 10). O despolpamento mecanizado foi efetuado em todos os tempos, mas com maior facilidade de operação e maior recuperação da biomassa a partir de 11º dia.

Portanto, a manutenção pós-colheita dos frutos de macaúba sob aeração apresenta potencial para ganhos no rendimento de óleo e manutenção da qualidade. Ao mesmo tempo, facilita o processamento mecânico, tanto de despolpa quanto de prensagem. Contudo, o período em que esses ganhos

ocorrem deve também considerar a ocorrência de reações de deterioração e a segurança dos produtos e coprodutos.

Experimento 2

Os resultados com o armazenamento no protótipo de aeração mostraram-se promissores e apontam para uma confirmação da hipótese inicial de se aproveitar a característica metabólica do fruto da macaúba para aumentar o rendimento do óleo sem prejuízo à sua qualidade. O óleo de polpa corresponde a 85% do total contido nos frutos da macaúba. A possibilidade de ganhos no seu rendimento sem acréscimo de insumos na produção, como, por exemplo, adubos nitrogenados, que aumentam os custos econômicos e ambientais no seu cultivo, representa um valioso atributo dessa espécie. Esta é mais uma vantagem da macaúba em relação à palma de óleo, cujo processamento deve se dar em no máximo 48 h após a colheita para evitar a excessiva acidez decorrente da ação de lipases endógenas existentes naquele fruto (Cadena et al, 2012; Guimarães et al., 2016). Ressalta-se que, obviamente, toda a logística envolvida para se permitir qualquer operação pós-colheita deve ser avaliada do ponto de vista da sua viabilidade econômica. Assim, a continuidade dos estudos para subsidiar o desenvolvimento de soluções tecnológicas viáveis, do ponto de vista técnico e econômico, é fundamental e precisa do envolvimento multidisciplinar, englobando as áreas de bioquímica, agronomia, engenharia agrícola e economia.

Conclusões

- O uso de ventilação forçada ao longo de armazenamento prolongado de frutos de macaúba mostrou-se promissor para se obter maior rendimento de óleo de polpa e manutenção da sua qualidade em níveis aceitáveis em certo período de tempo.
- O armazenamento em protótipo de sistema de aeração de baixo custo e baixo consumo de energia, seguido por secagem forçada em temperatura elevada resultou em ganho no teor de óleo e manutenção da sua boa qualidade pelo período de 10 dias sob aeração em temperatura ambiente.

- Estes resultados são preliminares e precisam ser confirmados em novas avaliações, mas apontam para a possibilidade viável de desenvolvimento tecnológico para o manejo pós-colheita da macaúba.
- O processamento otimizado da macaúba, em diferentes escalas de produção, requer um aprofundamento do conhecimento e esforços devem ser envidados para conjugar as áreas de conhecimento afins, visando estabelecer um caminho tecnológico que traga ganhos substanciais para a consolidação da cadeia produtiva da macaúba.

Agradecimentos

Ao Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola (Fida) e World Agroforestry Centre (Icraf).

Referências

- AMARAL, F. A. **Mercado de óleos vegetais no Brasil**. Disponível em: <http://www.abiove.org.br/site/_FILES/Portugues/01072016-090847-09_congresso_oleos_e_gorduras.pdf>. 2016. Acesso em: mar. 2018. Apresentação da ABIOV no Congresso de Óleos e Gorduras.
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign: AOCS Press, 2005.
- ANDRADE, M. H. C.; VIEIRA, A. S.; AGUIAR, H.; CHAVES, J. F. N.; NEVES, R. M. P. S.; MIRANDA, T. L. S.; SALUM, A. Óleo do Fruto da Palmeira Macaúba Parte II: Processo de Extração do Óleo. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA QUÍMICA - ENBTEQ, 2., 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABEQ, 2006.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; FONTANA JÚNIOR, A. J.; SCHMIDT, S. J.; LABUZA, T. P. **Water activity in foods: fundamentals and applications**. New York: John Wiley, 2007.
- BLASI, F.; ROCCHETTI, G.; MONTESANO, D.; LUCINI, L.; CHIODELLI, G.; GHISONI S.; BACCOLO, G.; SIMONETTI, M. S.; COSSIGNANI, L. Changes in extra-virgin olive oil added with *Lycium barbarum* L. carotenoids during frying: Chemical analyses and metabolomic approach. **Food Research International**, v. 105, p. 507-516, 2018.
- BRASIL. Decreto Nº 7.172, de 7 de maio de 2010. Zoneamento agroecológico da cultura da palma de óleo. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 maio 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7172.htm>. Acesso em: set. 2018.
- BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 27 dez. 2017. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-federal/leis/2017&item=lei-13.576-2017>>. Acesso em: set. de 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº 270**, de 22 de setembro, 2005. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e cremes vegetais. **Diário Oficial [da]**

República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005. Disponível em: < <http://www.oliva.org.br/wp-content/uploads/2016/11/resolucao-rdc-n270-22-09-2005.pdf> >. Acesso em: 10 ago. 2015.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**. Brasília, DF, 2005. Disponível em: < http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_64/Biodiesel_Book_final_Low_Completo.pdf >. Acesso em: set. 2015.

CADENA, T.; PRADA, F.; PEREA, A.; ROMERO, H. M. Lipase activity, mesocarp oil content, and iodine value in oil palm fruits of *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera*, and the interspecific hybrid O×G (*E. oleifera* × *E. guineensis*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 3, p. 674–680, 2012.

CAVALCANTI-OLIVEIRA, E. D.; SILVA, P. R.; ROSA, T. S.; MOURA, N. M. L.; SANTOS, B. C. P.; CARVALHO, D. B.; SOUSA, J. S.; CARVALHINHO, M. T. J. E.; CASTRO, A. M.; FREIRE, D. M. G. Methods to prevent acidification of Macaúba (*Acrocomia aculeata*) fruit pulp oil: A promising oil for producing biodiesel. **Industrial Crops and Products**, v. 77, p.703–707, 2015.

CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, MS.

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

CODEX ALIMENTARIUS. Codex Standard for Named Vegetable Oils (CODEX-STAN 210 - 1999). 1999. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/004/y2774e/y2774e04.htm#fn5>>. Acesso em: ago. 2018.

COPPEL, I. A. F.; EVARISTO, A. B.; GUIMARAES, A. C.; GIL, J. M.; GRACIA, L. M. N.; RAMOS, P. M. Life cycle analysis of macauba palm cultivation: A promising crop for biofuel production. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 556–566, 2018.

DA CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S.; JUNQUEIRA, N. T. V.; MOTOIKE, S. Y.; PIMENTEL, L. D.; FAVARO, S. P.; BRAGA, M. F.; ANTONIASSI, R.; MACAÚBA. In: LOPES, R.; OLIVEIRA, M. S. P.; CAVALLAR, I. M. M.; BARBIERI, R. L.; DA CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. (Ed.). **Palmeiras nativas do Brasil**. Embrapa: Brasília, 2015. p. 269-305.

DEL RÍO, J. C.; EVARISTO, A. B.; MARQUES, G.; MARTÍN-RAMOS, P.; MARTÍN-GIL, J.; GUTIÉRREZ, A. Chemical composition and thermal behavior of the pulp and kernel oils from macauba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit. **Industrial Crops and Products**. v. 84, p. 294-304, 2016.

ENDO, Y. Analytical methods to evaluate the quality of edible fats and oils: the JOCS standard methods for analysis of fats, oils and related materials and advanced methods. **Journal of Oleo Science**, v. 67, n. 1, p. 1-10, 2018.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Oilseeds: world markets and trade**. Disponível em: <www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>. Acesso em: maio 2016.

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CARNEIRO, A. D. O.; PIMENTEL, L. D.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. Actual and putative potentials of macauba palm as feedstock for solid biofuel production from residues. **Biomass & Bioenergy**, v. 85, p. 18-24, 2016(a).

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; PIMENTEL, L. D.; GOULART, S. M.; MARTINS, A. D.; SANTOS, V. L.; MOTOIKE, S. Harvest and post-harvest conditions influencing macauba

(*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 63-73, 2016(b).

FAO. Codex Alimentarius Commission. **Proposed draft code of practice for the prevention contamination by Ochratoxin a in cereals**. Roma, 2000. Disponível em: <http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCFAC/ccfac32/fa00_17e.pdf>. Acesso em: out. 2018.

FARIAS, T. M. **Biometria e processamento dos frutos da macaúba (*Acrocomia* sp) para a produção de óleos**. Dissertação. 2010. 108 p. Universidade Federal de Minas Gerais, MG.

FAVARO, S. P.; TAPETI, C. F.; MIRANDA, C. H. B.; CIACONINI, G.; MIYAHIRA, M. A. M.; ROSCOE, R. Macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp oil quality is negatively affected by drying fruits at 60 °C. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 60, artigo e160373, 2017.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1983. 152 p.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos**: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel, 2008. 511 p.

GOULART, S. M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel**. 2014. 84 p. Dissertação (Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GUIMARÃES, M. B.; PORTO, B. L. S.; RIBEIRO, J. A. de A.; CARMONA, P. A. O.; CUNHA, R. N. V. da; MENDONÇA, S. Variação dos parâmetros associados ao rendimento e qualidade de óleo no período pós-colheita do dendê híbrido. In: ENCONTRO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA EMBRAPA AGROENERGIA, 3., 2016, Brasília, DF. **Anais ...** Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 229-236.

HARDMAN, T. M. **Water and food quality**. Londres: Elsevier, 1987.

LEVERMANN, R. A.; SOUZA, J. P. M. Óleo de palma: o crescimento da indústria global. **Agroanalysis**, p. 13-15, fev. 2014.

LIMA, N. E.; CARVALHO, A. A.; MEEROW, A. W.; MANFRIN, M. H. A review of the palm genus *Acrocomia*: Neotropical green gold. **Organisms Diversity & Evolution**, v. 18, n. 2, p. 151-161, 2018.

MATTER, F. Product quality and formulation. In: TSOTSAS, E.; MUJUMDAR, A. S. **Modern drying technology**. New York: Wiley, 2011. v. 3.

MONTOYA, S. G.; MOTOIKE S. Y.; KUKI, K. N.; COUTO, A. D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Planta**, v. 244, n. 4, p. 927–938, 2016.

MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, v. 1, p. 632-635, 2009.

NUNES, A. A.; FAVARO, S. P.; GALVANI, F.; MIRANDA, C. H. B. Good practices of harvest and processing provide high quality Macauba pulp oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 117, n. 12, p. 2036-2043, 2015.

PIRES, T. P.; SOUZA, E. D. S.; 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.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **Harvestplus handbook for carotenoid analysis**. Washington, DC: IFPRI, 2004. (Technical Monograph, 2).

SHAHIDI, F. Quality assurance of fats and oils. In: SHAHIDI, F. (Ed.). **Bailey's Industrial oil and fat products**. New Jersey: Wiley, 2005. p. 565-575.

SILVA, G. N. **Uso da secagem e ozonização na conservação pós-colheita de frutos de macaúba**. 2017. 130 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11689/texto%20completo.pdf?sequence=1>>. Acesso em: out. 2018.

SILVA, I. C. C. **Uso de processos combinados para aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<http://186.202.79.107/download/aumento-da-qualidade-do-oleo-de-macauba.pdf>>. Acesso em: setembro 2018.

SKJOLD-JØRGENSEN, J.; VIND, J.; SVENDSEN, A.; BJERRUM, M. Understanding the activation mechanism of *Thermomyces lanuginosus* lipase using rational design and tryptophan-induced fluorescence quenching. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 118, n. 11, p. 1644–1660, 2016.

TAPETI, C. F.; FAVARO, S. P.; MARQUES, R. R. Atividade enzimática em polpa de frutos de macaúba em condições de armazenamento a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MACAÚBA, 1., 2013, Patos de Minas, MG. **Consolidação da cadeia produtiva**: anais. Brasília, DF: MAPA, 2013a.

TAPETI, C. F.; FAVARO, S. P.; MARQUES, R. R. Sistema coletor de frutos de macaúba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MACAÚBA, 1., 2013, Patos de Minas, MG. **Consolidação da cadeia produtiva**: anais. Brasília, DF: MAPA, 2013b.

TILAHUN, W. W. **Postharvest treatments of macaúba palm (*Acrocomia aculeata*) fruit: storage period, gamma radiation and drying temperature**. 2015. 110 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6965/texto%20completo.pdf?sequence=1>>. Acesso em: jul. 2018.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO